



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN.

EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS
EN EL PROYECTO HDROELÉCTRICO LA YESCA.

DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO.
QUE EN OPCIÓN A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL.

PRESENTA:
ERIKA ALEJANDRA ZAVALA FARÍAS.

DIRECTOR DE TESIS:
M. en I. MARTÍN ORTÍZ LEÓN.

ESTADO DE MÉXICO

NOVIEMBRE 2009.



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.



MIS AGRADECIMIENTOS.

A MI DIRECTOR DE TESIS:

Por su apoyo incondicional y su acertada dirección para la elaboración de este trabajo.

A LOS INGENIEROS DE ICA:

Que me brindaron su apoyo y me facilitaron la información necesaria para la conformación de este trabajo.

A MI ALMA MATER:

Por haberme brindado la oportunidad de cursar una carrera profesional para ser mejor cada día.

A MIS PROFESORES:

Por sus conocimientos y experiencia, para lograr una formación académica sólida y enriquecida.

A MIS AMIGOS(A):

Por compartir su tiempo conmigo y brindarme su amistad.

A ADRIAN:

Por formar parte importante de mi vida en este camino.

A MI ABUELITA:

Por su luz, cariño incondicional, su apoyo y por estar siempre conmigo.



A MIS HERMANOS:

Porque cada día aprendo algo nuevo de ellos y crecemos juntos.

Y EN ESPECIAL ...

A MIS PADRES:

Por todo su esfuerzo, dedicación, consejos y apoyo para alcanzar todos mis objetivos, decisiones y sueños y así lograr una superación personal constante, guiándome por el mejor camino que me han brindado a lo largo de mi vida.



LIBERTAD NACIONAL
AYUNTAMIENTO
MIZTLAN

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN**

**JEFATURA DE CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL**

OFICIO FESAR/JCIC/0230/09

**ASUNTO: Se autoriza modalidad
de Titulación.**

C. ERIKA ALEJANDRA ZAVALA FARIÁS
No. de cuenta: 40409875-3
Alumna de la Carrera de Ingeniería Civil
Presente.

En atención a su solicitud realizada a esta Jefatura de Carrera, referente a la titulación bajo la modalidad de **"DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO"**, me permito informarle, una vez revisada la documentación que sustenta la petición anterior, que cumple con los lineamientos para esta modalidad.

Por lo anterior, nos ponemos a sus órdenes para darle seguimiento a su caso y con sus trámites de titulación.

Sin otro particular, me despido reiterándome a sus apreciables órdenes.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Estado de México a 03 de Septiembre de 2009.
EL JEFE DE CARRERA


M. en I. MARIO SOSA RODRIGUEZ


c.c.p. Lic. Alberto Ibarra Rosas
Ing. Martín Ortiz León. Jefe de la División de Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías.
MSR/cct*



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

**ERIKA ALEJANDRA ZAVALA FARIAS
PRESENTE**

En contestación a la solicitud de fecha 8 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN, pueda dirigirle el trabajo de titulación "EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA YESCA", bajo la opción de "DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

**Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

San Juan de Aragón, México, 21 de septiembre de 2009.

El DIRECTOR

M. en I. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil
C p Asesor de Tesis.

GGSG/AIR/vr



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
 JEFATURA DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
 JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA
 P R E S E N T E

San Juan de Aragón, Estado de México, a 03 de Noviembre de 2009

Por este conducto, me permito informarle que el (la) alumno(a) de la Carrera de Ingeniería Civil.

ZAVALA	PARÍAS	ERIKA ALEJANDRA	No. de Cuenta: 43409875-3
APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRE(S)	

Ha concluido su trabajo de titulación, bajo la modalidad de: Desarrollo de un caso práctico, denominado:

Excavaciones Subterráneas en El Proyecto Hidroeléctrico
La Yesca

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el Examen Profesional correspondiente.

Por lo que le solicito, tenga a bien autorizar, la continuación de los trámites para su titulación.

Sin más por el momento, agradezco de antemano su amable atención y quedo a sus apreciables órdenes.

ATENTAMENTE M. en I. Martín Ortiz León Director de Trabajo de Titulación	Vo. Bo. M. en I. Mario Sosa Rodríguez Jefe de Carrera de Ingeniería Civil
---	--

c.c.p.- Lic. Ma. Teresa Luis Sánchez - Jefe del Departamento de Servicios Escolares
 c.c.p.- M. en I. Mario Sosa Rodríguez - Jefe de Carrera de Ingeniería Civil
 c.c.p.- Ing. José Antonio Dimas Chora - Secretario Técnico de Ingeniería Civil
 c.c.p.- Asesor de Tesis
 c.c.p.- Interesado



U.N.A.M.
F.E.B. ARAGON



Dic 3 1 04 PM 2009

Alicia
SECRETARÍA ACADÉMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN

JEFATURA DE CARRERA DE
INGENIERÍA CIVIL

OFICIO No. FESAR/JCIC/0365/09.

ASUNTO: **Sínodo.**



ACORDA

**LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
PRESENTE**

Por medio del presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Sínodo del Examen Profesional de la **C. ERIKA ALEJANDRA ZAVALA FARIAS**, con Número de Cuenta: 40409875-3, con el tema de trabajo de titulación: **"EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA YESCA"**.

- | | |
|--------------------|--------------------------------------|
| PRESIDENTE: | ING. PASCUAL GARCÍA CUEVAS |
| VOCAL: | ING. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA |
| SECRETARIO: | M. en I. MARTÍN ORTIZ LEÓN |
| SUPLENTE: | M. en I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ |
| SUPLENTE: | ING. JOSÉ ANTONIO DIMAS CHORA |

Quiero subrayar que el director de tesis es el M. en I. Martín Ortiz León, el cual está incluido conforme a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Facultad.

**ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

San Juan de Aragón, Estado de México, 01 de diciembre de 2009.

EL JEFE DE CARRERA

M. en I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ



c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
Ing. José Antonio Dimas Chora.- Secretario Técnico de Ingeniería Civil.
M. en I. Martín Ortiz León.- Director de Trabajo de Titulación.
Comité de Tesis.
Interesado.
MSR/tgvr*

2009
01/12/09
16
SECRETARÍA ACADÉMICA
SERVICIOS ESCOLARES
U.N.A.M.
F.E.B. ARAGÓN

Recibi copia
02/12/09
1650/BI

Recibi copia
17-Dic-09



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
SECRETARÍA ACADÉMICA

M. en I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 3 de diciembre del año en curso, por la que se comunica que la alumna ERIKA ALEJANDRA ZAVALA FARIAS, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido el trabajo de titulación **"EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA YESCA"**, bajo la opción de **"DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO"**, y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 3 de diciembre de 2009.
EL SECRETARIO

Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
C p Interesado.

AIR/vr

RECEBI
8/Dic/09



INDICE.

	PAG.
INTRODUCCIÓN.	4
OBJETIVOS.	6
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.	
1.1. Problemática y origen	8
1.2. Marco físico	10
1.2.1. Ubicación	10
1.2.2. Orografía regional	11
1.2.3. Hidrografía	13
1.2.4. Geología	15
1.2.5. Datos climatológicos	18
1.3. Vías de acceso a la obra	19
1.4. Datos básicos de la obra	20
CAPÍTULO II. ESTUDIOS DE CAMPO.	
2.1. Objetivo de los estudios.	23
2.2. Geología regional y del embalse.	26
2.3. Sismicidad y riesgo sísmico.	29
2.4. Geología de la zona de embalse	32
2.4.1. Datos técnicos de diseño	32
2.4.2. Geología del vaso	32
2.4.3. Estratigrafía	33
2.5. Geología estructural del embalse	37
2.6. Geología general de la boquilla	38
2.6.1. Estratigrafía	39
2.7. Geología estructural de la zona de la boquilla	50
2.8. Condiciones geológicas de la zona de obras	56
2.8.1. Descripción del proyecto	56
2.8.2. Obras de generación	56
CAPÍTULO III. TRABAJOS DE EXCAVACIÓN	
3.1. Trabajos de excavaciones	83
3.2. Criterios para la selección de un explosivo.	83
3.2.1. Actividades incluidas en la excavación.	86
3.3. Tipos de explosivos	87
3.3.1. Definición de explosivo.	87



3.3.1.1. Explosivos de mayor importancia.	88
3.3.2. Propiedades de los explosivos.	89
3.3.3. Clasificación de los explosivos.	90
3.3.4. Características generales de los explosivos.	91
3.3.5. Explosivos comerciales.	97
3.3.6. Accesorios.	101
3.4. Procedimiento de excavación con el uso de explosivos.	103
3.4.1. Realización de un barreno.	105
3.5. Voladuras subterráneas.	106
3.5.1. PROCEDIMIENTO: Excavación y revestimiento para la construcción de las galerías de inspección, inyección y drenaje.	106
3.5.1.1. Procedimiento de perforación e inyección.	123
3.5.2. PROCEDIMIENTO: Detallado para la construcción de las obras de generación.	128
3.5.2.1 Excavaciones para portal de salida del túnel desfogue, obra de toma y portales de galerías de inyección y drenaje.	128
3.5.2.2. PROCEDIMIENTO: Excavación y revestimientos del túnel de acceso a la casa de máquinas, galería de oscilación y túnel de desfogue.	131
3.5.3. PROCEDIMIENTO: Para la construcción de las obras de generación.	149
3.5.3.1. PROCEDIMIENTO: Detallado para las excavaciones en casa de máquinas.	149
3.5.3.2. PROCEDIMIENTO: Detallado para las excavaciones en la galería de oscilación.	156
3.5.3.3. PROCEDIMIENTO: Detallado para las excavaciones en las lumbreras de buses, ventilación y cables.	161

CAPÍTULO IV. MEDIDAS DE SEGURIDAD

4.1. Descripción de las medidas de seguridad.	167
4.2. Almacenaje.	170
4.3. Transporte.	171
4.4. Accidentes.	174

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.	177
5.2. Recomendaciones.	178
5.3. Glosario de términos.	179
5.4. Bibliografía	183



INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo está dirigido en primer término a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, como complemento para su formación académica dentro de las áreas de la construcción, la mecánica de suelos y la geotecnia, entre otras; en segundo término pero no menos importante, para todos los Ingenieros Civiles y profesores que imparten cátedra en las asignaturas de ésta carrera y a todas aquellas personas que cuyo interés está directamente relacionado con estas áreas de de la Ingeniería Civil, y que necesiten conocer con mayor detalle el tema de las excavaciones subterráneas realizadas con el uso de explosivos.

En la actualidad en nuestro país y en el mundo, los recursos naturales constituyen la materia prima más preciada para la supervivencia del ser humano, por ello, es imprescindible implementar estrategias, programas y acciones necesarias para la conservación y el aprovechamiento equilibrado de éstos, ya que mantener en armonía los recursos naturales, representa garantizar su utilización de manera racional, debido a que en la actualidad se está perdiendo el equilibrio de los ecosistemas, por una sobre explotación de los mismos.

Existe una necesidad importante de hacer llegar servicios como lo es la energía eléctrica, que mejora sensiblemente la calidad de vida de la sociedad, por esta razón es importante identificar y evaluar sitios factibles, así como definir las condiciones geológicas, hidrológicas, climatológicas, entre las más sobresalientes, para que se construya la infraestructura necesaria que permita aprovechar los recursos naturales y generar beneficios para los mexicanos.

Por los motivos antes mencionados, es importante la creación de proyectos como la construcción de presas hidroeléctricas que benefician a los mexicanos para el desarrollo de sus necesidades básicas, así como el progreso regional y nacional, poniendo como ejemplo y por su grado de importancia El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, el cual se considera como una de las mayores aportaciones en infraestructura para la generación y aprovechamiento de energía eléctrica para la zona denominada como Centro-Occidente del país.

Por esta razón se ha tomado parte de la información generada en este proyecto para la presentación del trabajo de investigación que nos ocupa, desarrollado con el fin de describir y dar a conocer de forma detallada los procedimientos y actividades de mayor importancia, como los estudios y trabajos preliminares, los procesos de construcción y los trabajos de detalle que deben llevarse a cabo para realizar las excavaciones subterráneas dentro de la construcción del Proyecto Hidroeléctrica La Yesca.

A continuación se comenta brevemente el contenido de cada uno de los capítulos de los cuales consta este trabajo.



El primer capítulo comprende los antecedentes de la obra; es decir, todos los estudios geológicos preliminares que se realizaron para establecer cual de las diferentes alternativas era la mejor opción para establecer el sitio de la boquilla y el embalse de la presa; así mismo da a conocer la problemática que dio origen a la obra y cuáles eran las necesidades a cubrir para las poblaciones más cercanas a la demarcación de las obras, el marco físico el cual lo conforman la ubicación, orografía, hidrografía, clima y la geología física de la región. Sin dejar de lado los accesos a la obra y los datos básicos de proyecto.

El capítulo dos de este documento es un informe de las exploraciones geológicas, geotécnicas y geofísicas, que con mayor conocimiento aporta características geológico estructurales del macizo rocoso donde se desarrollan cada una de las obras que componen el proyecto, desde la etapa preliminar de construcción de los trabajos desarrollados en el sitio de la boquilla y durante las excavaciones en el sitio, de forma general se explican los estudios para las obras que componen el proyecto, pero de forma más detallada se describen para las obras de generación siendo estas el albergue principal de los trabajos de excavación subterránea, comprendiendo así, la información que permite garantizar la estructura integrada del sitio e identificar zonas en las que se puedan presentar bloques inestables que representen un riesgo para la seguridad de la presa durante los trabajos de construcción.

En el capítulo tres se explican los trabajos de excavación subterránea con uso de explosivos, en donde se describen las responsabilidades al ocupar este tipo de métodos para excavación, utilizando los criterios para la selección de este material altamente peligroso además de su clasificación, accesorios y el procedimiento detallado para obtener los mejores resultados con la mayor calidad posible. A su vez también se muestran los procedimientos de excavación de los portales y túneles que son considerados como trabajos que preceden a las excavaciones de mayor importancia como son, la casa de máquinas, galería de oscilación y túnel desfogue, en los que se establece la metodología que debe seguirse para los trabajos en los sitios antes mencionados; sin descuidar la fase de revestimiento de taludes, marcos y bóvedas para estabilizar los macizos rocosos y evitar desprendimientos o deslizamientos y construir de forma segura las áreas que formarán el corazón de la generación de la energía eléctrica.

En la realización de este tipo de trabajos el peligro siempre está latente, por esta razón, en el capítulo cuatro se trabaja la temática de la seguridad, no solo en el manejo adecuado de los explosivos, sino también, el riesgo que esto implica si no se toman las medidas necesarias para evitar accidentes; del mismo modo se presentan las especificaciones para el almacenamiento y traslado del material explosivo y sus accesorios; dando a conocer la ley y los artículos que regulan esta actividad.

Por último se anota un capítulo en el cual se establecen las conclusiones y recomendaciones sobre la información recopilada en este trabajo.



OBJETIVO.

Debido fundamentalmente, que acerca del tema tratado en el presente trabajo, no existe la suficiente información al respecto, la búsqueda de la misma es en cierta forma una justificante para poder incursionar más detalladamente en el tema de Excavaciones Subterráneas en el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

La falta de información documentada puede ser porque no es tan común utilizar el uso de explosivos en construcciones de menor magnitud a las de la construcción de una presa hidroeléctrica, en este sentido es el caso específico de la construcción de carreteras o la necesidad de remover cantidades importantes de material como lo es el desplazamiento de tierras en taludes o para extracción en bancos de material; otros usos específicos son en la minería y en la demolición de construcciones que representan peligro por su estado físico o condiciones estructurales. Aún en los casos anteriormente mencionados no existe información suficiente y disponible para ejecutar dichos trabajos, por lo que se considero necesario abundar en una investigación que nos lleve a la recopilación de información más precisa que sirva como apoyo al conocimiento de la fuente académica.

El uso de explosivos en la construcción en todo momento deberá estar autorizado, regulado, supervisado, capacitado, avalado y resguardado siempre bajo la estricta vigilancia y supervisión del personal calificado por la Secretaría de la Defensa Nacional y normado por la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos

Durante la realización del presente trabajo se pudo observar un sistema de fallas geológicas que se presentan en la zona, específicamente en el área de las obras de generación que fue lo que invariablemente condujo a la realización y enfoque principal de la investigación pues la geología física del área, presento una problemática específica que debió atenderse oportunamente y a la brevedad posible; una observación de importancia es que los estudios de geotecnia no contaron con la actualización correspondiente a los trabajos requeridos pues estos resultaron con desfase importante por la diferencia existente entre los resultados obtenidos del último reporte al arranque de los trabajos preliminares del proyecto.

Con la finalidad de estructurar adecuadamente la información recopilada, fue necesario conjuntar todos los elementos recabados previamente al proyecto con los que se generaron durante la ejecución de la obra, para poder obtener como resultado los conocimientos reunidos en este documento de investigación.



CAPÍTULO I.
ANTECEDENTES.



I. ANTECEDENTES.

1.1. PROBLEMÁTICA Y ORIGEN.

El proyecto La Yesca se empezó a estudiar en el año de 1957 por la extinta Comisión Lerma-Chapala-Santiago, y posteriormente en 1965 por el Departamento de Planeación y Estudios de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), aunque desde 1961 esta entidad había iniciado algunos reconocimientos geológicos.

Fue en 1980 cuando se inició una compañía más intensa para estudiar en forma integral la zona aledaña a la confluencia de los Ríos Santiago y Bolaños. La campaña la realizaron La Superintendencia del Pacífico Norte (SEZPN) y La Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos (CPH); la primera realizó estudios geológicos y la coordinación los estudios del anteproyecto en su nivel de Prefactibilidad. Después de analizar cinco ejes alternativos se llegó a la conclusión de que el eje denominado La Yesca presentaba las mejores condiciones topográficas y geológicas.

Entre los años 1984 y 1991 la CPH, a través del Centro de Anteproyectos Pacífico Norte (CAPS) se dio a la tarea, en dicho eje de realizar estudios de hidrogenación y esquemas de estudios anteriores, llegando a la conclusión de que la solución más factible consistía en una presa de enrocamiento con cara de concreto.

En esta revisión, se disponía de Estudio de Factibilidad geológica emitido en agosto de 1991, sin embargo, se planteaban algunas dudas de índole geológica, que La SEZPN requirió aclarar mediante una nueva campaña de exploraciones y tendidos geofísicos, misma que no se realizó por la falta de recursos financieros. En el primer semestre de 2004, La SEZPN desarrolló un programa de trabajos de campo encaminados a proporcionar la topografía de detalle de la boquilla y la geología de detalle de toda la zona de obras, incluyendo la zona identificada como alternativa Juanepanta, un poco aguas debajo del eje La Yesca. Posteriormente se realizó una campaña de trabajos geológicos adicionales enfocados principalmente al eje La Yesca.

A principio del año 2004, a recomendación del grupo de asesores de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos y por la indicación del titular de dicha Coordinación, el grupo de anteproyectos reinició los trabajos, elaborando esquemas en los ejes La Yesca y Juanepanta, separados unos 400m uno del otro. La razón de hacerlo en 2 ejes fue mientras se definía la geología de detalle de la zona sin descartar todavía el eje Juanepanta, ya que la morfología del terreno en esa zona permitía plantear el arreglo de las obras de manera muy favorable y probablemente a un costo menor. En ambos casos los esquemas estuvieron basados en una cortina de enrocamiento con cara de concreto. Las obras complementarias de las alternativas estuvieron compuestas con un desvío en túnel, vertedores en canal a cielo abierto y planta hidroeléctrica con casa de máquinas subterránea y a cielo abierto.



Antes de continuar con las exploraciones de campo en Juanepanta, los ingenieros de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil expusieron los grandes problemas de geología estructural que existen en la cordillera de la margen derecha, donde se alojaran las obras de generación y excedencias y concluyeron que desplantar obras zona tendrían grandes complicaciones constructivas, por lo que recomendaron ubicar las obras del proyecto en el eje de La Yesca en donde la condiciones geológicas no son tan adversas (julio 2004).

Para la sección de arreglo de obras se revisaron 4 alternativas que son las siguientes:

1. Casa de máquinas subterránea en margen derecha, desvío en túneles margen izquierda y vertedor en túneles margen izquierda.
2. Casa de máquinas subterránea en margen derecha, desvío en túneles en margen izquierda y vertedor a cielo abierto en margen izquierda.
3. Casa de máquinas exterior y vertedor a cielo abierto en margen izquierda desfasados del eje de la cortina, desvío en túneles en margen izquierda.
4. Casa de máquinas exterior, vertedor a cielo abierto y túneles de desvío en margen izquierda alineados al eje de la cortina.

El esquema que cobró relevancia fue el del caso 1, sobre todo cuando se conoció que la roca de la margen derecha era dacita silicificada de buena calidad, además con la casa de máquinas en esa margen, se balancearían las obras en las dos márgenes, aspecto atractivo desde el punto de vista de la construcción. Además se construye una preatagüa para un período de retorno de 20 años y una atagüa alta dentro del cuerpo de la cortina para un período de retorno alto.

Del análisis de las cuatro alternativas, surgió una quinta alternativa la cual presentaba un esquema de obras con casa de máquinas subterránea en margen derecha, obras de excedencias a cielo abierto y túneles de desvío en margen izquierda.

Este esquema fue el que finalmente se aceptó, quedando de la siguiente manera:

Obra de Contención de tipo enrocamiento con cara de concreto de 220.50mts de altura, medidos desde el desplante del plinto hasta el parapeto; Obra de Desvío con dos túneles de sección portal de 14.00mts de altura en la margen izquierda; una preatagüa aguas arriba con 22.00mts de alto y atagüa aguas abajo de 20.00mts de altura; Obras de Excedencias vertedor a cielo abierto con 6 vanos para compuertas en la zona de control localizado en margen izquierda y Obras de Generación planta hidroeléctrica subterránea con casa de máquinas en caverna por la margen derecha que aloja 2 unidades turbogeneradoras de 375 MW cada una.

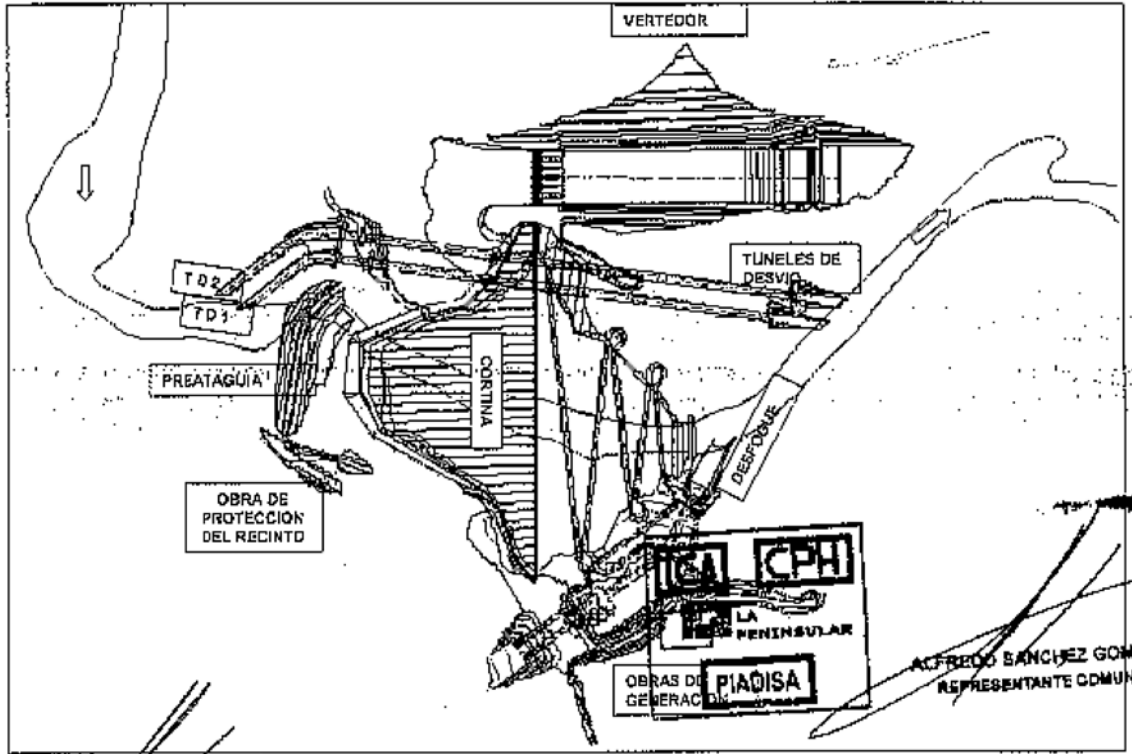


Figura 1.1. Plano General.

1.2. MARCO FÍSICO.

1.2.1. UBICACIÓN.

El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca se localiza en las coordenadas UTM 2 344 050 mN, 292 815 mE y a una elevación promedio de 390,0 msnm, y sobre el Río Santiago a 105km al NW de la Ciudad de Guadalajara y a 22km al NW de la población de Hostotipaquillo cabecera municipal en esta zona del estado de Jalisco. La boquilla se localiza a 90km en línea recta, al noroeste de la ciudad de Guadalajara en la porción limítrofe entre las entidades federativas de Nayarit y Jalisco, aproximadamente a 4 Km aguas abajo de confluencia de los ríos Bolaños y Santiago, sobre el cauce de éste último, el cual forma parte del límite entre dichos estados, constituido legalmente.

Datos de Localización.

Estado	Jalisco
Municipio	Hostotipaquillo
Río	Santiago
Coordenadas Geográficas	21°11´49" Norte 104 °06´21" Oeste

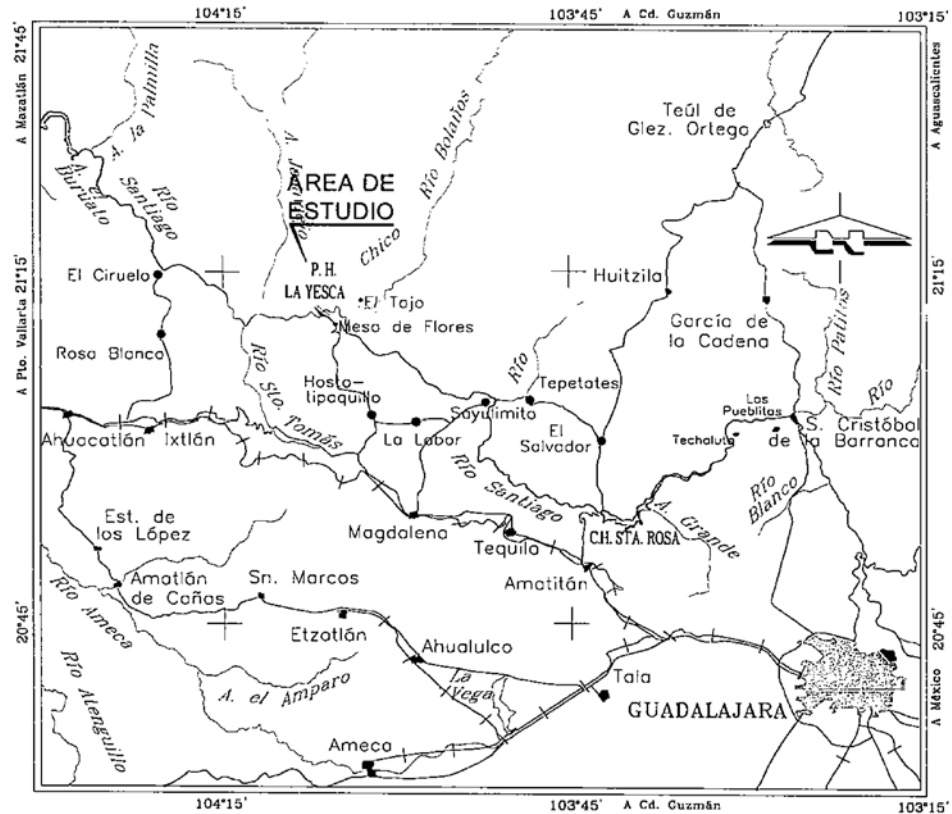


Figura 1.2. Localización.

1.2.2. OROGRAFÍA REGIONAL.

Los eventos volcánicos que sucedieron en la región occidental de México, desde el Cretácico Tardío hasta el actual, muestran evidencia de actividades magmáticas diferentes en un mismo período de tiempo, dependiendo de la localización geográfica en la que se presenten, lo que a su vez determina el ambiente geodinámico al que se relacionan.

En el Cretácico Tardío, la República Mexicana se encontraba representada por una cordillera pacífica, que ocupaba la parte occidental de lo que ahora es el territorio mexicano, ya que toda la porción oriental se encontraba entonces inmersa, mientras que las intrusiones batolíticas del Noroeste y las manifestaciones volcánicas caldricales de Sonora-Sinaloa se asocian a la subducción de la placa Farallón.

Durante la fase de movimientos orogénicos del Albiano-Cenomaniano, se produjo la emersión de la zona central de la cordillera occidental y un vulcanismo andesítico del Oligoceno se desarrolló a lo largo de toda la costa del Océano Pacífico, constituyendo el basamento de la Sierra Madre Occidental; después, en la Provincia occidental se desarrollaron grandes emisiones ignimbríticas ácidas que cubrieron progresivamente la topografía preexistente, encontrando que en algunos sitios, estos paquetes



volcánicos superan los mil metros de espesor.

La región Noroeste de México se interpreta como típica de zona de "Rift", detrás de un arco insular de composición andesítica, originado por la reacción de la corteza a los movimientos de subducción, por lo que un origen similar se puede asumir para la Faja Volcánica Transmexicana. Por lo que respecta a la zona de estudio, regionalmente convergen las provincias geológicas de la Sierra Madre Occidental y la Faja Volcánica Transmexicana, ambas de origen volcánico, de edad Cenozoica, y ambiente geotectónico de arco continental.

La Sierra Madre Occidental está representada en el área por el Súper Grupo Volcánico Superior, cuya composición esencialmente ácida contrasta con la naturaleza básica de la secuencia de la Faja Volcánica Transmexicana; además de que aquella es más antigua que la segunda.

La Faja Volcánica Transmexicana contiene grandes espesores y volúmenes de materiales ígneos extrusivos, que fueron emplazados durante tres episodios volcánicos, desarrollados en el Eoceno, Oligoceno y Mioceno temprano, separados por depósitos vulcanosedimentarios o por discordancias; además, la Faja Volcánica Transmexicana se observa claramente separada de la Sierra Madre Occidental por una discordancia tectónica producida durante el Mioceno medio.

El primer episodio de la Faja Volcánica Transmexicana es un vulcanismo máfico de significativa volumetría y espesor, en ocasiones alcalino, ocurrido entre 11 y 8 Ma, en la zona central de Nayarit y en la región de Guadalajara, luego, durante el Plioceno temprano, entre 7,2 y 5,5 Ma tuvo lugar un periodo de reducida actividad volcánica, seguido por el emplazamiento de grandes volúmenes de riolitas y cantidades menores de ignimbritas; posteriormente, entre 4,5 Ma y el presente, domina nuevamente un vulcanismo alcalino intermedio a básico y grandes domos riolíticos y dacíticos complejos son emplazados entre Guadalajara y Tepic; final Plioceno tardío y Cuaternario, aparecen grandes estrato-volcanes en la porción norte del arco, mientras que escudos volcánicos y conos cineríticos de composición basáltica caracterizan el frente volcánico.

La probabilidad de que las rocas más jóvenes de la región Jalisco-Nayarit, sean producto de un evento geológico independiente relacionado con la apertura del Protogolfo de California y no con la colisión y consumo de la Placa Farallón bajo el continente americano, que es señalada como la causa principal de la génesis de la unidad volcánica ácida más extensa de México y del mundo, que es la Sierra Madre Occidental (Figura 1.3).

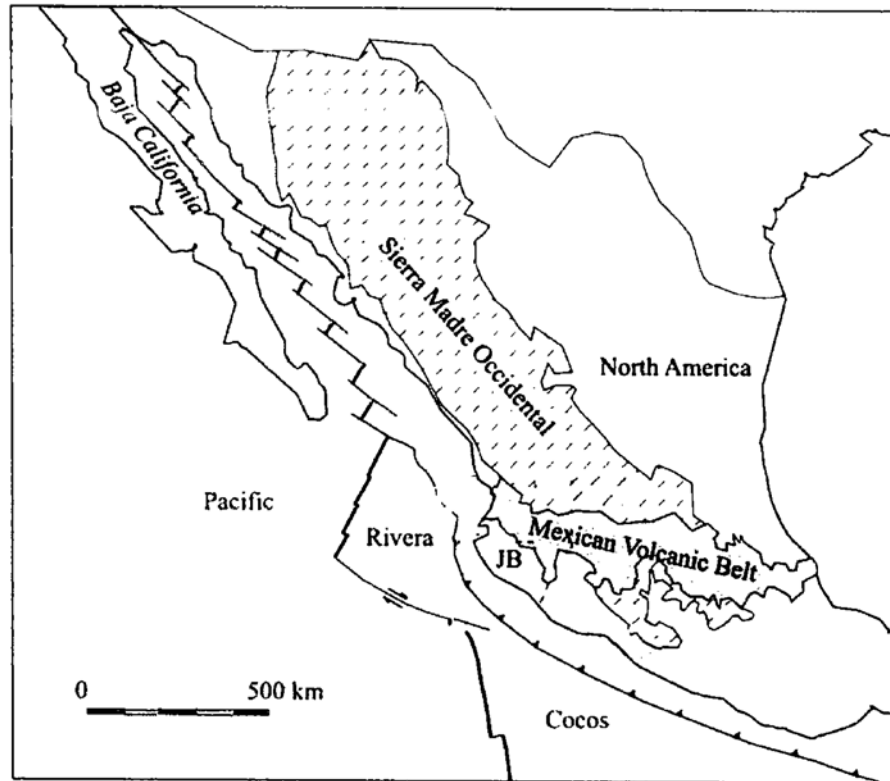


Figura 1.3. Geometría de las Placas Oceánicas y Continental.

1.2.3. HDROLOGÍA.

El río Santiago, con una longitud aproximada de 560km, tiene su origen en el lago de Chapala, el cual es un vaso regulador de las aportaciones de la cuenca del río Lerma, cuya superficie tiene cerca de 50,000 km².

La cuenca del río Santiago, ubicada al occidente del país, en la región central de la vertiente del Océano Pacífico, se localiza entre los meridianos 101°14´ y 105°26´ de longitud oeste y entre los paralelos 20°19´ y 23°25´ de latitud norte.

Desde su origen, a la elevación 1525msnm, el río Santiago fluye en dirección general SE-NW, relativamente próximo y paralelo al límite suroccidental de su cuenca y al trazo de la carretera federal No. 15 Guadalajara-Tepic. En sus primeros 60km recorre los valles de Poncitlán y Atequiza, en el Estado de Jalisco, para bajar después por una abrupta barranca de más 400km de longitud con profundidades alrededor de los 500m.

Los principales tributarios del río Santiago son los ríos Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynemota. Al iniciar el Santiago su recorrido a partir del lago de Chapala hasta su desembocadura al mar, sigue la de lineamientos estructurales E-W y NW-SE, que han conformado en su trayecto un régimen hidrológico de tipo rectangular.



Los escasos escurrimientos procedentes de la margen izquierda son atribuidos en su mayoría a manantiales, ya que la superficie de las mesetas basálticas que cubre esta margen presenta un topografía prácticamente y drenaje bien definido.

El sitio del proyecto se ubica sobre el cauce principal del río Santiago, 4km aguas debajo de la confluencia con el río bolaños, en las coordenadas 21°11´49" de latitud norte y 104°06´21".

Las características más relevantes de la cuenca son las que se mencionan a continuación:

- El área de la cuenca drenada es de 51990km², medida desde la presa Corona hasta la boquilla de estudio.
- El área de la cuenca que drena los escurrimientos del río Santiago hasta el E.H. La Yesca es de 37173km².
- El área de la cuenca que drena los escurrimientos del río bolaños hasta la E.H. El Caimán es de 14755km².
- La superficie de la cuenca que se forma entre la unión de los ríos Santiago y Bolaños hasta el sitio del P.H. La Yesca es de 62km².
- La pendiente media, en el tramo C.H. Las Juntas-desembocadura al mar, es de 0.22% y, la pendiente del río en el tramo de Santa Rosa-El Cajón, en donde se encuentra el proyecto es de 0.31%.

Datos Hidrológicos.

Área de la cuenca	51,990	Km ²
Escurrimiento medio anual	3088.2	Mm ³
Escurrimiento medio mensual	257.35	Mm ³
Avenida máxima registrada	7191	m ³ /s
Gasto medio anual	97.86	m ³ /s
Gasto medio aprovechable	92.05	m ³ /s
Periodo de registro	64	Años

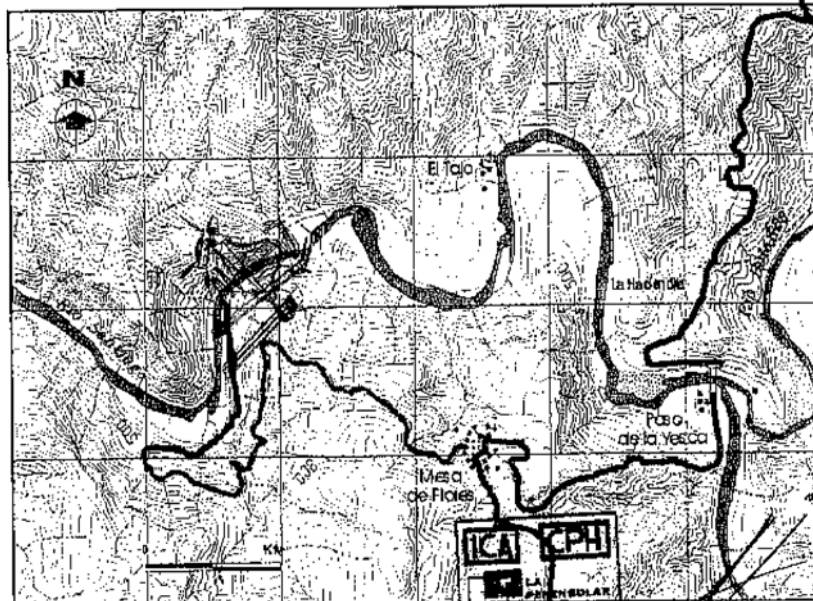


Figura 1.4. Hidrología Regional

1.2.4. GEOLOGÍA.

La geología del sitio es una mesa rocosa compuesta por una dacita pseudoestratificada y masiva basculada hacia el NW.

Este macizo está afectado 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 denominada Murciélago, que por sus características de continuidad y abertura parece importante.

Con respecto a los índices de permeabilidad se denominaron 3 rangos:

Rango 1. ± 29 UL (muy permeable) espesor de 20 a 30m (superficialmente).

Rango 2. ± 23 UL (permeable) el espesor oscila entre los 7 a 21mts.

Rango 3. $\pm 0-7$ UL (poco permeable) espesor indefinido.

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.

Margen derecha.

La cortina quedará emplazada en dos unidades litológicas:

La parte media superior corresponde a una ignimbrita dacita afectada, por un intenso fracturamiento parcialmente abierto y relleno por calcita y arcilla. La parte media inferior



corresponde a un derrame dacítico con un moderado y fracturado poco abierto y cerrado a profundidad. El espesor de la zona descomprimida es de 8 a 20m y corresponde a una roca muy fracturada y ocasionalmente alterada. Las velocidades sísmicas que registra son de 1,430-1,770 m/s y a más profundidad alcanza 2,400-4,000m/s.

Margen izquierda.

La obra de contención se alojara en un derrame dacítico muy salcificado, compacto, con dureza media a alta, de regular calidad, fracturada. La zona descomprimida tiene un espesor de 5 a 12m que corresponde a una roca alterada y fracturada. Las velocidades sísmicas registradas son de 1,250m/s, a profundidad alcanza los 2,500 a 9,000m/s.

Cauce del río.

El espesor promedio de acarreo es de 15m de espesor. Debajo existe una roca alterada, fracturada y fragmentada de 15m de espesor. El RQD fue de 83% y 89%. Permeabilidad promedio de 4.47UL (poco permeable a impermeable).

Las velocidades sísmicas fueron de 1,420m/s, a más profundidad se reportó una roca regular a buena calidad con velocidades de 2,350-3,000m/s.

Geología regional.

Fisiológicamente, el eje la Yesca que da ubicada dentro de la provincia fisiográfica denominada Meseta Neovolcánica en la porción noroccidental del graben Tepic-Chapala, este graben queda limitado al norte por la porción meridional de la provincia de la Serra Madre Occidental.

Geomorfológicamente, los grandes escarpes del cañón del río Santiago muestran superficies con características de erosión con etapas de levantamientos rápidos, principalmente en su margen derecha. Su cauce del río ha sido labrado en su mayor parte en rocas ígneas con un relieve joven.

El río Santiago a lo largo de su trayecto entre el lago de Chapala y hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, corta un importante paquete de rocas ígneas extrusivas e intrusivas, además de pequeños y esporádicos afloramientos de rocas sedimentarias continentales y depósitos de sedimentos no consolidados.

Geológicamente en la zona de la boquilla La Yesca afloran dos formaciones litológicas de origen volcánico del Terciario.

Unidad dacítica-riodacíticade color grisáceo textura porfirítica, fluidal y en parte esferulítica, con bandeamientos de sílice. Se encuentra ampliamente distribuida a lo largo del futuro embalse en el río Bolaños.



Unidad ignimbrítica dacítica- riodacítica; de tono parduzco, por intemperismo cambia a gris verdosa, compacta, dura, silicificada y de textura eutaxítica. Tiene aspecto masivo, seudo estratificado con fragmentos subredondeados, bien soldados con apariencia brechoide, capas de 1 a 5m de espesor. Están sobre las dacitasriodacitas y son prácticamente contemporáneas. Su manejo también están afectadas por diques doleríticos.

Una región está enmarcada dentro de una zona difusa de los límites de las provincias geológicas de la faja ignimbrítica Mexicana y la faja volcánica transmexicana de edad cenozoica, origen volcánico y ambiente tectónico de arco continental.

Las fallas en bloques es el resultado de una o varias etapas de tectónica distensiva, donde también intervienen movimientos de corrimiento continental.

Por lo anterior, en la zona de estudio, han prevalecido movimientos tectónicos de carácter distensivo. También se levantaron varias estructuras que muestran estrías horizontales de fricción ciertos componentes que denotan movimientos laterales importantes.

Geotectónica y Sismicidad.

La tectónica de la región donde se localiza el proyecto, se asocia fundamentalmente con la subducción de las placas de Riviera y Cocos bajo la placa Norteamericana, en la zona de Jalisco – Colima en la parte norte de la Trinchera Mesoamericana. La edad de la placa de Riviera se ha estimado entre 10 y 15 millones de años y su velocidad de subducción bajo la placa Norteamericana se estima entre 2 y 5 cm por año. A pesar de su lenta velocidad de subducción sus periodos de actividad intersísmica aparentemente son más cortos que las que se llene en las zonas de subducción similares.

Datos Geosísmicos

Aceleración horizontal máxima del terreno para sismo base de operación	0.2g	Gals
Aceleración horizontal máxima del terreno para sismo máximo creíble	0.3g	Gals

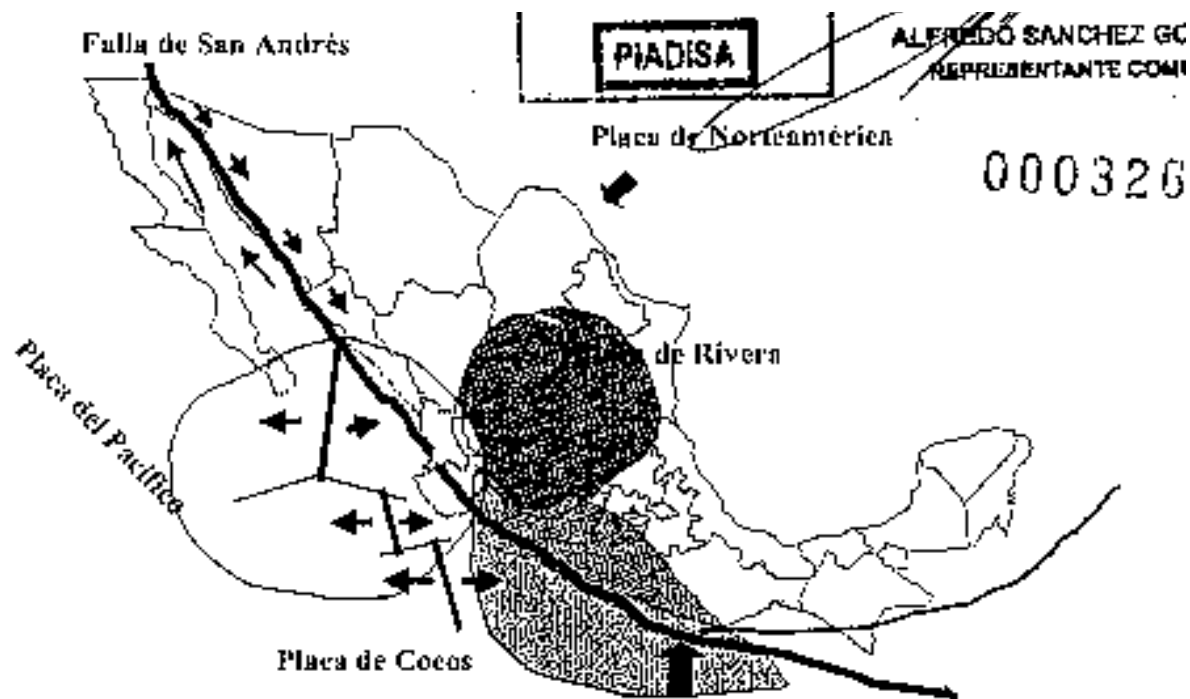


Figura 1.5. Mapa Geosísmicos.

1.2.5. DATOS CLIMATOLÓGICOS.

Temperatura máxima / mínima (ambiente)	46.9 / 12.00	°C
Temperatura de diseño máxima / mínima (ambiente)	37.60 / 20.50	°C
Temperatura máxima promedio verano (ambiente)	37.5	°C
Temperatura mínima promedio verano (ambiente)	22.7	°C
Temperatura de bulbo seco promedio	37.0	°C
Temperatura promedio del agua	27.2	°C
Temperatura máxima del agua	31.8	°C
Temperatura mínima del agua	23.8	°C
Zona climática ambiental	Cálido subhúmedo/rural	
Humedad relativa verano / invierno	36.4 / 48.6	%
Humedad relativa promedio	38.0	%
Presión barométrica	98	kPa
Velocidad del viento	110	Km/h

I.3. VIAS DE ACCESO A LA OBRA.

El acceso, a partir de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, se logra por medio de dos vías alternas que son:

La primera por la Carretera Federal N° 15 (Guadalajara-Nogales) y 2) La Autopista Guadalajara-Tepic; por la primera ruta, se transitan 92,00 Km de la Carretera Federal N° 15, pasando por los poblados de Tequila y Magdalena antes de entroncar a la derecha con la carretera se recorre 12,00 Km para llegar al poblado de Hostotipaquillo. Partiendo de la cabecera municipal continua el camino hasta llegar al poblado de

Por la segunda vía, se recorren 72,00 Km de la Autopista Guadalajara-Tepic, abandonándola en el poblado de Magdalena para seguir por la carretera Federal N° 15 por espacio llegando al entronque referido en la primera alternativa, desde donde se recorre hasta llegar a Hostotipaquillo.

A partir del entronque con Hostotipaquillo se continúa por camino pavimentado, cuyo tránsito es complicado durante la temporada de lluvias, hasta la comunidad de Mesa de Flores, con una longitud de aproximadamente 22 km, donde deriva hacia la izquierda, para llegar al estrechamiento La Yesca, por lo que, desde la ciudad de Guadalajara se realiza un recorrido total promedio de 130,00 Km de carretera, los cuales actualmente se encuentran pavimentados.

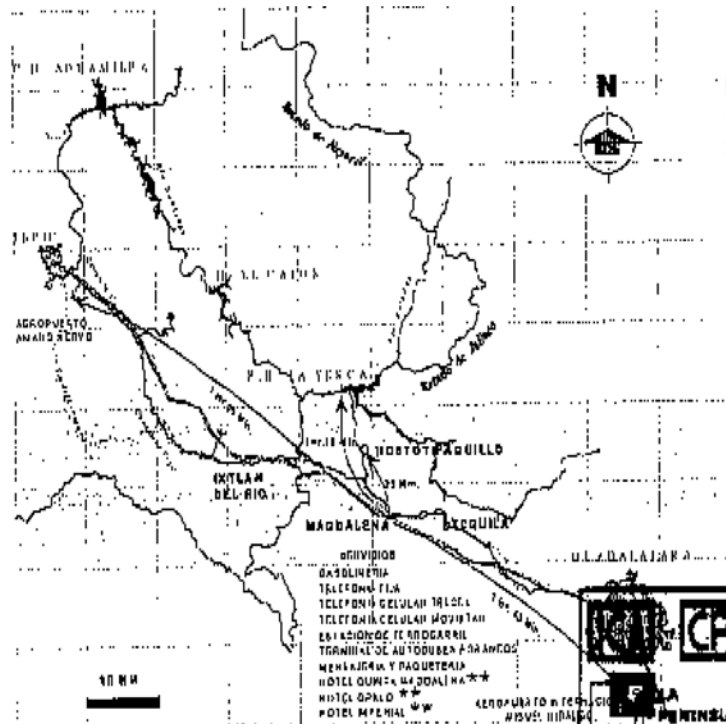


Figura 1.6. Mapa de Acceso.



I.4. DATOS BÁSICOS DE LA OBRA.

El proyecto hidroeléctrico La Yesca forma parte del Sistema Hidrológico Santiago, que comprende a 27 proyectos con un potencial hidroenergético de 4300MW. La Yesca ocupa el segundo lugar en potencia y el tercero en generación dentro del sistema, después de la Central Aguamilpa Solidaridad y El Cajón. Con el desarrollo de este proyecto, se avanzará significativamente en el aprovechamiento integral del agua del cauce principal de la cuenca del Río Santiago, ya que se localiza entre la Central Santa Rosa y El Cajón.

Datos del Vaso

Nivel de diseño (corresponde a la carga de diseño de la turbina)	556,49	msnm
Elevación al Nivel de Aguas mínimas de operación (NAMINO)	518,00	msnm
Elevación al nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO)	575,00	msnm
Elevación al nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)	578,00	msnm
Capacidad útil para generación (NAMO-NAMINO)	1392	Mm ³
Capacidad de control de avenidas (NAME-NAMO)	100,00	Mm ³
Capacidad muerta (capacidad al NAMINO)	900,90	Mm ³
Área al NAME	33,4	Km ²
Área al NAMO	32,50	Km ²
Área al NAMINO	17,60	Km ²

Generación del Proyecto.

Factor de planta	0.19	
Generación media anual total	1,210.00	GWh
Generación media anual firme	943	GWh
Generación media anual secundaria	267	GWh

La obra dio inicio en septiembre de 2007, proyecto que servirá para incrementar la capacidad de generación de energía. El alcance del proyecto cuenta con: ingeniería, procura, construcción, equipamiento, montaje y puesta en servicio. Para su construcción se divide en:

- Obras de desvío
- Obras de contención
- Obras de generación
- Obras de excedencias y
- Obras asociadas



- Obras de desvío:

Cuenta con dos túneles de sección portal de 14 metros de altura cada uno y una atagüía de 43 metros de alto con 900,000m³ de volumen.

- Obras de contención:

Se construirá una cortina de enrocamiento con cara de concreto con una altura de 205mts, dentro de estas obras se incluyen mas de 5,200mts de galerías de inyección y drenaje.

- Obras de generación:

Comprenden de más de 3000 m de túneles y 2 cámaras principales las cuales son casa de máquinas que cuenta con una altura de 50m y galería de oscilación con una altura de 60m, dos turbinas de 375 Mw de potencia cada una, las cuales en conjunto montadas e instaladas tendrán más 120,000 toneladas de peso ya colocadas.

- Obras de excedencias:

Esta excavación comprende de 230m de altura máxima y 9´000,000 de m³ de material desplazado para construir el vertedor de excedencias el cual contará con 6 compuertas de regulación.

- Obras asociadas:

Estas obras son necesarias para la construcción de la obra pero que no están directamente relacionadas de la construcción del proyecto.

La culminación del proyecto está proyectada para el año 2012.



CAPÍTULO II.

ESTUDIOS DE CAMPO.



II. ESTUDIOS DE CAMPO.

2.1. OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS.

La finalidad del presente estudio, es adquirir un mayor conocimiento de las características geológico-estructurales del macizo rocoso en donde se desarrollarán cada una de las obras que componen este proyecto, a través de las actividades de mapeo geológico de superficie, de los socavones de exploración y de la información obtenida de los barrenos, para complementar y mejorar la definición del modelo geológico de la zona de la boquilla y áreas adyacentes; por otra parte, se pretende conocer la evolución geológica y las condiciones litoestratigráficas y estructurales del sitio, para obtener información que permita garantizar la capacidad de estanqueidad del vaso de almacenamiento e identificar zonas con bloques inestables que representen riesgo potencial para la seguridad de la presa.

El Eje de la cortina del P.H. La Yesca, se ubica cerca de la confluencia con el arroyo El Carrizalillo, y se propone como la alternativa más viable para la construcción del Proyecto, el arreglo definitivo de obras se fue optimizando en función de las condiciones geológicas del sitio.

La Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos requirió de exploración geológica, geotécnica y geofísica del sitio de la boquilla para obtener información del macizo rocoso en el P. H. La Yesca; por tal motivo, se propuso y acordó que se continuara con el proceso de definición del modelo geológico, mediante trabajos de mapeo de superficie y en excavaciones subterráneas e interpretación de la geología estructural en el sitio de la boquilla, con esta información se evaluaron diversos esquemas de obra y se tomaron decisiones para definir el esquema actual.

VOLÚMENES DE OBRA

Durante la presente campaña se realizó geología semiregional en el área del embalse, así como mapeos geológicos de semidetalle y de detalle en la boquilla, en cada una de las obras que conforman el diseño actual del proyecto; en las zonas de obras, se desarrollaron mapeos geológicos en superficie y en las obras subterráneas de exploración, para definir características estructurales de fracturas, fallas, seudoestratificación, diques y contactos geológicos, también se llevó a cabo descripción y fotografiado de muestras de núcleos recuperados con la barrenación a diamante, pruebas de permeabilidad y cálculo e interpretación de las mismas, todo lo anterior, con la finalidad de obtener las características geológico geotécnicas que imperan en las zonas de obras. A continuación se resumen los volúmenes de obra ejecutados, tanto en la zona del embalse (Tabla 2.1.1) como en la boquilla y zonas de obras (Tabla 2.1.2):



E M B A L S E			
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCION
MAPEO GEOLÓGICO SEMI REGIONAL	59,0	Km2	Mapeo geológico semi regional, verificación de lineamientos y geformas e identificación de zonas inestables, quedaron pendientes 111 km
ESTUDIOS PETROGRÁFICOS	7	Estudios	Se recolectaron siete muestras de roca en sitios de importancia para su descripción al microscopio.
ELABORACIÓN DE INFORME	1	Informe	Con los datos obtenidos hasta noviembre/2006, se desarrollo un capítulo referente al embalse, acompañado de tres planos.

Tabla 2.1.1. Resumen de actividades desarrolladas en la zona del embalse.



SITIO DE LA BOQUILLA Y ZONAS DE OBRAS			
ACTIVIDAD	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN
TOPOGRAFÍA DE PRECISIÓN.	511	Puntos	420 puntos de control y ubicación de detalles geológicos
	11	Líneas	Para detalles geológicos en secciones.
	2 864,00	m	Línea de referencia en socavones y cadenamientos
	34 900,00	m	Para líneas de estudios geofísicos
LIGAS TOPOGRÁFICAS.	10 655 00	m	Ligas con brújula y cinta a partir de puntos posicionados con topografía de precisión, incluye configuración de socavones.
GEOLOGÍA DE SEMIDETALLE	264 , 50	ha	Mapeo geológico a semidetalle en el sitio de la boquilla, Aspectos geológicos más relevantes.
GEOLOGÍA DE DETALLE.	143 , 89	ha	Mapeo de detalle de unidades litológicas, contactos, fallas y fracturas, datos estructurales y mapeo de alteraciones.
MUESTRAS PARA PETROGRAFÍA	76	Muestras	Obtención de muestras de roca directamente del macizo rocoso para caracterización petrográfica
ESTUDIOS PETROGRÁFICOS	66	Estudios	Caracterización petrográfica de las muestras de roca para establecer composición y origen de las rocas.
MEDICIÓN DE DATOS ESTRUCTURALES	5 464	Datos	Los datos estructurales fueron mapeados y medidos en toda la zona de obras incluyendo socavones exploratorios.
GEOFÍSICA	420	Sondeo	Sondeos eléctricos verticales.
	296	TRS	Tendidos de refracción sísmica, incluyen los realizados para petit sísmique de socavones 04 M.D, 03 Mi, 05 M.1 y 07 M.I.
	24	Cross bote	En pedraplenes de prueba y terraplén de aluvión
	1	Tomografía	Tomografía sísmica entre cruces 0+180 derecho y 0+290 derecho del socavón 04 M.D.
PERFORACIÓN	3 763,95	m	35 barrenos (10 obras de desvío; 11 obras de contención; 4 obras de generación y 10 obras de excedencias).
DESCRIPCIÓN Y FOTOGRAFIADO DE NÚCLEOS	3 495,20	m	Distribuidos en 34 barrenos , en las diferentes zonas de obras
	3 492,30	m	Distribuidos en 34 barrenos, en las diferentes zonas de obras
PRUEBAS DE PERMEABILIDAD	311	Pruebas	Se realizaron un total de 311 pruebas de permeabilidad, sin embargo únicamente se hizo el cálculo de 309 pruebas.
OBRAS DE EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEAS	1 294,40	m	Mapeo geológico de detalle a paredes abatidas, 544,30 m en el socavón 04 M.D. (Obras de generación) y 750,10 socavones 03 M.I, 05 M.1 y 07 M.I.(Obras de excedencias)
ELABORACIÓN DE INFORME FINAL	1	Informe	Informe técnico, incluye 3 planos geológicos del embalse y de la boquilla y zonas de obras, para determinar modelo geológico del sitio y la integración de 35 ORR's de barrenos.

Tabla 2.1.2 Resumen de actividades desarrolladas en la boquilla y zona de obras.

Durante la presente etapa, el diseño general de obras ha sido objeto de constantes modificaciones, debido a que es un proyecto que se fue definiendo conforme a las exploraciones programadas, varias de ellas no concluidas en su totalidad.

2.2. GEOLOGÍA REGIONAL Y DEL EMBALSE.

MARCO TECTÓNICO.

El P.H. La Yesca se localiza sobre el Río Santiago, entre las Centrales Hidroeléctrica "Manuel M. Diéguez" (Santa Rosa) y El Cajón, ocupando áreas que pertenecen a dos provincias geológicas que son: La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) y la Faja Ignimbrítica Mexicana (FIM), ambas de edad Cenozoica, origen volcánico y ambiente geotectónico de arco continental.

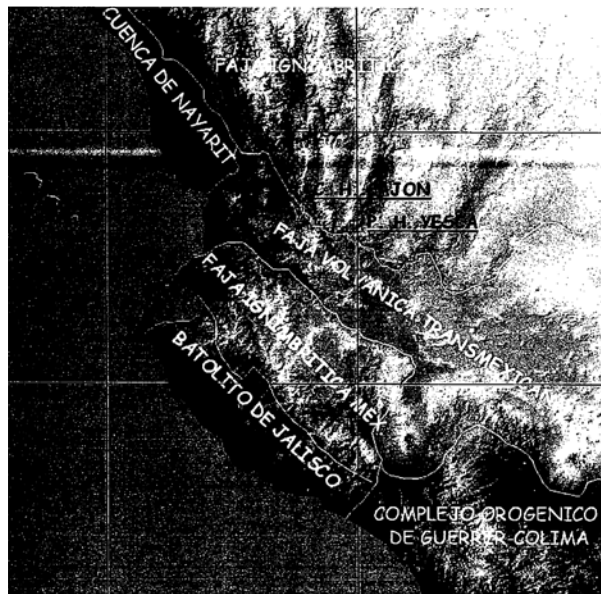


Figura 2.1. Provincias geológicas.

El proyecto se ubica al norte del batolito del Bloque Jalisco y al sur de la provincia de la Sierra Madre Occidental, en la frontera de la Faja Volcánica Transmexicana y el límite sur de la provincia volcánica silícica de la Sierra Madre Occidental, en el límite noreste del Graben Tepic-Zacoalco, donde han predominado las manifestaciones volcánicas durante la era Cenozoica y cuya composición varía de calcialcalina a alcalina.

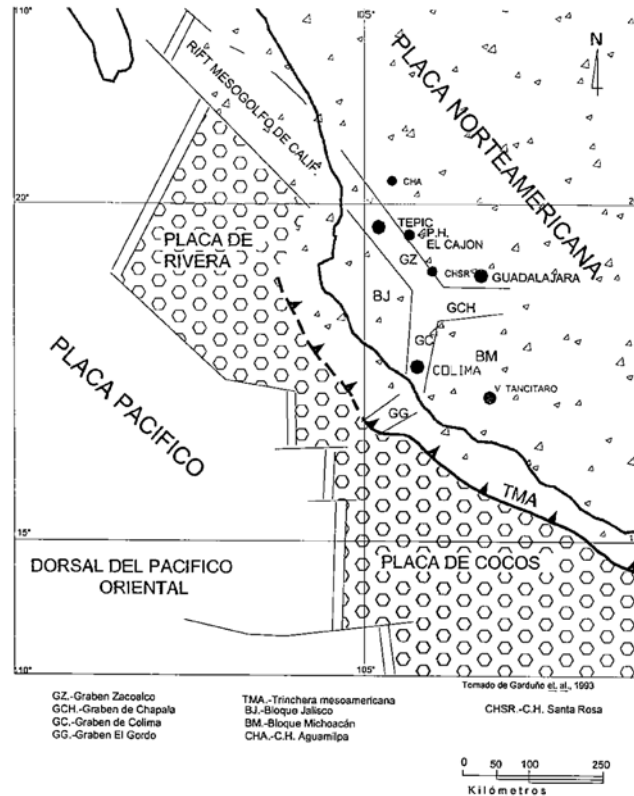


Figura 2.2. Ubicación del proyecto en el marco tectono-estructural regional.

Los rasgos estructurales lineales principales se agrupan en cuatro sistemas, el primero NW-SE al que pertenece el Graben Tepic-Zacoalco, el segundo orientado E-W, representado por el Graben de Chapala y que también controla el cauce del Río Santiago en la confluencia del Bolaños, un tercero N-S, correspondiente al Graben de Colima y por último un sistema NE-SW, reflejado en los tributarios de los ríos Santiago y Ameca.

El marco estructural regional en el que se encuentra ubicado el sitio del P.H. La Yesca, está dominado bajo la dinámica de la tectónica actual del Occidente de México, influenciado por la interacción de las placas tectónicas de Rivera, Cocos y de Norteamérica, que actúan de forma oblicua y con diferentes ángulos de subducción a lo largo de la Trinchera Mesoamericana, afectando al Bloque Jalisco.

Las hipótesis acerca del movimiento del Bloque Jalisco, nos ayudan a conocer más las características estructurales que dominan al Río Grande Santiago, ya que se considera que este Bloque está controlado en su límite Norte por un sistema transcurrente lateral derecho que corresponde al cauce del Río Ameca, por lo que el Bloque Jalisco estaría derivando hacia el NW; por otra parte, se han reconocido dos sistemas de fallamiento regional en el Río Grande de Santiago, uno normal de dirección $N40^{\circ}-75^{\circ}$ y otro de tipo transcurrente, que corta al anterior con una dirección $N110^{\circ}-150^{\circ}$, donde las fallas laterales izquierdas son miocénicas y las derechas Plio Cuaternarias; por lo que se considera que los cauces de los ríos Grande de Santiago y Ameca, se encuentran controlados por grandes



fallas geológicas, en virtud de que estos presentan una gran similitud en la traza de sus cauces; también se debe considerar, que la profundización del cauce del Río Santiago es considerablemente mayor a la del Río Ameca, por lo que se asume que el fallamiento que controla los cauces de estos ríos, es más reciente hacia el sur, sin embargo, se considera que la fase tectónica más reciente para esta zona corresponde a un trend estructural de actitud NW-SE, con una marcada distensión en dirección NE.

Por otra parte, la porción Occidental de La Faja Volcánica Transmexicana tiene gran influencia en el área de estudio, ya que presenta una serie de cuencas tectónicas y cadenas montañosas de gran extensión, destacando las depresiones tectónicas del Graben de Chapara, con una orientación preferencial E-W, el Graben de Colima con una actitud N-S y el Graben de Tepic orientado NW-SE, cuyas expresiones morfológicas son muy características, ya que presentan lagos elongados y colinas alineadas, que se encuentran limitando las partes Norte y Este de lo que se conoce como Bloque Jalisco.

Un aspecto interesante, radica en la presencia de secuencias vulcanosedimentarias de origen lacustre a lo largo de la Faja Volcánica Transmexicana, ubicadas a diferentes elevaciones actuales, con distintos espesores y extensiones, lo que sugiere que los paleopatrones de drenaje fueron obturados, ya sea por emisiones volcánicas, por tectonismo o tal vez por la acción combinada de ambos fenómenos.

La tectónica regional a nivel de placas, involucra las del Pacífico, Cocos, Rivera y de Norteamérica, delimitadas por la Dorsal Pacífico Oriental de carácter divergente, además de la zona de subducción de la Trinchera Mesoamericana como límite convergente. Tanto en la Sierra Madre Occidental como en la Faja Volcánica Transmexicana, se encuentran vigentes sistemas de esfuerzos distensivos (Ferrari y Rosas, 1997; Delgado, et al, 1999) y, en la frontera entre la Placa de Rivera y el Bloque Jalisco se localizó el macrosismo de mayor magnitud instrumentalmente en el país en 1932 con 8,2° Richter. (Singh, et. al., 1985), por clara expresión de inestabilidad tectónica actual se muestra cerca de Ixtlán del Río, una falla con componente lateral derecho, tiene efectos sobre la autopista Guadalajara km 93,7.

En la porción continental de esta región no se ha determinado la génesis de la Faja Volcánica Transmexicana, que está caracterizada por la manifestación de uno de los pocos puntos triple tectónicos continentales conocidos en el mundo, cuyo ramal NW, constituido por la depre Tepic-Zacocalco, está definido como una zona de fallamiento de tipo extensional control estructuras de dirección NW-SE y dentro de esta depresión existen grandes aparatos volcánicos que han emitido enormes volúmenes de lavas alcalinas, así como productos piroclásticos calialcalinos.

La geología y la tectónica en la zona de interés está dominada principalmente por tres fenómenos: la subducción de las placas oceánicas bajo la placa continental, la actividad de la Faja volcánica transmexicana y la zona sismogeneradora de San Cristóbal de la Barranca, Jai. Desde el punto de vista de la generación sísmica, son el primero y el tercero de estos fenómenos los que parecen aportar la contribución dominante.



El proyecto pertenece a dos campos volcánicos tectónicamente activos que son Ceboruco-Santa María del Oro y La primavera, la actividad volcánica ha sido intensa desde el Plioceno hasta el Reciente y la proximidad del Volcán Ceboruco, cuya última erupción ocurrió en febrero de 1870 (CENAPRED, 1995), sugieren una constante vigilancia ante eventuales erupciones; además, dada la ubicación del proyecto, se asume un riesgo volcánico latente, ya que el volcán de Fuego de Colima y La Primavera en Jalisco, indican que la actividad ígnea extrusiva no ha cesado en esta región.

Las manifestaciones geotérmicas son relativamente numerosas dentro de la zona comprendida por el Graben Tepic-Zacoalco, con áreas que han sido exploradas y están consideradas para generación de energía eléctrica, como el Cerro Las Planillas en la Sierra La Primavera con temperaturas superficiales hasta de 90° C, el Ceboruco con hasta 92° C y La Soledad con 96° C, entre otras de menor temperatura.

2.3. SISMICIDAD Y RIESGO SÍSMICO.

Históricamente, en 1875 se refiere la ocurrencia de un sismo que destruyó la población de San Cristóbal de la Barranca, Jal. (Acosta y Suárez, 1996), al que se estima magnitud no mayor de 6.5° y profundidad menor de 15 km. (Delgado V., et al 2001), alcanzando para el P.H. La Yesca una intensidad de VII en la escala de Mercalli modificada y siendo la fuente sísmica más peligrosa para el proyecto y en 1932, en la frontera entre la Placa de Rivera y el Bloque Jalisco se localizó un macrosismo de 8.2° Richter.

Con la finalidad de observar y analizar la distribución y comportamiento de la sismicidad en el área de estudio, y posteriormente poderla correlacionar con las estructuras geológicas locales, se consultaron los catálogos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) con datos del año 1900 a la fecha y de la Comisión Federal de Electricidad, dentro de un radio de 60 Km con centro en la cortina del proyecto (Figura 3.3.1); además, con la ampliación de la cobertura Sismológica en el 2006, a la fecha se tiene localizado un sismo de magnitud 2.9° Al el SW de la cortina, de tal manera que con la información obtenida se establece que epicentros se ubican dentro de la Fosa Tepic-Chapala, asociados con un régimen distensivo y patrones estructurales NW-SE y NE-SW.

El catálogo del SSN tiene un nivel mínimo de detección de 4.8° de magnitud Richter y no reporta ningún evento dentro de la zona mencionada, sin embargo, en el catálogo de la CFE se reportó 100 eventos sísmicos con magnitudes menores a 4.63° de magnitud de coda (Mc), no obstante el sismo de mayor magnitud reportado es de 4.63° Mc., se localizó entre los volcanes Te Ceboruco; por otra parte, la estación sismológica El Carrizo, localizada a unos kilómetros del proyecto, registró sismos locales entre los años 1994 y 2000.



Figura 2.3. Sismicidad registrada dentro de un radio de 60 Km con centro en el P.H. la Yesca, el círculo Azul es el sismo de 1875 con magnitud estimada de 7.8° Richter.

Durante los primeros meses de 1994 se registraron en todas las estaciones sismológicas de las cuencas de los Ríos Santiago, Ameca y Mascota, varios tipos de eventos sísmicos: el más notorio tanto por su amplitud como por su duración, es el clasificado por su forma como tipo "B" de baja frecuencia, que pudiese estar asociado a la presencia en el subsuelo de gases magmáticos.

En esta región destacan dos concentraciones de eventos sísmicos, una en torno a la estructura geológica conocida como Caldera de Santa María del Oro, aproximadamente a 55 Km., hacia el noroeste del proyecto y asociada con emisiones geotérmicas (Delgado et al 1992), cuyas magnitudes no rebasan los 3.0° de magnitud de coda, mientras que la segunda se localiza sobre la población Pie de la Cuesta, cerca de Amatián de Cañas, Nayarit, en margen derecha del río Ameca, aproximadamente a 55 Km. hacia el suroeste del proyecto, con magnitudes de 3.5° Mc y a profundidades menores a 10 Km., relacionados con la depresión de Cañas, formada por una gran falla lítrica de tendencia estructural general NW-S

Castillo y De la Cruz (1992) atribuyen los sismos que afectaron a los poblados de Lagunillas y las Guasitas, Nay., los días 4 y 16 de septiembre de 1987 al parece de magma justo por debajo del domo riolítico Los Ocotes.

Para estimar las intensidades a que ha estado sometida el área de la cortina, se conocen efectos de los macrosismos históricos de 1875, 1911 y 1932, resultando que en esta el grado de intensidad sísmica.

Las fuentes sismogeneradoras consideradas para el cálculo de peligro sísmico para el P.N. La Yesca son:

- a) Subducción, que comprende los sismos generados en la zona de acoplamiento entre las placas, está caracterizada por megasismos a lo largo de la costa del Pacífico.
- b) Intraplaca, que incluye sismos de mecanismo normal generados por la placa subducida.
- c) Faja volcánica Transmexicana (Eje neovolcánico), con predominancia de sismos corticales, como el de 1911.
- d) Sismicidad aleatoria. Comprende sismos dispersos, incluye los sismos inducidos por el llenado del embalse de Aguamilpa. y,
- e) Zona del sismo de 1875, que comprende el área calculada para la fuente del sismo de 1875.

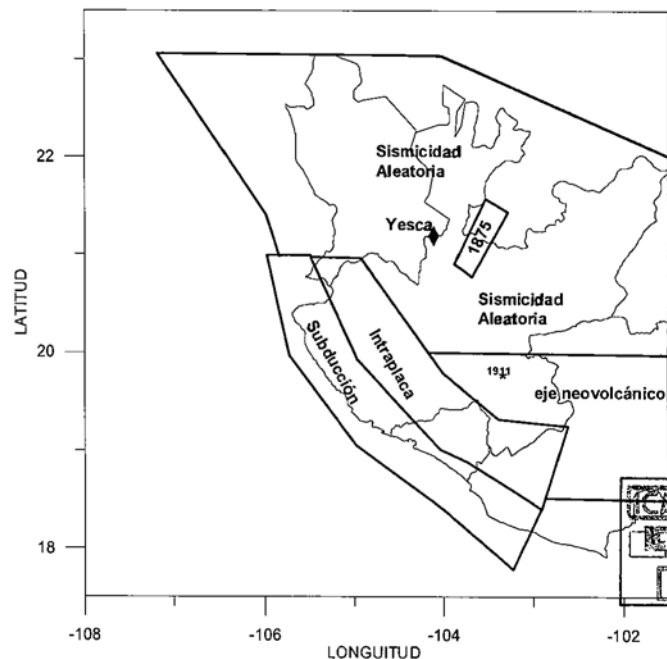


Figura 2.4. Fuentes utilizadas para calcular el peligro sísmico en el P. H. La Yesca.

El cálculo del periodo fundamental arroja un valor entre 0,01 y 0,15s y la respuesta teórica del sitio ante un sismo moderado usando el programa EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis) determina un valor de periodo fundamental teórico de 0.1 s, La velocidad de onda de corte promedio resulta de 1 159,88 mis, la amplificación máxima teórica es igual a 1,0 u, la frecuencia teórica de amplificación máxima es de 0,0 Hz y la frecuencia fundamental teórica se ha calculado en 5,23 Hz; asimismo, mediante la relación de atenuación de Atkinson y Balare se calculó la aceleración teórica máxima del sismo de 1875 ($M_c = 6.5^\circ$), misma que arrojó un valor de 0.106g para el sitio.

Finalmente, el resultado de los cocientes espectrales determinó para el vertedor un periodo predominante T_0 de 0.12s, mientras que para las ataguías de aguas arriba es de 0.17s, recomendando niveles de aceleración horizontal de 1.02g para el MDE, 0.38g para el OBE y 0.52g para un periodo de 1,000 años.

2.4. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE EMBALSE.

2.4.1. Datos técnicos de diseño

La zona de inundación del embalse del P.H. La Yesca abarcará partes de los municipios de La Yesca, Nayarit y Hostotipaquillo, Magdalena, Tequila y San Pedro Anasco en el estado de Jalisco.

Con el dato del NAME se estableció un área aproximada de 170,00 km² para realizar el mapeo geológico semiregional, verificación de geformas y lineamientos estructurales y la identificación de zonas inestables en la zona de afectación del embalse, sobre los cauces de los ríos Gran Santiago, Bolaños y Chico (Figura 2.6).

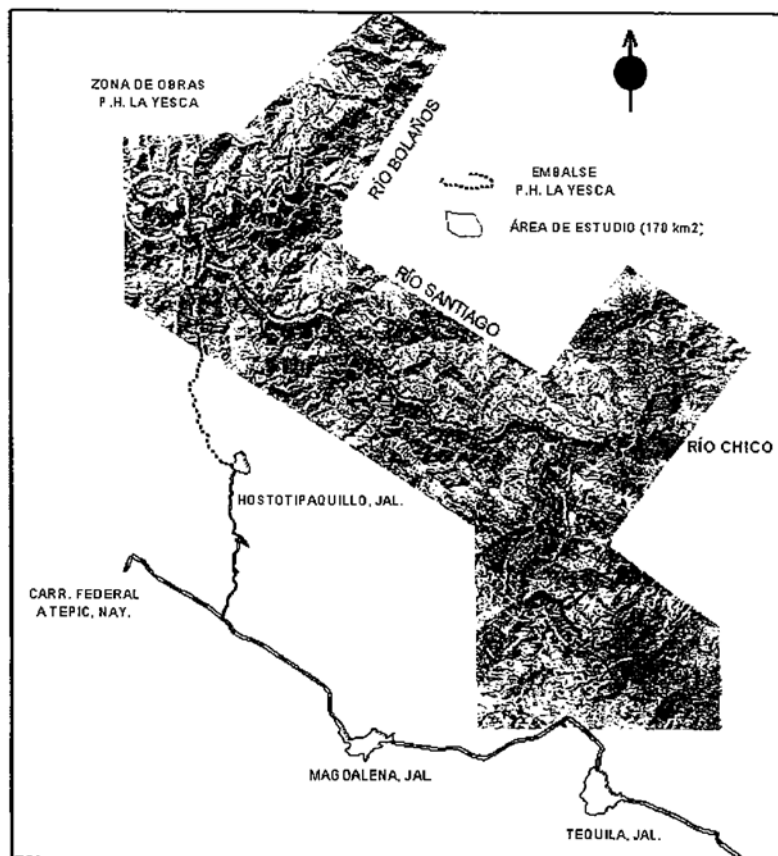


Figura 2.6. Croquis de localización del embalse del P.H. La Yesca.

2.4.2. GEOLOGÍA DEL VASO.

Las rocas que afloran en el embalse corresponden a una serie de eventos volcánicos, vulcanosedimentarios e intrusiones de cuerpos ígneos que se desarrollaron del Cuaternario y la litología, los patrones estructurales e incidencia de los agentes erosivos han modelado un

relieve caracterizado por altas y densamente disectadas corrientes que han labrado profundos y estrechos canales con corrientes tributarias que son de tipo dendrítico. El cañón del es el más profundo, ya que entre las mesetas y la elevación promedio del cauce desniveles de 500,00 a 800,00 m; por otra parte, en las laderas que bordean a este colector principal se presentan las mayores pendientes topográficas, las cuales oscilan entre 45° y 60° hasta la cota 650,00 m, mientras que desde los 650 msnm y hacia mayores elevaciones, pendientes de las laderas oscilan desde 60° hasta verticales, asociadas principalmente con las de fallas gravitacionales y con los bordes de erosión de las mesetas de basalto.

2.4.3. ESTRATIGRAFÍA.

La columna litoestratigráfica del embalse (Figura 2.7), establecida de forma preliminar con base en la información y datos geológicos obtenidos durante las observaciones de campo y de acuerdo con los antecedentes bibliocartográficos de que se dispone hasta la fecha es la siguiente:

COLUMNA GEOLÓGICA DE LA ZONA DEI EMBALSE P. H. LA YESCA

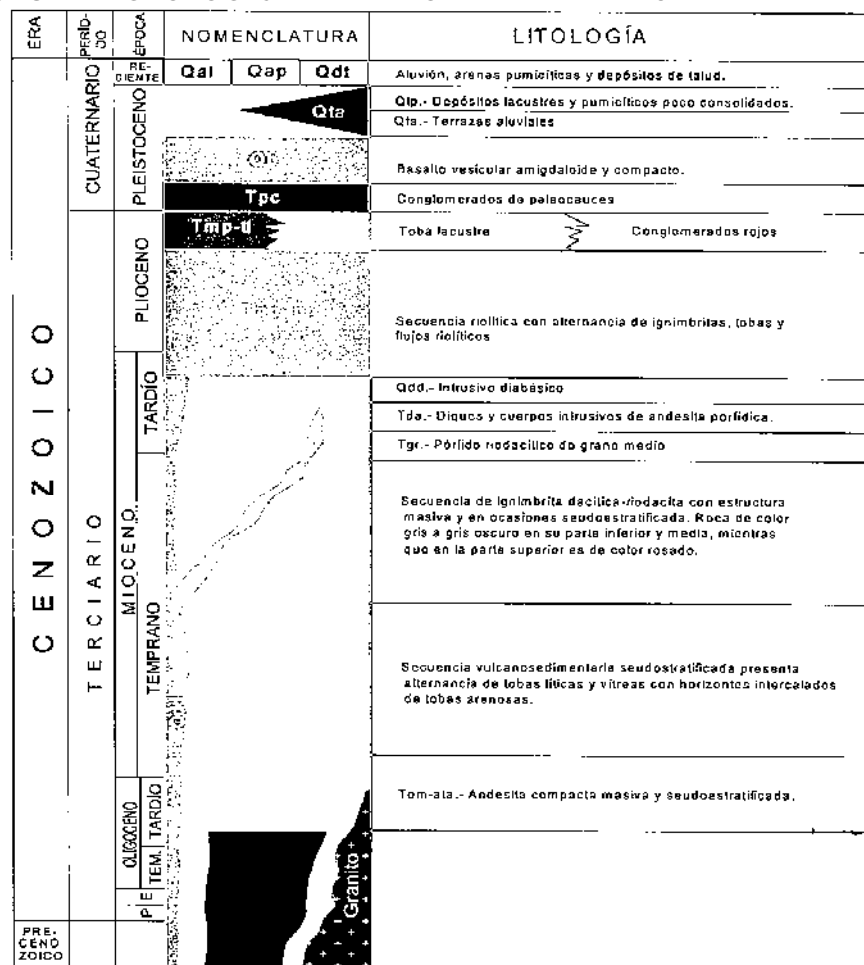


Figura 2.7. Columna estratigráfica de la zona del embalse del P.H. La Yesca.



Andesitas y tobas andesíticas (Tomata)

La base de la columna estratigráfica regional de la zona del embalse se ha reconocido parcialmente en un pequeño afloramiento en el arroyo Carrizalillo, se trata de andesitas que se pueden correlacionar con unidades similares encontradas en la presa Aguamilpa, donde se realizaron dataciones radiométricas, obteniéndose valores de 22,00 Ma (Moreno y Soto, 1994), por lo que su edad se sitúa en el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano.

Debido al modo de ocurrencia de este afloramiento, puede tratarse de un bloque flotado, arrastrado por el empuje ascendente de un cuerpo intrusivo de estructura cómica propio de una zona de colapso de margen de caldera.

Depósitos vulcanosedimentarios (Tmvs).

Sobreyaciendo discordantemente a las andesitas antes referidas, se encuentra una secuencia de origen vulcanosedimentario (Tmvs), compuesto en su parte basas por una alternancia de tobas cristalinas y tobas líticas pseudoestratificadas con horizontes de tobas vítreas arenosas intercalados.

Ignimbrita serie dacítica (Tmid).

Cubriendo concordantemente a las tobas antes referidas, la secuencia varía gradualmente a un paquete riodacítico-dacítico, que conforma los macizos rocosos del sitio de la boquilla y se halla ampliamente distribuido en la zona del embalse, por correlación con unidades similares de la presa Aguamilpa, en donde se realizaron dataciones radiométricas con valores de $19,40 \pm 1,90$ Ma, se le asigna una edad Mioceno Temprano.

Rocas ígneas intrusivas (Tgr, Tqm, Tda y Odd).

Las secuencias vulcanosedimentaria y volcánica antes descritas están intrusionadas por cuerpos ígneos ácidos (Tgr y Tqm), básicos (Tda) y ultrabásicos (Odd), emplazados en forma de diques, apófisis y estructuras cómicas. Los diques y apófisis son indistintamente riolíticos, cuarzomonzoníticos, andesíticos o diabásicos, mientras que las estructuras cómicas son de composición intermedia y los intrusivos mayores son por lo general ácidos, como el intrusivo de granodiorita - tonalita que aflora en el Río Bolaños, a 4,00 Km al NE de la confluencia con el Río Santiago. Hasta la fecha no se tiene conocimiento de dataciones radiométricas de estos intrusivos, pero por posición estratigráfica y relaciones estructurales se les asigna una edad entre el Mioceno Tardío y Plioceno.

Ignimbrita serie riolítica (Tmp-Igr).

En discordancia y sobre las rocas antes descritas se tiene una serie riolítica, compuesta de paquetes intercalados de ignimbritas, tobas y riolitas, que afloran en las partes altas de la zona de la boquilla y del embalse cubriendo a la secuencia dacítica-riodacítica.



Por correlación con rocas similares que afloran en la presa Aguamilpa y en Manga Larga, Nayarit, a las que se les realizaron dataciones radiométricas que reportan edades de 12,00 a 10,00 Ma respectivamente, se consideran del Mioceno Tardío - Plioceno.

Tobas lacustres (Tmp-tl).

Cubriendo también en discordancia a las rocas preexistentes, se encuentran depósitos vulcanosedimentarios pseudoestratificados de origen lacustre (Tmp-tl) intercalados con derrames riolíticos, como se observa en la margen izquierda del Río Santiago y el arroyo Las Juntas.

La edad de esta unidad no está definida, pero por su posición estratigráfica se infiere posteriores a la secuencia riolítica y se atribuyen al Plioceno tardío.

Conglomerados rojos (Tp-cg).

Distribuidos de forma errática y discordante sobre la secuencia preexistente, se encuentran depósitos de antiguas cuencas marginales (Fotografía 3.4.2) y de paleocauces del Río Santiago estos depósitos afloran en áreas restringidas en ambos márgenes del río y por su posición estratigráfica y corto tiempo de formación se les asigna una edad de finales del Plioceno.

Conglomerados en paleocauces (Tpc)

Son materiales conglomeráticos de paleocauces, que incluyen grandes bloques y clastos bien redondeados y mal clasificados, están conformados principalmente por fragmentos de ignimbritas y tobas riolíticas, riodacíticas y dacíticas, granodioritas y pórfidos andesíticos, contenidos en una matriz de gravas, arenas y limos, con moderado grado de consolidación, dispuestos en capas subhorizontales o de forma lenticular, acusando espesores que varían de 2,00 al Constituyen la cima del Terciario, cubren en discordancia erosional y angular a riodacíticas y dacíticas, así como a los cuerpos intrusivos y se encuentra por debajo de de basalto, depósitos lacustres pumicíticos y depósitos de talud.

Basaltos (Qb).

La columna estratigráfica también incluye coladas de basaltos columnares y amigdalares conforman mesetas y se encuentran principalmente en la margen derecha del Río San descansan sobre la unidad dacítica y en ocasiones sobre paleocauces.

Los más cercanos al proyecto se localizan en margen izquierda del río, entre Mesa de Flores y la zona de la boquilla, hasta el momento no se tiene datación radiométrica de estas rocas, pero por su posición estratigráfica se les asigna una edad cuaternaria, se encuentran cubiertos por depósitos pumicíticos lacustres.



Tobas pumicíticas y depósitos pumicíticos lacustres (Qíp)

Esta litología tiene una amplia distribución en la zona, conformando extensas partes altas, como remanentes de erosión o cubriendo a las mesetas de basaltos en medias, está conformada por pumicitas contenidas y cementadas por una matriz tobá fino, cubierta por una mezcla heterogénea de fragmentos líticos y pómez, compact cementados, contenidos en una matriz arenosa-arcillosa, que constituyen del horizontales continuas o de forma lenticular.

Su espesor varía de 2,00 a 40,00 m, cubriendo en forma discordante a ignimbritas dacíticas y riódacíticas, ignimbritas riolíticas brechoides, tobas lacustres y basaltos, en algunas localidad tienen intercalados paleocauces y se hallan parcialmente cubiertas por depósitos de talud correlación se les asigna una edad Holocénica, contemporánea a los basaltos recientes.

Terrazas aluviales y paleocauces (Qta)

Están conformadas por materiales conglomeráticos que incluyen grandes bloques y clastos bien redondeados y mal clasificados de 0,25 a 1,50 m de diámetro, derivados principalmente de ignimbritas y tobas riolíticas, riódacíticas y dacíticas, fragmentos de granodioritas, de pórfido andesítico y de basaltos, contenidos en una matriz de gravas, arenas y limos, con moderado grado de consolidación, dispuestos en capas subhorizontales o de forma lenticular, acusando espesores que varían de 2,00 a 5,00 m.

Se encuentran intercaladas entre las tobas pumicíticos y los depósitos pumicíticos lacustres, sobre las coladas basálticas y en ocasiones directamente encima de las ignimbritas riódacíticas y dacíticas, se diferencian de los paleocauces terciarios, porque los del Reciente contienen fragmentos basálticos.

Depósitos de talud (Qdt)

Ocupan las laderas y zonas con cambio de pendiente abrupta, están compuestos por fragmentos de roca de forma angulosa y granulometría heterogénea, los fragmentos y bloques están contenidos en un material limoso o arcilloso producto del intemperismo de las rocas existentes en las partes altas. El espesor de estos depósitos es variable pero se estima que no rebasa los 30,00 m.

Depósitos aluviales (Qal)

Se encuentran ocupando los cauces de las corrientes superficiales principales y sus afluentes, están compuestos principalmente por fragmentos y bloques de rocas volcánicas e ígneas, bien redondeados y mal clasificados, contenidos en una matriz no consolidada de gravas, arenas y limos. Estos materiales acusan espesores que van de 0,6 hasta 20,00 m.

2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL EMBALSE.

Derivado del análisis de la imagen de satélite, fotografías aéreas y modelos digitales de elevación, se estableció que la región se encuentra controlada por cuatro patrones estructurales.

El primer sistema muestra una orientación general NE-SW, tiene una concentración y distribución importante y controla los cauces de los ríos Bolaños y Chico, mientras que el segunda sistema es de dirección NW-SE, presenta una mayor continuidad que el anterior y controla el Santiago.

Un tercer sistema, exhibe una orientación general N-S, muestra una continuidad importante que atribuyen los cambios repentinos en los cauces de los ríos antes mencionados y, reconocen curvilineamientos con dirección preferente E-W, que corresponden a rasgos controles estructurales de origen tectónico, a los que están vinculadas las estructuras más jóvenes, las cuales, en combinación con los sistemas anteriores forman bloques con evidencias d deslizamientos hacia el norte.

En la verificación de campo se observó que los lineamientos regionales corresponden a fallamiento de tipo normal y, del análisis estadístico estructural realizado se derivan los cuatro sistemas principales que se muestran en el estereograma siguiente (Figura 2.8).

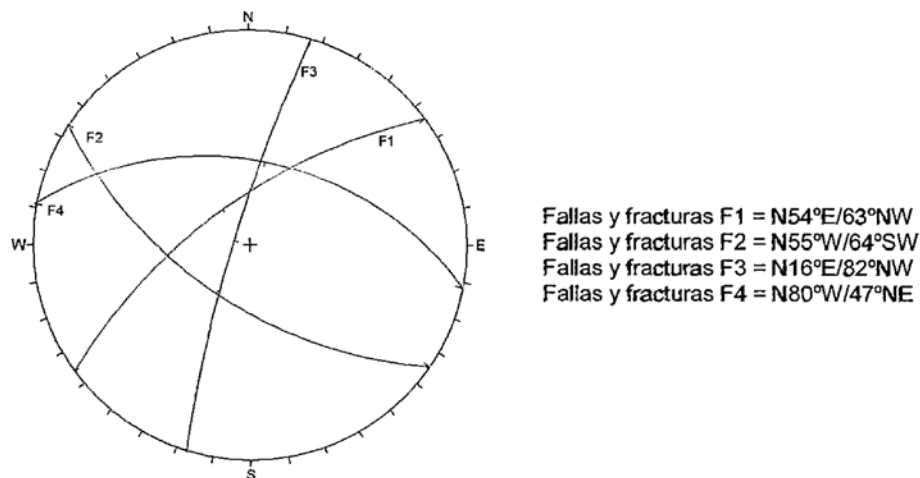


Figura 2.8. Principales sistemas estructurales de la zona del embalse.

El sistema estructural que se presenta con mayor persistencia tiene una actitud preferencial N54°E163°NW y al igual que el sistema N55°W164°SW, se caracteriza por fallas geológicas con zonas de brecha de hasta 15,00 m de espesor, destacando que el relleno de falla está acompañado de arcilla.

Otro sistema tiene una actitud general N16°E182°NW y al igual que los anteriores se observa con brechas ligeramente cementadas con arcilla, definiendo zonas de falla con espesores de 5,00 a 10,00 m.



Por último, se tiene el sistema E-W con una actitud $N80^{\circ}W147^{\circ}NE$, asociado a bloques deslizados a través de fallas lístricas en la zona de la boquilla, este sistema se caracteriza por presentar zonas de intenso fracturamiento con fracturas parcialmente abiertas, rellenas de arcilla o roca fragmentada pobremente cementada.

Estabilidad de laderas

De acuerdo con las condiciones geológicas - estructurales y las morfología del terreno establece que las laderas en el embalse y las zonas de fallas gravitacionales, asociadas con estructuras mayores paralelas al cauce del río Santiago, presentan mínimas condiciones de inestabilidad, ya que estas llegaron a su posición de reposo, máxima erosión y deslizamiento.

Las laderas en estado seco se consideran estables, sin embargo, la saturación de los materiales por la influencia del cuerpo de agua de la presa a su máximo nivel, puede generar inestabilidad y deslizamiento de masas o bloques, ya que se tiene evidencia de caídos, principalmente en el arroyo Las Juntas, donde los bloques alcanzan hasta formaciones de 30,00 m de diámetro, sin embargo, las dimensiones de estos bloques y la lejanía de su ubicación con respecto a la cortina no provocarán riesgo para las obras civiles.

Estanqueidad del vaso

Con base en los reconocimientos geológico-estructurales realizados hasta el momento en la zona de influencia del embalse, a partir de la boquilla y hacia aguas arriba, queda definido que los lineamientos regionales detectados en el embalse, no representan riesgo alguno para al estanqueidad del vaso; sin embargo, mediante la interpretación de fotografías aéreas y la imagen de satélite, en la margen izquierda, se observó un curvilineamiento hacia el este de la zona de la boquilla, que tiene continuidad desde el vaso hasta aguas abajo de la zona de obras, denominada "Jagüey-Manguito", el cual corresponde a una falla normal orientada $N78^{\circ}E/77^{\circ}NW$; asimismo la margen derecha se observan estructuras paralelas orientadas $N30^{\circ}E/170-45^{\circ}SE$, que servir como conductos de agua en el subsuelo desde adentro hacia afuera del vaso durante el llenado.

2.6. GEOLOGÍA GENERAL DE LA BOQUILLA.

Considerando diversos esquemas de obras, la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos solicitó exploración geológica, geotécnica y geofísica del sitio de la boquilla para obtener información de los macizos rocosos en el P. H. La Yesca; por tal motivo, se propuso y acordó continuar con el proceso de definición del modelo geológico e interpretación de la geología estructural del sitio en el que estarán alojadas las obras civiles de este importante proyecto hidroeléctrico (Figura 2.9).

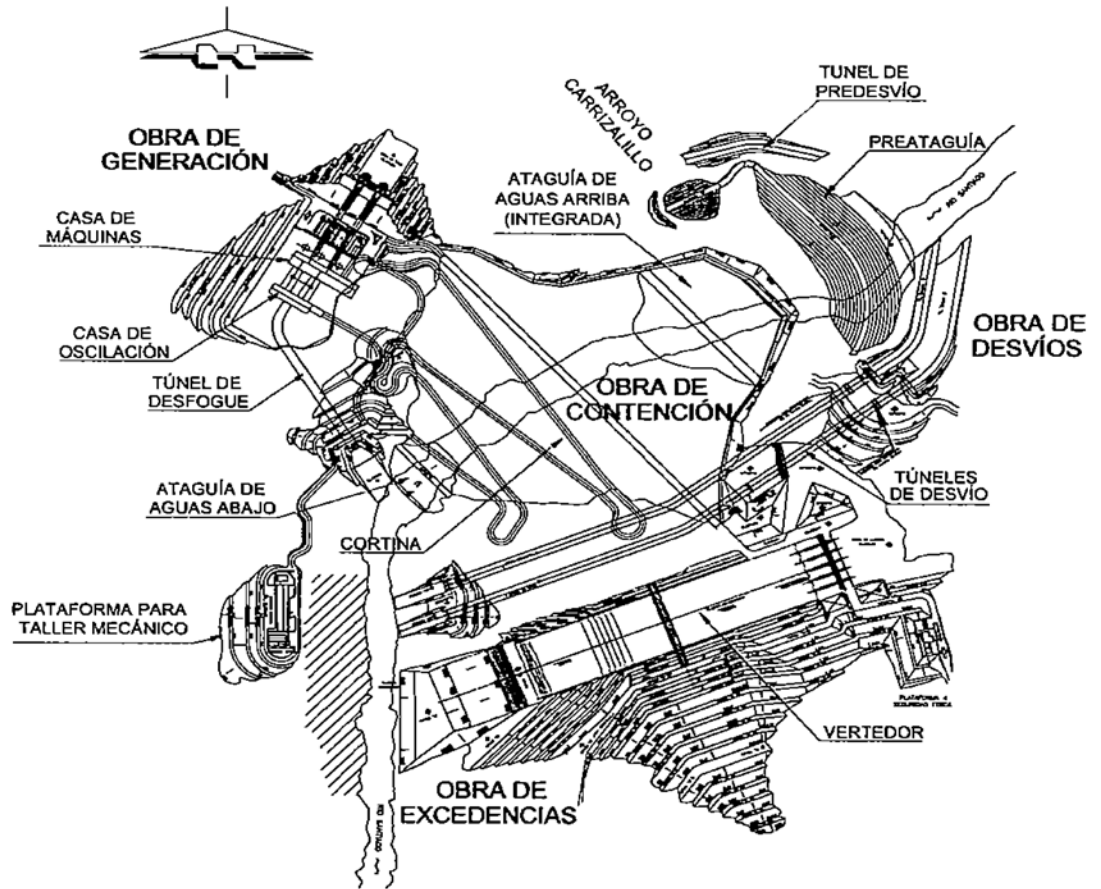


Figura 2.9. Esquema de obras del P.H. La Yesca, que estarán alojadas en la zona de la boquilla.

2.6.1. ESTRATIGRAFÍA.

El sitio en el que se alojarán las obras civiles del P.H. La Yesca conformado por un grupo de rocas volcánicas del Cenozoico, que incluye andesitas (Tomata), tobas líticas cristalinas riolíticas muy silicificadas (Tmtl), ignimbritas riodacíticas textura fluidas (Tmird) e ignimbritas dacíticas porfídicas (Tmid), que conforman ambas márgenes afectadas por cuerpos intrusivos que van desde pórfidos riolíticos (Tgr) y cuarzomonz (Tqm) a pórfidos andesíticos (Tda) y diques diabásicos (Odd); toda esta variedad litológica se encuentra parcialmente cubierta por depósitos lacustres y pumiciticos (Olp), terra (ata), depósitos de talud (Qdt) y aluviones recientes (Qal).



COLUMNA GEOLOGICA DE LA ZONA DE LA BOQUILLA P.H. LA YESCA.

ERA	PERIODO	EPOCA	NOMENCLATURA	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Qal Qap	Aluvión, arenas pumicíticas y depósitos de talud.
		PLEISTOCENO	Qta	Qlp.- Depósitos lacustres y pumicíticos poco consolidados. Qta.- Terrazas aluviales
			Qb	Basalto vesicular amigdaloido y compacto.
			PLIOCENO	Tmp-r
	Tmp-trl	Ignimbrita riolítica en la cima del Banco Juanepanta se observa una brecha con esta composición. Toba riolítica lacustre		
	Tmts	Toba vítrea desvitrificada		
	TERCIARIO	MIOCENO	TARDIO	Qdd.- Intrusivo diabásico
				Tda.- Diques y cuerpos intrusivos de andesita porfídica.
		TEMPRANO	Tgr.- Pórfido riódacítico de grano medio	
			Tqm.- Intrusivo cuarzo monzonítico	
			Tmid.- Ignimbrita dacítica porfídica masiva y en ocasiones seudoestratificada.	
			Tmird.- Ignimbrita riódacítica fluidal.	
			Tmtl.- Toba lítica que subyace directamente a la dacita porfídica, presenta seudoestratificación.	
	OLIGOCENO	Tardío	Tom-ata.- Andesita compacta masiva y seudoestratificada.	
PRE-CENOZOICO	P E	Granito		

Figura 2.10. Columna estratigráfica de la zona de la boquilla del P.H.



A continuación se describen las unidades litológicas de la más antigua a la más reciente.

Rocas Ígneas extrusivas

Andesita (Tomata)

Esta unidad se halla representada por una roca de composición intermedia, de color verde oscuro a negro, textura afanítica y estructura masiva, que presenta una fuerte alteración hidrotermal evidenciada por abundante clorita y epidota y numerosas vetillas de calcita, se observa afectada por un fuerte fracturamiento y es fácilmente disgregable al golpe del martillo. Es la base de la secuencia litológica en el sitio y se haya expuesta como pequeños y esporádicos afloramientos a 400,00 m aguas arriba de la confluencia del arroyo El Carrizalillo con el Río Santiago, en la margen izquierda del arroyo El Carrizalillo, donde se presenta como un pequeño bloque flotado, afectado por un pequeño cuerpo intrusivo pórfido andesítico de forma irregular que produce brechamiento y silicificación en la andesita.

Toba lítica (Tmtl)

Es una roca de origen volcánico, de color gris muy claro a verde claro, piroclástica pseudoestratificada, con textura ligeramente porfídica y brechoide, está constituida por una gran cantidad de líticos subangulosos a subredondeados, principalmente andesíticos, que varían entre 0,01 y 2,5 cm de diámetro y abundantes cristales de cuarzo, contenidos en una matriz afanítica muy silicificada.

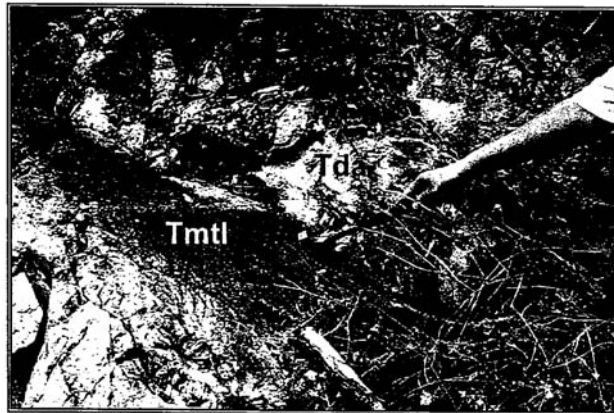
Conforme se profundiza, presenta una variación textural gradual hasta manifestarse como una toba cristalina riolítica de estructura masiva, como unidad de roca acusa una intensa silicificación, que le confiere una fuerte compacidad y una alta competencia geomecánica, sus pseudoestratos tienen espesores que van de 0,15 a 0,40 m y en ocasiones hasta mayores a 1,00 m.

En la margen izquierda, presenta una mejor exposición a nivel del cauce del río, cerca del trazo de la geometría del plinto y aflora de forma continua hacia aguas arriba hasta la zona de los portales de entrada de los túneles de desvío, donde está cubierta por depósitos de talud y aluviones en tanto que hacia aguas abajo de la traza del plinto, entre esta y el eje de la cortina, se observa el contacto entre la toba lítica y la ignimbrita riolítica fluidal.

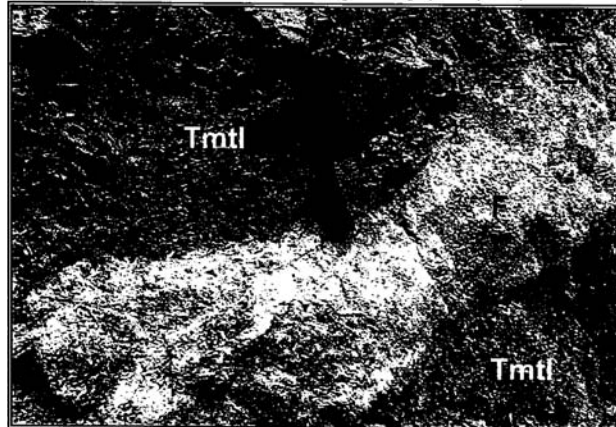
En la margen derecha, su mejor exposición se encuentra en la confluencia del arroyo El Carrizalillo con el Río Santiago y hasta un poco aguas arriba del eje de la cortina.

Esta unidad litológica se considera en el sitio del proyecto como el basamento de la secuencia, no se le ha definido su espesor, porque no está expuesta su parte basal y se encuentra estratigráficamente por debajo de la ignimbrita riodacítica fluidal; por otra parte, se puede observar que se halla intrusionada por cuerpos pórfido andesíticos apófisis cuarzomonzoníticos y diques diabásicos, emplazados en los principales sistemas de fracturamiento.

Cabe destacar que en esta unidad, los mecanismos de fricción de falla (Fotografía 2.11) y las alteraciones hidrotermales inducidas en la roca huésped por efecto de los cuerpos cuarzomonzoníticos producen materiales arenosos, que también se asocian a la presencia de las intrusiones pórfido andesíticas.



Fotografía 2.11. Contacto litológico entre toba lítica (Tmtl) y dique pórfido andesítico (Tda).



Fotografía 2.12. Zona de falla (F) con relleno de material arenoso, afectando a la toba lítica.

Ignimbrita riodacítica fluidal (Tmird)

Se la identifica como "dacita fluidal" y se trata de una roca piroclástica de color gris claro que varía a pardo u ocre y al intemperizar adquiere tonalidades amarillentas, ocres o gris muy oscuro, exhibe textura fluidal que va desde afanítica hasta poifídica, con pseudoestratos que tienen espesores variables de 0,20 a 1,50 m de espesor y es de composición riodacítica.

El macizo rocoso se presenta fuertemente silicificado debido a alteración hidrotermal que ha sellado gran parte de las discontinuidades presentes, lo que ha producido una roca muy dura y cohesiva; sin embargo, aunque es de alta dureza exhibe un denso fracturamiento.

El contacto con la toba lítica subyacente (Tmtl) es concordante y transicional, con una actitud $N25^{\circ}W134^{\circ}SW$, siendo característicos varios planos paralelos a la pseudoestratificación que se encuentran abiertos y sin material de relleno, en la parte basal, esta unidad se caracteriza por una pseudoestratificación delgada (Fotografía 2.13), con pseudoestratos de 0,05 a 0,15m.

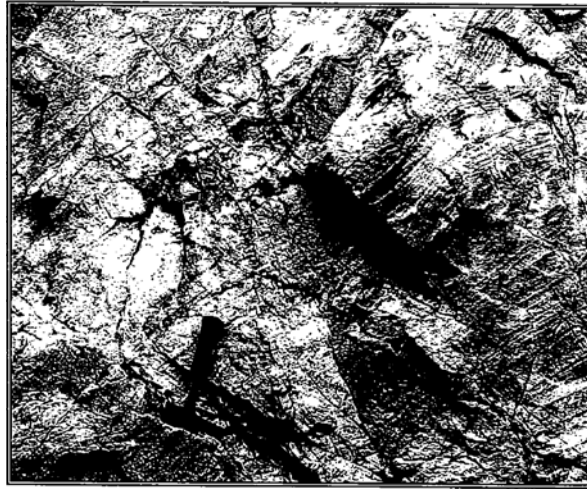


Fotografía 2.13. Planos de pseudoestratificación en la porción basal de la ignimbrita riodacítica fluidal.

En algunos sitios, las líneas de flujo tienen una actitud coincidente con la orientación de la pseudoestratificación, mientras que en otros casos estas líneas presentan ondulaciones con trazos plegados, características de flujos altamente viscosos (Fotografía 2.14), que incluso llegan a adoptar una posición casi vertical (Fotografía 2.15).



Fotografía 2.14. Característica del flujo de la ignimbrita riodacítica fluidal.



Fotografía 2.15. Fluidez casi vertical en las ignimbritas riódacíticas.

Por correlación estratigráfica se le asigna una edad miocénica, ya que se encuentra cubriendo a la toba lítica (Tmtl) y debajo de una ignimbrita dacítica porfídica (Tmid), conformando un espesor de aproximadamente 140,00 m con un marcado basculamiento de 40 a 55° hacia el SW.

La cima de la unidad se caracteriza por la presencia de un paquete de entre 12,0 y 20,0 m de potencia de tobas líticas fuertemente silicificadas, con pseudoestratos que van de 0,15 a 0,40 m y en ocasiones hasta mayores a 1,00 m de roca con una matriz afanítica muy silicificada que envuelve a una gran cantidad de líticos principalmente andesíticos, cuyos tamaños varían de 0,01 a 0,20 m de diámetro y son angulosos a subangulosos, dándole una apariencia brechoide a la masa rocosa pseudoestratificada. (Fotografía 2.16).



Fotografía 2.16. Modo de ocurrencia del paquete de tobas líticas que coronan a la unidad de ignimbritas riódacíticas.

Esta unidad presenta hacia su cima una variación de textura gradual, desde fluidal hasta manifestarse como un paquete de tobas líticas extremadamente silicificadas, lo que les confiere una fuerte compacidad y una alta competencia geomecánica.



En la margen izquierda el paquete presenta su mejor exposición a nivel del cauce del río, en el banco pare pruebas El Guamúchil, mientras que en la margen derecha flora de forma continua del socavón 04 M.D hasta el estrechamiento Juanepanta.

El contacto con la dacita porfídica suprayacente es roca a roca, con una actitud general N15°W144°SW, siendo característicos en este contacto varios planos estriados paralelos a la pseudoestratificación, que se encuentran abiertos y sin material de relleno (Fotografía 4). La ocurrencia y distribución del paquete de tobas líticas de la cima de las ignimbritas riodacíticas fluidales es irregular y tiende a presentar acuñaamientos frecuentes, no obstante, su presencia fue afectada por algunos barrenos exploratorios desarrollados en la margen izquierda, por debajo de las dacitas porfídicas.

Esta Unidad es la segunda en distribución en el sitio (Plano PHY-GB-01-2007), aflorando en la margen izquierda desde la porción media de la ladera, aproximadamente desde la cota 552,0 m hasta el nivel del río, entre la traza del plinto y la zona de los portales de salida de los desvíos, mientras que en la margen derecha se tiene expuesta desde aguas arriba del Eje La Yesca desembocadura del arroyo El Carrizalillo hasta el Socavón 2 de la alternativa J parte, el barreno BYSKD-04 perforado para explorar una primera alternativa de permitió definir e] contacto entre la ignimbrita dacítica porfídica y esta unidad 430,00 msnm.

Ignimbrita dacítica porfídica (Tmid)

Está representada por una roca de color gris claro a gris oscuro cuando está inalterada y verdosa o rojiza por alteración, es de textura porfídica, con abundantes cristales bien desarrollados de plagioclasa de 0,001 a 0,004 m de diámetro, contenidos en una matriz afanítica y silicificada mostrando en algunos sitios sulfuros diseminados; hacia la porción basal, cerca del contacto con la unidad riodacítica infrayacente, en algunos sitios son apenas identificables líneas de fluidez.

A esta unidad se le atribuye por correlación una edad miocénica, debido a la posición que guarda con respecto a las otras unidades, ya que sobreyace a la ignimbrita riodacítica fluidal (Tmird), en ocasiones se encuentra cubriendo en discordancia a la toba lítica (Tmtl), está intrusionada por diques riodacíticos, andesíticos y diabásicos (Tgr, Tda y Odd) y se encuentra parcialmente cubierta por brechas volcánicas riolíticas (Tmbr), tobas vítreas desvitrificadas (Trnts), depósitos lacustres y pumicíticos (QIp).

La masa de roca exhibe estructura masiva y en ocasiones se muestra pseudoestratificada, es dura y compacta, sin embargo típicamente se encuentra afectada por un fuerte fracturamiento, algunos planos de fracturas se presentan con arcilla y carbonatos, mientras que otros muestran una pátina de oxidación; además, es característico que los procesos de alteración hidrotermal afectan fuertemente aunque de manera parcial a esta ignimbrita con manifestaciones importantes de silicificación, produciendo un cambio textural casi total, conservándose únicamente relictos de plagioclasas.



En margen izquierda, la ignimbrita dacítica porfídica ocupa la porción media y media alta de las laderas, conformando la mayor parte del macizo rocoso en el que se excavarán las obras de excedencias, sin embargo, también se presentan grandes bloques de dacita a nivel del río, principalmente en la zona de los portales de salida de los túneles de desvío, que se interpretan como masas de roca deslizadas desde las partes topográficamente más altas.

En margen derecha esta unidad se encuentra ampliamente distribuida, ya que se tiene expuesta desde el eje Juanepanta, donde está suprayaciendo al paquete de tobas líticas de la cima de la ignimbrita riodacítica fluidal, asimismo, constituye la base de lo que se ha denominado "Circo de Erosión", que es una gran masa de roca extremadamente fracturada como producto de diferentes etapas de fallamientos gravitacionales diferenciales y, también conforma superficialmente el macizo rocoso donde se pretenden excavar las obras de generación. La unidad de ignimbrita dacítica porfídica es la de mayor distribución en el sitio del Proyecto, sin embargo no se conoce su espesor, aunque se estima que es de aproximadamente 200,00 m; por otra parte, el fallamiento y fracturamiento de esta unidad se atribuye a esfuerzos de distensión y a movimientos gravitacionales de acomodamiento de bloques de carácter local, siendo relevante que asociados con los principales patrones de fallas y fracturas se tiene una serie de diques riodacíticos, andesíticos y diabásicos que intrusionan a estas ignimbritas.

Toba vítrea desnitrificada (Tmts)

Es una roca de color verde claro, compactada pero deleznable, de textura piroclástica brechoide a eutaxítica, constituida por fragmentos muy alterados de líticos subangulosos a subredondeados de hasta 1,50 cm y fragmentos de vidrio y pómez, contenidos en una matriz tobácea de grano medio a fino fuertemente propilitizada, deleznable al contacto con el agua, contiene también amígdalas rellenas de calcedonia y escasos cristales de plagioclasas. Muestra una estructura pseudoestratificada, con estratos de 0,30 a 0,50 m de espesor. Se encuentra en afloramientos muy reducidos, únicamente en la margen izquierda, ocupando las partes altas, principalmente en la zona de cortes máximos del canal vertedor, donde se observa infrayaciendo a brecha volcánica riolítica (Tmbr), en contacto estructural con la ignimbrita dacítica porfídica (Tmid) y parcialmente cubierta por depósitos lacustres pumicíticos (Qip) y por depósitos de talud (Qdt).

Brecha volcánica riolítica (Tmbr)

Es una roca de color rojizo que por alteración adquiere tonalidades pardas, posee textura piroclástica que varía de brechoide lapiflítica a tobácea y aún eutaxítica de tipo ignimbrito, su estructura es masiva a pseudoestratificada y sus características geomecánicas son una alta dureza y cohesividad, producto de una fuerte silicificación derivada de alteración hidrotermal.



Esta unidad se encuentra expuesta de manera local en la zona de estudio y su mejor afloramiento se localiza en la zona de cortes máximos, en la parte más alta de los taludes izquierdos del canal vertedor y en la zona del canal de llamada de la obra de excedencias, sobre el arroyo socavones, donde se tiene como un bloque deslizado acompañado por material pumicítico.

Rocas Ígneas intrusivas

La secuencia volcánica Cenozoica ya descrita que aflora en el sitio de la boquilla está intrusionada en ambas márgenes por diques cuya composición varía desde ácida hasta ultrabásica, predominando en número los cuerpos diabásicos sobre los pórfidos andesíticos, cuarzomonzoníticos y riodacíticos, estos últimos con afloramientos muy importantes.

El grado de alteración que presentan estos intrusivos en superficie se debe a su composición, ya que los de tipo diabásico se muestran fuertemente alterados y se rompen fácilmente a golpe de martillo, mientras que los de tipo ácido por lo regular son duros, debido a la silicificación. Los diques son cuerpos de forma tabular y dimensiones variadas que se encuentran emplazados en fallas y en los principales sistemas de fracturamiento; la orientación de estas estructuras coincide con los sistemas $N78^{\circ}W/160-86^{\circ}NE$, $N30^{\circ}E/88^{\circ}NW$, $N25^{\circ}E/165-75^{\circ}SE$, $N08^{\circ}E/75-88^{\circ}NW$ y $N35^{\circ}W/87^{\circ}SW$.

El espesor de estas estructuras es variable, pero se tiene un rango aproximado de entre 0,50 m y 5,00 m, su continuidad longitudinal es considerable, alcanzando desde 10,00 hasta más de 50,00 m, en tanto que algunos depósitos de talud enmascaran su presencia, permitiendo su afloramiento solo por tramos, no obstante, los rasgos topográficos y la red del drenaje local contribuyen a inferirlos. A continuación se hace una breve descripción de las características de estos intrusivos.

Pórfidos andesíticos (Tda)

Se trata de cuerpos intrusivos irregulares a nivel de afloramiento, sin embargo en lo general adoptan formas tabulares, superficialmente muestran espesores que varían entre 0,50 y 3,50 m, se caracterizan por una gran cantidad de cristales tabulares bien desarrollados de plagioclasas de color blanco de hasta 0,75 x 2,20 cm, contenidos en una matriz de color gris oscuro con tonalidades rojizas a verde o negro, de textura afanítica o microporfídica. En margen izquierda se tiene un afloramiento de este tipo en el canal de llamada de la obra de excedencias, intrusionando a ignimbritas dacíticas porfídicas muy silicificadas, mientras que en la margen derecha se muestran sobre el arroyo El Carrizalillo, afectando a las andesitas y, en la zona del cauce, sobre la traza del plinto, intrusionan a tobas líticas.

Pórfidos riodacíticos (Tgr)

Son cuerpos de forma irregular que se presentan en ambas márgenes, afectando a las ignimbritas riodacíticas fluidales y a las ignimbritas dacíticas porfídicas, sobre todo en la empotramiento del cuerpo de la cortina. Superficialmente presentan un color rosáceo a gris



claro y su dureza es muy alta por lo muy resistentes al intemperismo, muestran una textura porfídica con fenocristales contenidos en una matriz afanítica y muy silicificada, tienen espesores que varían desde 1,50 hasta 30,00 m, llegan a extenderse en superficie hasta 150,00 m de longitud y el contacto con la litología encajonante es de tipo roca a roca, aunque en algunas partes el contacto presenta arcilla y roca fracturada en forma de brecha. Importante afloramiento de dique riodacítico (Tgr) intrusionando a dacitas porfídicas en la margen derecha, en el macizo rocoso que albergará las obras de generación subterráneas.

Diques dibásicos (Qdd)

Presentan una coloración verde olivo a verde oscuro, tienen textura afanítica, contiene calcita, muestran espesores desde 0,20 hasta 5,00 m, en superficie estos intrusivos tienen continuidad de hasta 500,00 m, parcialmente cubiertos por materiales no consolidados.

Se comportan como cuerpos tabulares que intrusionan a toda la secuencia, son compactos dureza y sus contactos con la litología encajonante es roca a roca y parcialmente con respaldos, siguiendo los principales sistemas de fracturamiento, través de zonas de debilidad siguiendo de preferencia los sistemas de falla.

Pórfidos cuarzomonzoníticos (Tqm)

Son cuerpos intrusivos irregulares a nivel de afloramiento, sin embargo en lo general adoptan formas tabulares, sus manifestaciones superficiales más importantes se localizan en la margen derecha, aguas arriba de la preatagüa, se encuentran intrusionando a tobas líticas, estrechamente relacionados con fallas y fracturas de orientación diferente, aunque también se asocian a los sistemas Pilares y Carrizalillo.

Se trata de rocas de color blanco a crema claro cuando están inalteradas y adquieren tonalidades amarillentas por intemperismo, son de textura porfídica, con cristales tabulares de feldspatos bien desarrollados de color blanco a ligeramente rosáceos de hasta 0,15 x 0,25 cm, contenidos en una matriz de color blanco, afanítica o microporfídica, presentan una silicificación intensa y caolinización débil a moderada.

En la vecindad de los contactos con la roca encajonante, en las porciones marginales, los cuerpos muestran un fracturamiento muy intenso, típico de brechamiento hidrotermal, por otra parte, se ha podido establecer que estos intrusivos están invariablemente vinculados con la diseminación y emplazamiento de sulfuros en esta zona.

Depósitos no consolidados Terrazas aluviales.

Están conformadas por materiales conglomeráticos que incluyen grandes bloques y clastos bien redondeados y mal clasificados de 0,25 a 1,50 m de diámetro, derivados principalmente de ignimbritas y tobas riolíticas, riodacíticas y dacíticas, fragmentos de granodioritas y de pórfido andesítico, contenidos en una matriz de gravas, arenas y limos, con moderado grado de consolidación, dispuestos en capas subhorizontales o de forma lenticular, acusando espesores que varían de 2,00 a 25,00 m.



Este material aluvial se encuentra ocupando terrazas aluviales cuyo desarrollo es paralelo al cauce actual del río Santiago y se identifica en ambas márgenes entre las cotas 412,00 y 580,00m, hallan expuesto de manera discontinua y erráticamente distribuido, sin embargo, en margen izquierda hallan expuestos con dimensiones reducidas en la zona de estructura de control y en el canal de llamada de la obra de excedencias, así como aguas abajo de la intersección del plinto con el eje de la cortina, mientras que en la margen derecha se manifiestan en ambas márgenes Carrizalillo.

Constituyen la cima del Sistema Terciario dentro del área mapeada, cubren en discordancia erosional y angular a las ignimbritas riolíticas (Tmird) y dacíticas (Tmid), así como al pórfido andesítico (Tda) y se encuentra por debajo de los depósitos lacustres y pumicíticos y depósitos de talud (Qdt).

Tobas pumicíticas y depósitos pumicíticos lacustres (Qlp)

Esta litología aflora en el sector oriental del área de estudio, en la parte alta del macizo rocoso y está conformada por material pumicítico contenido en una matriz tobácea de grano fino que constituye islotes irregulares rodeados y cubiertos por una mezcla heterogénea de abundantes fragmentos líticos y de pómez, subangulosos a redondeados, contenidos en una matriz arcillosa arenosa, constituyendo

Constituyen materiales compactados pero no cementados y su espesor varía de 2,00 a 40,00 m, cubren en forma discordante a ignimbritas dacíticas porfídicas muy silicificadas (Tmid), Ignimbritas riolíticas brechoides (Tmbr) y a tobas vítreas desvitrificadas (Tmts), mientras que a su vez se hallan parcialmente cubiertas por depósitos de talud (Qdt). Por correlación se le asigna una edad Holocénica, contemporánea de los basaltos recientes.

Este material se presenta suelto o ligeramente compactado pero no cementado por lo general muy deleznable, se encuentra distribuido en ambas márgenes, de forme indistinta sobre paleodepósitos de talud, terrazas aluviales o ignimbritas dacíticas porfídicas descomprimidas, es de origen piroclástico de caída libre, de color gris muy claro y está constituido por cenizas y a bien clasificadas de granulometría gruesa a media, conformando espesores que varían d 3,00 m.

La edad de su formación se ha asignado al Holoceno, ya que se encuentra sobreyaciendo a la ignimbrita dacítica porfídica en discordancia angular, o bien interdigitada con terrazas aluviales y depósitos de talud. La mayor exposición de estos materiales se encuentra en la margen derecha, particularmente en la parte central de lo que se ha denominado "Circo de Erosión" y al poniente de la toma de la obra de generación.

Depósitos de Talud (Qdt)

Se encuentran ampliamente distribuidos en la zona de la boquilla y se identifican en ambas márgenes, ocupando principalmente los sitios de cambios bruscos de pendiente, están conformados por materiales de tamaño y forma heterogéneos que van desde pequeños fragmentos de 0,05 m hasta grandes bloques de más de 5,00 m de diámetro,

aglutinados entre materiales limo arenosos. La gran mayoría de los fragmentos o bloques se han desprendido de las partes más elevadas del área, caídos por gravedad o formados por la desintegración provocada por el intemperismo, originando así grandes bloques, arenas y suelos. Estos depósitos de talud son de reciente formación y cubren y enmascaran los afloramientos, siendo destacable que algunos sitios alcanzan hasta 20,00 m de espesor.

Aluviones (Qal)

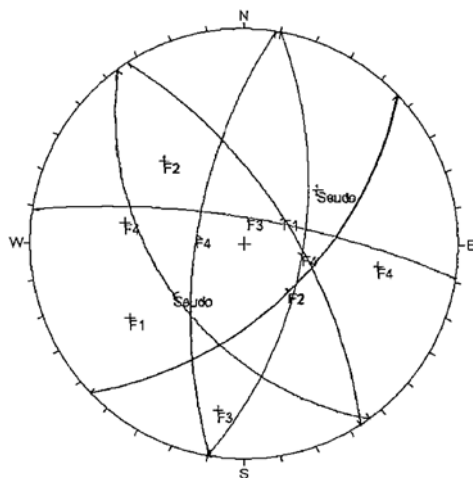
Los depósitos aluviales están compuestos por fragmentos de roca y bloques bien redondeados mal clasificados entre una matriz de gravas, arenas y limos, son de composición heterogénea de tamaños variados, estos materiales se encuentran a lo largo de los cauces del río Santia arroyo El Carrizalillo, con espesores que fluctúan entre 3,00 y 15,00 m.

2.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE LA BOQUILLA.

Margen izquierda

Esta margen presenta una topografía menos accidentada que la margen derecha, con pendientes topográficas que fluctúan entre 30-35°, sin embargo sobresalen en la parte más alta de las laderas dos grandes estructuras geológicas que producen líneas de escarpes muy evidentes con paredes casi verticales, que corresponden a la respuesta geomórfica de las fallas Vertedor 1 y El Mirador.

Mediante el análisis estadístico de 1,334 datos, se determinaron los principales sistemas estructurales que afectan al macizo rocoso en la margen izquierda, destacando de acuerdo a su densidad fallas y fracturas seguidos de la seudoestratificación, cabe mencionar que las fallas Oiga y El Mogote, son representativas del sistema Ff3, mientras que las fallas Vertedor 1, Vertedor 2, Socavón, Lavadero y Mirador son típicas del sistema Ff4, como se representa en el estereograma:



Fracturas f1 = N34°W166°NE
Fracturas f2 = N45°E157°SE
Fallas y fracturas Ff3 = N82°W176°NE
Fallas y fracturas Ff4 = N10°E159°SE-50°NW
Seudoestratificación = N36°W146°SW

Figura 2.17. Principales sistemas estructurales de margen izquierda en el P. H. La Yesca.



Cabe mencionar que en el sistema $N82^{\circ}W176^{\circ}NE$ se encuentran emplazados la mayor parte de los diques diabásicos encontrados en esta margen, aunque también se debe mencionar q cuerpos intrusivos de esta naturaleza con echados hacia el SW, como los que se encuentran en la zona de los portales de entrada de los desvíos y en el cauce, aguas abajo de la traza

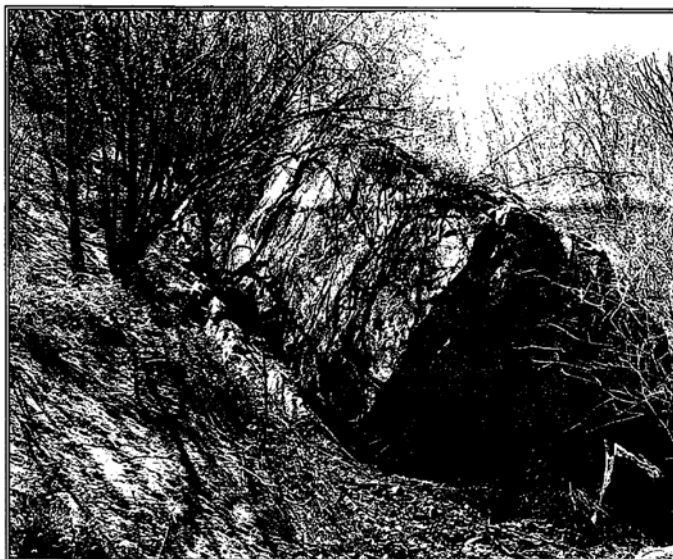
Para una mejor comprensión, en la tabla 4.2.1 se describen las principales características de los sistemas de fracturas que prevalecen en esta margen, mientras que en la tabla 2.2 siguiente se hace lo propio con las fallas geológicas más importantes.

Sistema	Continuidad (m)	Frecuencia (fracturas por metro lineal)	Ru = Rugosidad Ab = Abertura (cm)	Observaciones
(seudo) $N36^{\circ}W/46^{\circ}SW$	60,00 m o más.	1 a 5, en ocasiones hasta 7	Ru = Planas-ond. y planas-rug. Ab = Cda. a 0,05	Presente en las unidades Toba lítica (Tmtl), Riodacita fluidal (Tmird) y dacítica porfídica (Tmid).
f1 $N34^{\circ}W/66^{\circ}NE$	0,60 a 10,00 m o más.	1 a 5	Ru = Planas-rug. y escalonadas-rug. Ab = Cda. a 0,01	Algunos planos con óxidos de hierro y relleno de arcilla.
f2 $N45^{\circ}E/57^{\circ}SE$	0,30 a 7,00 m.	1 a 3, en ocasiones hasta 7	Ru = Ond.-lisos. Ab = Cda. a 0,03.	En algunos casos, el relleno es de arcilla y suelo orgánico, impregnaciones de óxidos de hierro
f3 $N82^{\circ}E/56^{\circ}NW$	0,02 a 8,00 m	1 a 3, en ocasiones hasta 10	Ond.-lisas, plana-rug. Ab = Cda. a 0,07	El material de relleno es en algunos casos, impregnaciones de arcilla, óxidos de hierro y suelo orgánico.
f4 $N02^{\circ}E/ 54^{\circ}SE$	0,10 a 12,00 m	1 a 4	Ru = Ond.-lisa, plana-rug. Ab = 0,005 a 0,05	La superficie de contacto de algunas fracturas presenta impregnaciones de óxidos de hierro.

Tabla 4.2.1. Características de seudoestratificación y fracturamiento de la margen izquierda.

Falla	Actitud	Espesor (m)	Continuidad (m)	Relleno	Observaciones
MIRADOR	N15°E185°NW	10,0 a 15,0	700,00	Brecha, arcilla y óxidos	Planos de falla paralelos, afecta a taludes izquierdos del vertedor.
VERTEDOR 1	N20°E160° SE	5,00 a 30,0	700,00	Brecha. Roca triturada y arcilla	Espacios vacíos, contacto dacítica porfídica-Riodacita fluidal, afecta a la estructura de control y taludes izquierdos del vertedor.
VERT DOR 2	N20 ° E160° SE	5,00 a 15,0	400,00	Brecha, triturada y arcilla	Espacios vacíos, contacto dacita porfídica-Riodacita fluidal, afecta taludes izquierdos del vertedor en zona de descarga.
COLAPSO	N85°W175 46°NE N85°E175 46°NW	2,5 a 5,0	700,00	Brecha y arcilla	Asociada con zona de cizallamiento de hasta 30,0 m, afecta muro izquierdo de Estructura de control del vertedor.
COLAPSO 1	N85°E155-80°NW N76 ° W150-72 ° NE	1,6 a 3,0	600,00	Brecha y arcilla	Asociada con zona de cizallamiento de hasta 10,0 m, afecta portales de entrada de desvíos y plinto.
COLAPSO 2	N70°E155-80°NW N80°W155-75°NE	0,3 - 0,6	300,00	Brecha y arcilla	Asociada con zona de cizallamiento hasta 5,0 m, afecta zona del plinto.
OLGA	N75°W165° NE	0,5 a 15,0	350,00	Brecha cementada y arcilla	En algunos sitios la brecha está bien cementada por sílice, afectará taludes derechos del canal vertedor.
MOGOTE	E-W180°N	3,0 a 5,0	200,00	Brecha cementada sinilcada	Afecta principalmente al muro derecho del vertedor y estructura de control.
LAVADERO	N - 5153°W	0,6 a 3,0	200,00	Brecha y Roca fracturada	Grandes bloques (15 X 5 X 5m) con salida hacia el cauce del río, afectará la salida de los desvíos.

Tabla 2.2. Características de las fallas principales de la margen izquierda.



Fotografía 2.17. Bloque deslizado sobre un plano de la Falla Lavadero.

Margen derecha

Topográficamente está constituida por zonas escarpadas y pendientes muy fuertes que alcanzan hasta 45° de inclinación, destacando una gran masa deslizada a través de fallas gravitacionales diferenciales, conocida como "Circo de Erosión", cuyas dimensiones aproximadas son $400,00 \times 250,00$ m, evidenciada por una traza semi circular escarpada, que marca la porción alta de la zona media central y por la presencia de crestones de roca que por su alto grado de silificación sobresalen topográficamente debido a la erosión diferencial.

Las principales discontinuidades geológicas identificadas en esta zona son fallas, fracturas pseudoestratificación; por lo general las fallas son de tipo normal, con relleno de material al cataclástico que varía de compacto a deleznable, acompañado de cantidades diversas de como relleno (Figura 2.18) y en algunos casos presentan emplazamiento de diques diabásicos, andesíticos o riolíticos alterados, propilitizados y en algunas ocasiones con vetillas de calcita.

Mediante el análisis de 1 824 datos, se determinaron los principales sistemas estructurales que afectan al macizo rocoso en esta margen, como se muestra en el estereograma de la figura 2.18:

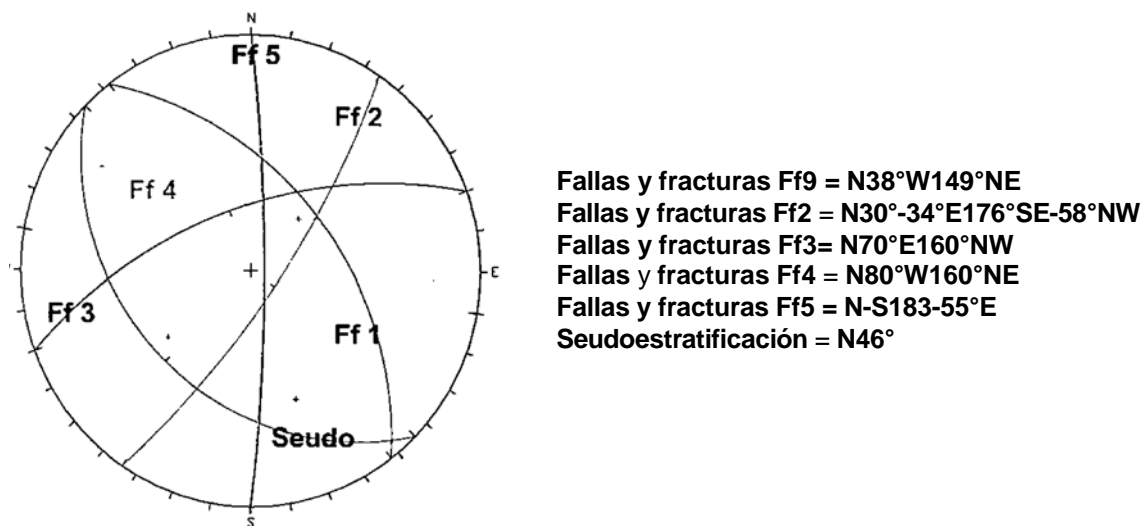


Figura 2.18. Principales sistemas estructurales de la margen derecha en el P. H. La Yesca.

Cabe mencionar que la fallas Carrizalillo y Rodaderos pertenecen al sistema Ff1, cuyas discontinuidades, llegan a presentar orientaciones de hasta $N60^\circ W135^\circ NE$. Las fallas CruceroPitayo y La Sabanilla ejemplifican el sistema Ff2 y se caracterizan por tratarse de fallas de tipo listrico que llegan a exhibir echados de bajo ángulo de hasta 35° ; por otra parte, las fallas Pilar, La Esperanza y Desfogue-Pilares están representadas en el sistema Ff3, que también se caracteriza por estructuras listricas de bajo ángulo.

Las Estructuras correspondientes a las fallas geológicas F-11, F-180 y Colapso norte se agrupan en el sistema Ff4, mientras que las fallas El Casquete, El banco, El descanso, El Escalón, Murciélago y La Rodilla son representativas del sistema Ff5 y la pseudoestratificación exhibe una actitud general N46°W134°SW, mostrando un claro basculamiento de la secuencia hacia el SW.

Destaca en el límite norte del circo de erosión, la zona denominada Colapso sur, como reflejo geomórfico orientado N45°W165° SW, al que se asocian planos con estrías de deslizamiento de bloques de roca, estrechamente relacionados con un intenso fracturamiento. Las características del fracturamiento de la margen derecha se mencionan en la tabla 2.3, mientras que las fallas más importantes se resumen en la tabla 2.4 siguiente:

Sistema	Continuidad (m)	Frecuencia (fracturas por metro lineal)	Ru = Rugosidad Ab = Abertura (CM)	Observaciones
Seudo N46°W134°SW	>60,0 m	1 a 5 y en ocasiones hasta 7	Ru = Planas-ond. Y planas-rug Ab a Cda. a 0,05	Presente en las unidades Toba (Tmtl), Riocacita fluidal (Tmird) y dacítica porfídica (Tmid).
Ff1 N38°W149°NE	Fracturas 3,0 a 30,0 m Fallas 50,0 a >500,0 m	1 a 10	Ru = Planas-rug. Y rug-ond. Ab = Cda. a	Planos rellenos con calcita y arcilla.
N30°E158°N W o 76°SE	Fracturas 3,0 a 30,0 m Fallas 50,0 a 800,0 m	ocasiones hasta 7	Ru = Planas-ond. rug-ond. Ab= v Cda. A	Algunos planos rellenos con calcita y arcilla.
Ff3 N70°E160°NW	Fracturas 3,0 a 20,0 m Fallas 50,0 a >500,0 m	1 a 3 en y ocasiones hasta 7	Ru = Ond.-lisas, planas-rug Ab = Cda. a	Rellenos principalmente de en ocasiones con materiales arenosos
Ff4 N80°W160°NE	Fracturas 2,0 a 10,0 m Fallas 20,0 a 800,0 m	1 a 4	Ru= Planas-rug. y rug.-ond. Ab = Cda. a	Rellenos principal de arcilla en ocasiones con materiales arenosos
Ff5 N-S/83-55°E	Fracturas 3,0 a i 5.0 m Fallas 50,0 a 400,0 m	1 a 6 y en ocasiones hasta 10	Ru = Planas-rug. Y rug.-ond. Ab = Cda. a 0,1	Fracturamiento parcialmente abierto pero en general predomina el relleno arcilloso acompañado de una considerable cantidad de

Tabla 2.3. Características de pseudoestratificación y fracturamiento de la margen derecha.

Falla	Actitud	Espesor (m)	Continuidad (m)	Relleno	Observaciones
CARRIZALILLO	N25-60°W/ 35-55°NE	0,60 – 0,70	200,0	Roca fracturada y arcilla	Zona de cizallamiento de hasta 60,0 m. Afecta Ataguía El Carrizalillo y su canal de desvío
RODADEROS	N40-65°W/ 55-63°NE	0,15 a 0,60	70,0	Roca fracturada y arcilla	Plano de falla asociado a intenso fracturamiento. Probable incidencia en codos superiores de Tuberías a presión.
CRUCERO-PIYAYO	N30-40°E/ 63-37°SE	5,00 a 12,00	250,0	Brecha y arcilla	Afecta obra de toma, taludes de subestación, codos superiores de tuberías a presión, Lumbreras de buses y ventilación, tímpanos orientales de cavernas de casa de máquinas y galería de oscilación y desfogue. Zona de cizallamiento de 5,0 a 35,0 m de espesor.
LA SABANILLA	N22-26°E/ 60-62°SE	0,30 a 0,60	200,0	Brecha silicificada y arcilla	Afecta los taludes poniente de la plataforma de la subestación, codos superiores de tuberías a presión, Lumbreras de buses y ventilación y desfogue. Zona de cizallamiento de hasta 5,0 m.
PILAR	N58-70°E/ 56°SE	0,20 a 0,60	120,0	Brecha y arcilla	Incide en el pilar entre casa de máquinas y galería de oscilación, probable afectación sobre techo de los túneles de aspiración
LA ESPERANZA	N77°E/57°NW	0,30 a 0,80	150,0	Brecha, arcilla y óxidos	Roca triturada con arcilla de hasta 0,20 m de espesor; zonas de cizalla al alto y al bajo, se estima que afecta en bóveda y tímpano poniente de casa de máquinas
DESFOGUE-PILARES	N83-88°W/ 50 -63°NE a N83°E/62°NW	0,30 a 2,80	300,0	Brecha, Roca fracturada y arcilla	Zona de roca brechada con abundante caolín entre planos de intenso fracturamiento. Afecta el Túnel de desfogue.
F-11,	N80°W/43°NE N75°E/60°NW	0,60 a 2,00	300,0	Roca cizallada, arcilla	Afecta el portal de salida del desfogue, continúa hacia la margen izquierda y corresponde con el sistema Pilares
F-180	N70°W/54°NE	0,60 - 1,00	450,0	Roca cizallada, arcilla	Afecta el desfogue, continúa hacia la margen izquierda y corresponde con el sistema Pilares
COLAPSO NORTE	E - W/70°N	N.D.	600,0	-	Falla gravitacional que afecta a los taludes frontales de la obra de toma y plataforma de operación de compuertas y de ventiladores.
EL CASQUETE,	N08°W/65°NE	1,2 a 4,5	1 200,0	Brecha silicificada y arcilla	Zona de cizallamiento asociada de hasta 15,0 m, es la estructura geológica que marca el límite oeste de la zona conocida como circo de erosión
EL BANCO	N08°W/58°NE	0,3 a 0,8	200,0	Brecha silicificada y arcilla	Zona de cizallamiento asociada de hasta 5,0 m, posible vía de agua perpendicular al plano de estanqueidad.
EL DESCANSO	N10°E/81°SE	0,30	120,0	Brecha, roca cizallada, arcilla	Con las fallas Sabanilla y Crucero-Pitayo define un gran bloque que alojará casa de máquinas y galería de oscilación.
EL ESCALÓN	N10°E/82°SE	0,30	120,0	Brecha, roca cizallada, arcilla	Zona de cizallamiento asociada de hasta 3,0 m, posible vía de agua perpendicular al plano de estanqueidad.
MURCIÉLAGO	N03-20°W/ 88-75 NE	5,00 a 6,00	170,00	Brecha Cementada a con sílice	Presenta huecos importantes, posible vía de agua perpendicular al plano de estanqueidad Afecta Excavación del plinto.
LA RODILLA	N70°E/161°NW	0,60	170,00	Brecha y arcilla	Puede constituir una vía, se traza directa la morfología de la margen derecha produciendo una zona crítica a la cota 580,0 directamente aguas arriba del eje de la cortina. Afecta excavación del plinto y taludes izquierdos de obra de toma.
COLAPSO SUR	N45°W/165° SW	N.D.	400,0	Roca cizallada , arcilla	Planos estriados asociados a un intenso fracturamiento. Afecta a la zona SE de la subestación, zona de talleres y salida del desfogue.

Tabla 2.4. Características de las fallas principales de la margen derecha.



2.8. CONDICIONES GEOLÓGICAS DE LA ZONA DE OBRAS.

2.8.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Las obras de desvío del P. H. La Yesca comprenden la ataguía de aguas arriba, integrada al cuerpo de la cortina, además de una preataguía, una ataguía de aguas abajo y dos túneles excavados en la margen izquierda (Figura); la ataguía de aguas arriba tiene una longitud de corona de 229,489 m, a la elevación 439,0 msnm, mientras que a la cota 409,0 m la longitud de la corona de la ataguía de aguas abajo es del orden de 107,717 m; la preataguía tiene una longitud de 346,20 m, con la corona a la elevación 425 msnm. De proyecto se considera excavar dos túneles de 14,0 X 14,0 m de sección portal, con una distancia entre sus ejes de 42,0 m; la longitud del túnel de desvío 1 será de 693,348 m y la del túnel 2 de 750,576; estos túneles están diseñados para un gasto máximo de 8 653 m³/s, para una avenida máxima anual con un tiempo de retorno (Tr) de 200 años. Se tienen previstas excavaciones a cielo abierto, hasta la cota de desplante, para el emportalamiento de los túneles en la entrada y la salida; el canal de llamada, por la entrada, tiene 60,0 m de ancho y una longitud de 222,764 m hasta el portal del túnel 1 y de 239,881 m al portal del túnel 2. Las aguas se integrarán nuevamente al río Santiago por medio de 2 canales de 18,0 m de ancho, uno por cada túnel.

2.8.2. OBRAS DE GENERACIÓN.

En este subcapítulo se exponen los resultados obtenidos de los trabajos de exploración geológica y se muestran los avances actuales acerca de las condiciones geológicas que se pronostican para el último arreglo de diseño de las obras de generación proporcionado por la CPH durante el mes de noviembre próximo pasado. La información que aquí se expone sustituye y complementa a la entregada en el informe preliminar del mes de junio de 2006.

Las obras de generación se localizan en la margen derecha y están conformadas por obras superficiales y subterráneas, las primeras incluyen la obra de toma y una plataforma a la cota 580,00 m, en la que estarán ubicadas una subestación externa y la plataforma para operación de compuertas y patio de equipos de ventilación, las subterráneas consisten de dos tuberías a presión, una caverna de casa de máquinas, dos túneles de aspiración, una caverna de galería de oscilación y un túnel de desfogue (Figura 2.19).

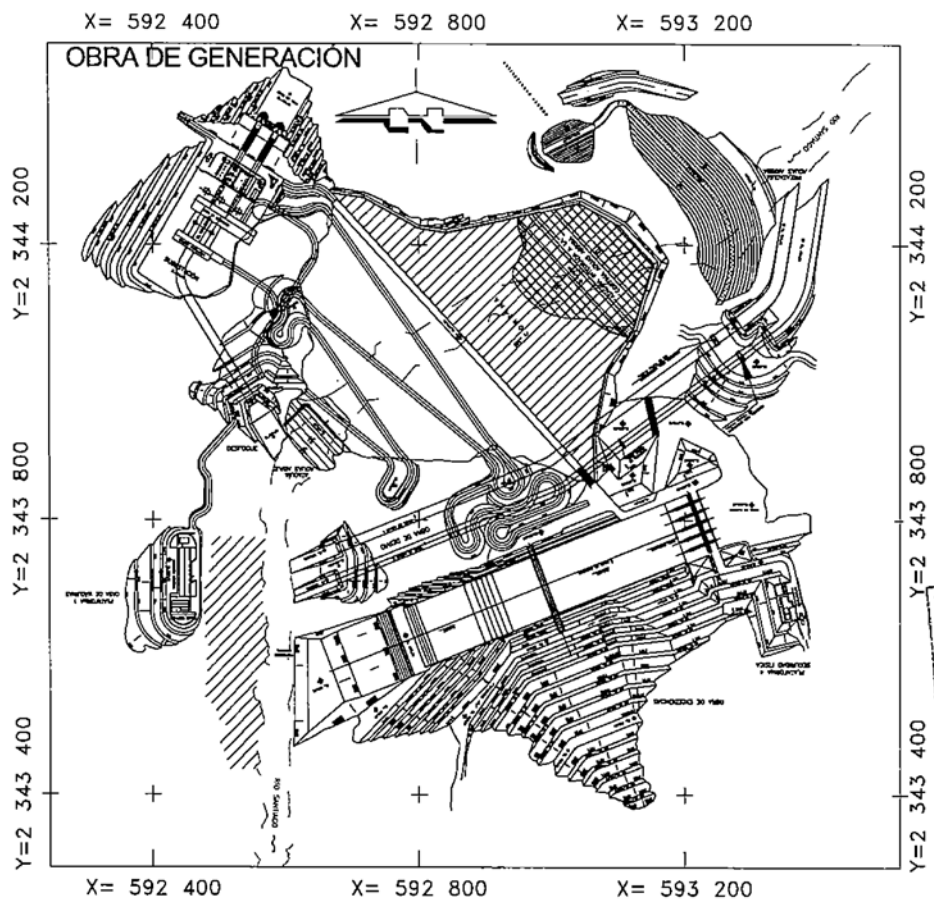


Figura 2.19. Obra de Generación.

El primer esquema de casa de máquinas contemplaba la ubicación del eje de la casa de máquinas en donde se excavó el crucero exploratorio 0+290,6 izquierdo del socavón 04 M.D., con una dirección $N78^{\circ}W$, la obra de toma desplazada 50,0 m hacia el este de la posición actual y la plataforma para la subestación a la elevación 540,0 msnm.

En el mes de junio de 2006, después de analizar las condiciones geológicas observadas en el crucero 0+290,6 izquierdo del socavón 04 M.D., se propuso desplazar el eje hacia el suroeste (aguas abajo) en una distancia aproximada de 60 m y unos 20 m hacia adentro de la ladera con objeto de mejorar la posición con respecto a la falla Crucero-Pitayo, además se propuso girar el eje, en el sentido de las manecillas del reloj unos 20 grados para mejorar las condiciones generales de estabilidad con relación a la formación de bloques. El nuevo diseño ubica la caverna de casa de máquinas entre los cruceros 0+290,6 y 0+180,0 izquierdos del socavón 04 M.D., con su eje mayor orientado $N60^{\circ}W$.

Entre los meses de agosto y septiembre se realizaron cambios en los taludes de la obra de toma y la subestación; finalmente, en el mes de octubre se modifica el diseño, con el desplante de la subestación en la cota 580,0 m y por lo tanto, el diseño de los taludes frontales y laterales del canal de llamada y de la subestación.



Características de las obras civiles.

A continuación se describe cada uno de los elementos que integran las obras de generación, de acuerdo con los planos de diseño correspondientes.

Obra de toma.

Estará construida en un tajo excavado a cielo abierto, cuya plantilla se sitúa a la cota 494,26 m (Planos de referencia: Obra de toma. Excavación y tratamientos; Obra de toma. Excavación y tratamientos). La estructura de apoyo de las rejillas, al igual que los paneles de las mismas será de acero y se dimensionó suponiendo que las rejillas estarán sumergidas y sujetas a una carga hidrostática equivalente de 12,00 m. Los elementos de apoyo principal serán 7 medios anillos de acero soldados a los costados de la bocatoma y soportados por 4 tubos de acero, inclinados a $75,96^\circ$ según la rampa frontal. La altura total de la estructura será de 17,25 m, el diámetro de los medios anillos es de 12,00 m eje a eje y el acero empleado en el diseño de las rejillas y la estructura de apoyo será del tipo A-36, con $f'y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ y $f'r = 4220 \text{ kg/cm}^2$.

El umbral de la toma se ubicará a tres diámetros por debajo del NAMINO (cota 518,00 m), a la elevación 495,50 msnm, con el fin de garantizar un flujo a presión y evitar la inclusión de aire, para una tubería de 7,70 m de diámetro.

El piso de la plataforma para operaciones de compuertas se tendrá a la cota 580,00m.

Tuberías de conducción a presión.

Las tuberías que unen las bocatomas con las unidades generadoras, tienen una longitud de 237,61 m cada una y un diámetro interior de 7,70 m, que reduce en los últimos 38,00 m del tramo horizontal, de 7,70 a 5,48 m y tendrán una separación entre ejes de 28,70 m.

Las tuberías estarán alojadas en 2 túneles de sección circular de 9,10 m de diámetro, que serán revestidos con un espesor de 0,70 m de concreto hidráulico reforzado $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y blindados con camisa de acero tipo A-537, grado 1, $f'y = 3518 \text{ kg/cm}^2$ y empaque de concreto simple de 0,70 m de espesor, desde el inicio del codo inferior hasta el caracol de las turbinas. El eje del distribuidor se ubicará a la cota 404,80 m.

Casa de máquinas.

Estará alojada en una caverna de 22,00 m de ancho por 103,50 m de largo, la clave de la bóveda tendrá una elevación de 413,50 m y en su interior alojará dos grupos turbogeneradores de 375,00 MW cada uno, en el extremo poniente se tendrá un cárcamo de bombeo cuyo piso estará en la cota 359,30 m, el piso de los fosos y la plantilla de los túneles de aspiración será a la cota 363,60 m, contará con una galería de inspección a la elevación 374,15 msnm, el eje distribuidor estará a 381,70 msnm, la galería de buses y el piso de los generadores se ubicarán en la cota 389,05 m, la playa de montaje y el piso de



excitadores estarán a 393,25 msnm y el hongo de riel estará a la cota 403,50 m.

Para el izaje de los equipos se propone una grúa viajera capaz de levantar en partes un rotor de 660 toneladas y por razones de operación, mantenimiento y economía se optó por colocar 2 unidades de tipo Francis con una potencia de 375,00 MW y gasto de 230,39 m³/s cada una.

Plataforma para operación de compuertas y patio de equipos de ventilación.

La zona para alojar los equipos de ventilación y para la operación de las compuertas de la obra de toma estará localizada en la parte exterior, encima de la casa de máquinas y es una continuación hacia el norte de lo que será el Patio de transformadores y subestación. Se trata de una plataforma a la elevación 580,00 msnm, que será conformada mediante excavaciones a cielo abierto.

Galería de oscilación.

Será una caverna de 62,50 m de largo, 16,00 m de ancho y 62,20 m de altura, totalmente revestida de concreto reforzado que en su interior alojará una estructura también de concreto para las ranuras de las compuertas de servicio. El piso de esta caverna en la pared aguas arriba estará a la cota 371,00 m y en la pared de aguas abajo quedará a 372,82 msnm, definiendo una pendiente del 12%, igual a la de los túneles de aspiración, la clave de la bóveda tendrá una elevación de 433,50 msnm, el piso de desfogue de la galería de d auxiliar estará en la cota 380,30 m, la plataforma de maniobras y túnel de acre msnm y el hongo de riel quedará en la cota 427,15 m. La galería de oscilación se conectará a la casa de máquinas por medio de dos túneles difusores que salen de cada una de las turbinas.

Túnel de desfogue.

El desfogue es un túnel de sección portal de 13,00 x 14,00 m y 254,58 m de longitud, revestido de concreto en todo su desarrollo. En la zona de admisión (Pared de aguas debajo de la galería de oscilación), la sección es 13,00 x 22,68 m y en los primeros 72,33 m el piso tendrá una pendiente positiva del 12%, hasta llegar a la elevación 381,50 msnm que es el nivel de piso del túnel, el cual se conserva hasta la salida del desfogue. El desfogue exterior será en forma de canal con un ancho de plantilla variable de 16,00 a 35,00 m que inicia a la elevación 381,50 msnm con una contrapendiente del 25% en un tramo de 22,00 m y concluye a la cota 387,00 m

Para el portal de salida del desfogue, la excavación de los taludes frontales contempla pendientes de 0,25:1 desde 381,50 hasta 435,00 msnm, 0,5:1 de 435,00 a 470,00 msnm y de 0,75:1 de la cota 470,00 m hasta la superficie del terreno natural, con bermas de 4,00 m de ancho a las cotas 404,00, 426,00, 435,00, 455,00, 470,00 y 485,00 m. para los taludes laterales, desde las cotas 381,50 y 387,00 m, hasta la elevación 404,00 msnm, la pendiente será de 0,25:1, de 404,00 a 426,00 msnm, la pendiente del talud será de 0,50:1; a partir de esta última cota, los taludes del lado izquierdo mantendrán una pendiente de 0,50:1 hasta la elevación 455,00 msnm y, de 0,75:1 desde la cota 455,00 m hasta el nivel del terreno natural,



mientras que para los taludes del lado derecho, de 426,00 (Piso del túnel de acceso a casa de máquinas) a 435,00 msnm, la pendiente será de 0,75:1 y desde la cota 435,00 m hasta el nivel de terreno natural, las pendientes de los taludes serán 0,50:1.

Patio de transformadores y subestación.

Será una plataforma construida a cielo abierto a la elevación 580,00 msnm, anexa a la de operación de compuertas y patio de equipos de ventilación, que en conjunto abarcan una superficie de 232,50 x 119,75 m (2,784 ha).

El patio de transformadores y subestación comprende una área suficiente para albergar 4 transformadores de servicio y 2 de emergencia, así como una subestación del tipo encapsulada (SF6) y ocupará una superficie de 90,00 m de ancho por 125,00 m de largo (1,13 ha). Por la difícil topografía en la que estará alojada esta parte de la hidroeléctrica, los cortes para perfilar los taludes del lado poniente, conformarán una pared de 115,00 m de altura, las excavaciones se pretenden con bancos de 20,00 m de altura, bermas de 4,00 m de ancho y las pendientes de los taludes serán de 0,25:1.

Condiciones geológicas en las obras de generación

Con la información de la cartografía geológica tanto de superficie como del socavón en margen derecha de los estudios geofísicos y de los barrenos exploratorios, se conformó el modelo geológico sobre el que serán construidas las obras de generación de este proyecto, determinándose que las obras quedarán alojadas en rocas volcánicas de tipo ignimbrítico, de composición dacítica y riodacítica, intrusionadas por cuerpos de diques semi tabulares, tanto de composición ácida como básica y parcialmente cubiertas por terrazas aluviales, depósitos de talud, arenas pumicíticas y suelos residuales y afectadas por fallas escalonadas que delimitan grandes bloques caídos hacia el norte, noreste, sur y sureste. La geología estructural está regida por fallas, fracturas y pseudoestratificación.

En la tabla 5.3.1 siguiente, se describen brevemente las características de las principales fallas geológicas identificadas en superficie, las cuales representan un mayor grado de afectación durante la construcción de las obras civiles.

FALLA	ACTITUD	ESPESOR (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO	OBSERVACIONES (OBRA CIVIL QUE AFECTA)
RODADEROS	N40-65°W/ 55-63°NE	0,15 a 0,60	70,0	Roca fracturada y arcilla	Estructura alabeada. Plano de falla ondulado y rugoso, asociado a intenso fracturamiento. Probable afectación en codos superiores de Tuberías a presión, en combinación con las fallas La Sabanilla y Crucero-Pitayo.
CRUCERO-PIYAYO	N30-40°E/ 63-37°SE	5,0 a 12,0	250,0	Brecha y arcilla	Afecta obra de toma, taludes de subestación, codos superiores de tuberías a presión, Lumberas de buses y ventilación, tímpanos orientales de cavernas de casa de máquinas y galería de oscilación y desfogue. Zona de cizallamiento y alteración de 5,0 a 35,0 m de espesor.
LA SABANILLA	N22-26°E/ 60-62°SE	0,30 a 0,60	200,0	Brecha silicificada y arcilla	Afecta los taludes poniente de la plataforma de la subestación, codos superiores de tuberías a presión, Lumberas de buses y ventilación y desfogue. Zona de cizallamiento de hasta 5,0 m.
PILAR	N58-70°E/ 56°SE	0,20 a 0,60	120,0	Brecha y arcilla	Incide en el pilar entre casa de máquinas y galería de oscilación, probable afectación sobre techo de los túneles de aspiración
LA ESPERANZA	N77°E/57°NW	0,20 a 0,80	150,0	Brecha, arcilla y óxidos	Roca triturada con arcilla de hasta 0,20 m de espesor; zonas de cizalla al alto y al bajo, se estima que afecta en bóveda y tímpano poniente de casa de máquinas
DESFOGUE-PILARES	N83-88°W/ 43 -63°NE a N83°E/62°NW	0,30 a 2,80	300,0	Brecha, Roca fracturada y arcilla	Zona de roca brechada con abundante caolín entre planos de intenso fracturamiento. Afecta el Túnel de desfogue. Continúa hacia la margen izquierda y corresponde con el sistema Pilares
F-180	N70°W/54°NE	0,60 a 1,00	450,0	Roca cizallada, arcilla	Afecta el desfogue, continúa hacia la margen izquierda y corresponde con el sistema Pilares
COLAPSO NORTE	E - W/70°N	N.D.	600,0	-	Falla gravitacional que afecta a los taludes frontales de la obra de toma y plataforma de operación de compuertas y de ventiladores.
EL BANCO	N08°W/58°NE	0,3 a 0,8	200,0	Brecha silicificada y arcilla	Zona de cizallamiento asociada de hasta 5,0 m, posible vía de agua perpendicular al plano de estanqueidad.
EL DESCANSO	N10°E/81°SE	0,30	120,0	Brecha, roca cizallada, arcilla	Con las fallas Sabanilla y Crucero-Pitayo define un gran bloque que alojará casa de máquinas y galería de oscilación.

Para complementar la exploración geológica del macizo rocoso que alojará las cavernas de casa de Máquinas y Galería de Oscilación, se realizó el socavón exploratorio 04 M.D., con una longitud de 340,0 m y 2 cruceros izquierdos, el 0+290,6 m, con un desarrollo de 180,0 m y el 0+180,0 m con un desarrollo de 124,0 m.

Durante los trabajos de mapeo del socavón, se determinó que las obras de generación subterráneas serán excavadas tanto en riocíticas fluidales como en dacitas porfídicas, asimismo, se definió que los materiales de mala calidad en ambas litologías están indicadas por la incidencia de fallas geológicas importantes, las cuales por su espesor, tipo de relleno y grado de afectación, se describen en la tabla 5.3.3 siguiente, indicando también su probable incidencia en las obras:

FALLA	CARACTERÍSTICAS	ACTITUD	ESPESOR (m)	LOCALIZACIÓN
F-7	Cizallamiento con roca triturada, planos ondulados con arcilla	N75°E/52-60°NW	1,20	0+040,0 m. Soc. 04 MD afectará al desfogue cerca del portal de salida conjugada con dique diabásico.
F-11	Zona de cizallamiento, arcilla entre planos, influencia 4,5 m.	N78°E/48°NW	2,00	0+094,0 m. Soc. 04 MD será cortada por el desfogue, intersecando con la Crucero-Pitayo.
F-13	Zona de brecha y franja de cizalla, calcita en fracturas y arcilla en respaldos.	N80°E/50°NE	0,80	0+115,0 m. Soc. 04 MD Probable afectación en accesos a CM y GO
F-15	Zona de cizalla, arcilla entre planos, roca triturada en respaldos con fracción arenosa.	N87°E/48°NW	1,00	0+134,0 m. Soc. 04 MD Será intersecada por los accesos a casa de máquinas y galería de oscilación.
F-17	Zona de brecha, fragmentos de roca empacados en arcilla. Respaldos con mucha arcilla.	N85°W/48°NE	1,20	0+159,0 m. Soc. 04 MD Será cortada por túneles de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación.
LA ESCONDIDA	Planos de falla ondulados entrecruzados, con relleno de roca triturada y arcilla.	E-W/49°N a N82°W/55-59°NE	3,00	0+187,0 m. Soc. 04 MD; 0+025,0 m y 0+095,0 m. Crucero 0+180 izq. Afecta pilar entre CM. y GO y túneles de aspiración.
F-180	Roca triturada asociada a zona de cizalla, tanto al alto como al bajo, con respaldos arcillosos.	N75°W/47°NE	0,60 a 1,00	0+203,0 m. Socavón 04 M.D. Afectará bóveda y pared de aguas arriba de CM. zona de descarga de tuberías a presión.
PILAR	Varios planos de falla ondulados de bajo ángulo, con roca brechada, relleno arcilloso y escasa fracción arenosa.	N58-70°E/35-52°NW	0,15 a 3,50	0+246,5 - 0+254,0 m. Soc. 04 M.D. y de 0+094,0 - 0+102,0 m. Crucero 0+180 izq. Afecta pilar entre CM y GO y Túneles de aspiración.
PF-5	Planos de falla de bajo ángulo, con roca brechada, arcilla y escasa fracción arenosa.	N70°E/33°NW	0,45 a 1,50	0+270,0 m. Soc. 04 M.D. Afecta bóvedas de CM y GO, pilar entre ambas cavernas, lumbreras de ventilación y tramo horizontal de tuberías de presión.
LA ESPERANZA	Roca triturada, bandas de arcilla de hasta 0,20 m de espesor; zonas de cizalla al alto y al bajo, abundantes óxidos.	N73°E/57-32°NW	0,5 a 0,80	0+306,0 m. Soc. 04 M.D. y 0+087,0 m Crucero 0+290,6 izq. Afecta clave y tímpano oeste de CM y tramo horizontal de tuberías a presión.
CRUCERO-PITAYO	Zona de roca triturada, arcilla plástica en respaldos (5-40 cm), planos ondulados dentro de la zona principal de falla.	N40°E/40°SE	3,50 a 7,50	0+325,5 a 0+334,50 m. Soc. 04 MD, 0+021,5 a 0+027,0 m Crucero 0+290,6 izq. y 0+070,0 a 0+077,0 m Crucero 0+180 izq. Afectará lumbreras de buses y ventilación, tímpanos orientales de cavernas de CM y GO y desfogue.

De las fallas identificadas durante las excavaciones del socavón 04 M.D. y los cruceros y 0+180,0 m izquierdos, las que más impactan dentro de la zona de obras, por que pueden llegar a representar condiciones desfavorables.

Los datos geológicos, geofísicos y estructurales obtenidos durante los procesos de exploración permiten pronosticar las condiciones geológicas estructurales y de calidad de roca estarán presentes durante las excavaciones, perfilado de taludes y construcción de las obras civiles.

En la tabla 5.3.6 siguiente, se citan las obras que componen el conjunto de generación, los tipos litológicos en los que estarán alojadas, las principales estructuras geológicas que las afectan y las condiciones geológicas que se pronostican:

OBRAS	TIPO DE ROCA EN LAS EXCAVACIONES	PRINCIPALES ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS	CONDICIONES GEOLÓGICAS EN LAS EXCAVACIONES
Obra de Toma	Dacitas porfídicas (Tmid) en talud frontal	Colapso Norte, Crucero-Pitayo y La Resortera	A partir del terreno natural es necesario remover materiales no consolidados con espesor de 20 m (40,0 m en forma horizontal). Los cortes finales en rocas duras; masa rocosa fracturada y descomprimida, velocidad compresional de 1,5 a 2,0 km/s. Probable formación de cuñas por intersección de planos de Falla Colapso Norte con Crucero-Pitayo y La Resortera. En talud izquierdo cuñas potencialmente inestables por intersección de sistemas I y III. En talud derecho su comportamiento lo va a marcar Falla Pitayo o fracturas asociadas.
Tuberías de Presión	Dacitas porfídicas (Tmid) Desde la bocanoma y hasta la elevación. 472,0 del tramo vertical	Crucero-Pitayo en tramo horizontal y codo superior	Roca de calidad regular a buena, con RQD de 60 a 75% en barrenos 16 y velocidades compresionales de 3,0 a 3,4 km/s
	Contacto Tmid y Tmird En tramo vertical a la elev. 430 a 410.	Contacto Tmid y Tmird de mala calidad	Contacto litológico Tmid – Tmird entre las elevaciones 430 a 410, por lo que se pronostica la existencia de una zona de roca muy fracturada en el contacto, con bajos valores de RQD obtenidos en los barrenos 4 y 16.
	Riodacita fluidal Tmird En tramo horizontal y codo inferior de las tuberías.	Las fallas La Esperanza, El Tope, El Yunque y Gotero	Roca ligeramente silicificada y pseudoestratificada de regular a buena calidad, con RQD de 70a 80% en barrenos 16.
Casa de máquinas	dacitas porfídicas (Tmid); Riodacita fluidal (Tmird).	La Falla Pilar y Contacto Tmid y Tmird de mala calidad	Rocas de regular a buena calidad,. El contacto de mala calidad se presenta desde la bóveda de la pared Este, con una inclinación de 25° hacia el piso de la pared del tímpano oeste, por lo que la excavación de la caverna ocurrirá en Tmid arriba del contacto y en Tmird en la parte inferior del mismo. Se definieron bloques en la bóveda y paredes de la excavación, ver formación de bloques en figuras 5.3.7, 5.3.8 y 5.3.9
Túneles de aspiración	dacitas porfídicas (Tmid); Riodacita fluidal (Tmird).	Fallas Pilar y La Escondida	Rocas de regular a buena calidad , contacto litológico entre Tmid y Tmird; los bloques que se formen son por la confluencia de las fallas Pilar y La Escondida. La condición más crítica que pudiera presentarse corresponde a la falla pilar afectando la bóveda de los túneles de aspiración
Lumbreras de buses	dacitas porfídicas (Tmid)	Crucero-Pitayo entre elevaciones 480 y 500	Tmid, dura de regular a buena calidad ; velocidad compresional de 2,4 a 3,0 Km/s; y RQD 25 a 50% o menores en el barreno 4
Galería de Oscilación y desfogue	dacitas porfídicas (Tmid)	Crucero-Pitayo en tramo de la parte media del desfogue	Rocas de regular a buena calidad. La falla Crucero-Pitayo se espera en la parte media del túnel de desfogue

Tabla 5.3.6. Condiciones geológicas pronosticadas para las excavaciones de la obra de generación del P. H. La Yesca, Jalisco-Nayarit. .

A continuación se describen las condiciones geológicas que se pronostican en forma particular para cada uno de los sitios que conforman el conjunto de obras de generación del P.H. La Yesca.

Obra de toma.

En este sitio aflora una dacita porfídica descomprimida, fragmentada y extremadamente fracturada, alterada por hidrotermalismo y débil al golpe de martillo, afectada por un dique pórfido riódacítico alterado y cubierta parcialmente por arenas pumiciticas sueltas y por depósitos de talud semiconsolidados, conformando masas rocosas de mala a muy mala calidad, a nivel del piso del canal de llamada (cota 494,26 m), se tienen depósitos de talud, que cubren a conglomerados semi consolidados de terrazas aluviales y a las dacitas porfídicas descomprimidas.

Hacia la zona de los taludes derechos existe una cubierta de arenas pumiciticas sueltas de hasta 3,0 m de espesor sobre depósitos de talud compactados, semi consolidados pero no cementados.

Desde el punto de vista estructural el sitio está afectado por fallas como la Colapso norte que afecta los taludes frontales de la obra de toma, propiciando la formación de bloques con salida hacia el claro de la excavación o Crucero-Pitayo y La Resortera que afectan los taludes derechos o izquierdos respectivamente.

Para una mejor interpretación y comprensión se realizaron estereogramas, en los que se representan los principales sistemas estructurales y cómo éstos incidirán durante las excavaciones, perfilado y estabilización de taludes.

Un primer estereograma permite interpretar y pronosticar las condiciones estructurales del talud frontal de la obra de toma (Figura 2.20) y el extremo norte de la plataforma para operación de compuertas y equipo de ventilación.

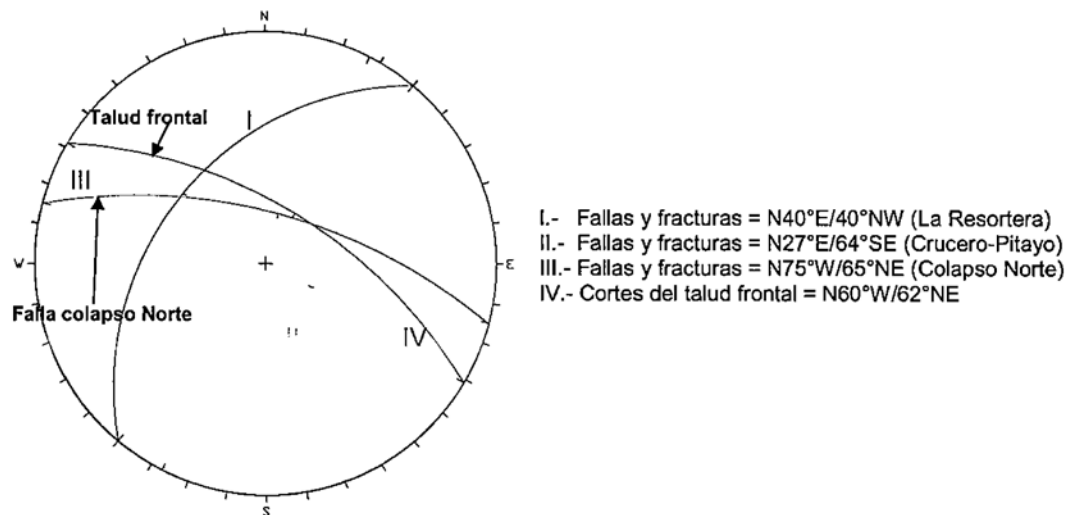
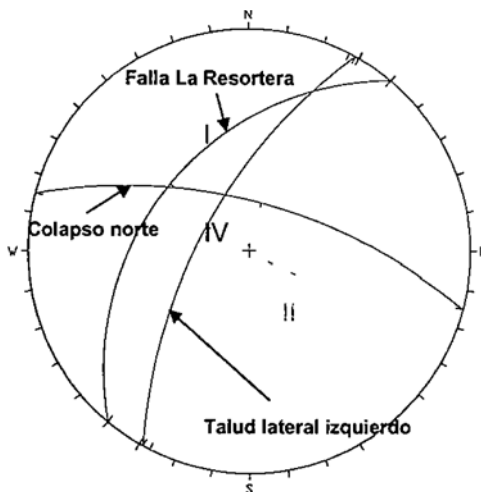


Figura 2.20. Principales sistemas estructurales en el talud frontal de la obra de toma.

Con la información estadística estructural y la proyección geométrica de las estructuras geológicas, se pronostican condiciones desfavorables tanto en el borde norte de la plataforma para operación de compuertas y equipo de ventilación, como en el talud frontal de la obra de toma por efecto de la falla Colapso norte, siendo probable una situación crítica cuando los planos de falla del colapso norte adoptan bajos ángulos, ocasionando grandes bloques con deslizamiento hacia la excavación.

Un segundo estereograma permite interpretar y pronosticar las condiciones estructurales de los taludes izquierdos de la obra de toma (Figura 2.21).



- I. Fallas y fracturas = $N40^{\circ} E/40 NW$ (la Resortera)
- II. Fallas y fracturas = $N27^{\circ} E/64 SE$ (Crucero-Pitayo)
- III. Fallas y fracturas = $N75^{\circ} E/65 NE$ (Colapso norte)
- IV. Cortes de taludes izquierdos = $N30^{\circ} E/65^{\circ} NW$

Figura 2.21. Principales sistemas estructurales en los taludes izquierdos de la obra de toma.

La proyección de las estructuras geológicas mapeadas en la superficie y la interpretación de la figura anterior, permiten pronosticar condiciones desfavorables, debido a los planos de la falla La Resortera, situación que puede agravarse con la influencia del sistema Colapso norte y la presencia de un ramal del dique pórfido riódacítico alterado.

Un tercer estereograma permite interpretar y pronosticar las condiciones estructurales de los taludes derechos de la obra de toma (Figura 2.22).

- I.- Fallas y fracturas = $N40^{\circ} E/140^{\circ} NW$ (La Resortera)
- II.- Fallas y fracturas = $N27^{\circ} E/164^{\circ} SE$ (Crucero-Pitayo)
- III.- Fallas y fracturas = $N75^{\circ} W/165^{\circ} NE$ (Colapso Norte)
- IV.- Cortes de taludes derechos = $N30^{\circ} E/176^{\circ} SE$

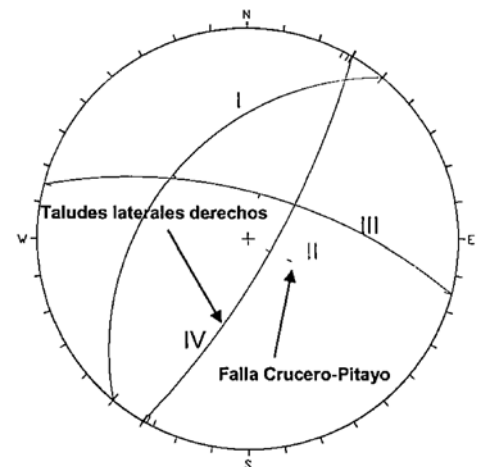


Figura 2.22. Principales sistemas estructurales en los taludes derechos de la obra de toma.



Del análisis de la figura anterior y de la proyección de las estructuras geológicas, se desprende que la falla Crucero-Pitayo y fracturamiento asociado, tendrán influencia significativa en los taludes derechos de obra de toma, pronosticándose condiciones desfavorables cuando los planos de falla del sistema Crucero-Pitayo adoptan bajos ángulos, ocasionando grandes bloques con posible de deslizamiento hacia la excavación.

Con el apoyo de la información geofísica se han estimado las condiciones de calidad de roca posibles accidentes geológicos que se encontrarán durante las excavaciones; así, se ha podido establecer de forma general, que durante las excavaciones de la parte alta, entre las cotas 600,0 y 580,0 m deberán ser removidos depósitos de talud sueltos a semi consolidados, con velocidad de 0,45 a 0,9 km/s y resistividades de 66 a 419 Ω -m, cuyos espesores varían de 1,8 a 20,0 m que ocupan el cambio de pendiente a lo largo de la traza de la falla Colapso norte y que cubren dacitas porfídicas descomprimidas, mientras que en la parte superior de la zona de intersección entre el talud frontal y los laterales, se tienen espesores de hasta 3,0 m de arenas pumicíticas sueltas y secas, con resistividades que van de 536 a 694 Ω -m cubriendo a los depósitos de talud y, por otra parte, a nivel del piso del canal de llamada (cota 494,26 m), en la parte inicial del canal, se tienen depósitos de talud sueltos con resistividades de 58 Ω -m que cubren a conglomerados semi consolidados de terrazas aluviales, conformando espesores de entre 5,0 y 18,0 m.

Por debajo de las arenas pumicíticas, depósitos de talud y conglomerados de terrazas aluviales, se encuentran dacitas porfídicas descomprimidas, alteradas y fracturadas de calidad mala a muy mala, conformando espesores que van de 2,0 a 40,0 m, caracterizadas por velocidades de 1,5 km/s y resistividades de 15 a 521 Ω -m, atribuibles a una masa rocosa que varía de muy fracturada a extremadamente fracturada, con cantidades variables de arcilla y óxidos como relleno, probables discontinuidades abiertas y presencia de posibles sulfuras diseminados; esta calidad de roca se pronostica entre las cotas 600,0 y 570,0 m y desde la elevación 570,0 hasta la 494,26 msnm.

Debido a la influencia de los sistemas Crucero-Pitayo y Colapso norte, tanto las dacitas porfídicas como el pórfido riódacítico se estiman con un fracturamiento y alteración moderados, principalmente hacia la parte media del sector derecho de obra de toma, de tal manera que velocidades de 1,5 a 2,0 km/s y resistividades 36 a 80 Ω -m pueden corresponder a dacita porfídica fracturada, con rellenos abundantes de arcilla y óxidos y probable diseminación de sulfuros, caracterizando materiales de mala a regular calidad, mientras que el dique pórfido riódacítico fracturado y medianamente alterado, se relaciona con velocidades de 1,8 km/s y valores resistivos de 50 a 141 Ω -m, lo que permite interpretar una roca de calidad regular, la cual no obstante, puede presentar en los contactos con la roca encajonante, materiales fuertemente alterados de muy mala calidad. La presencia de este tipo de materiales se estima entre las elevaciones 570,0 y 494,26 msnm.

Finalmente, distribuida al bajo de la falla Colapso norte, se infiere la presencia del dique pórfido riódacítico inalterado y poco fracturado, que representa una roca dura y compacta, de calidad buena a muy buena, con velocidad de 3,0 km/s y respuestas resistivas de 77 Ω -m, lo que indica la posible presencia de mineralización de sulfuros; asimismo, se estima que desde la cota 520,0 m y hasta por debajo de las bocatomas se tienen dacitas



porfídicas con velocidades de 2,0 a 3,4 km/s y resistividades de 65 a 350 Q.-m, que varían de fracturadas a escasamente fracturadas e inalteradas, con rellenos ocasionales de arcilla, probable diseminación de sulfuros y pocos óxidos, caracterizando una masa rocosa de calidad buena a muy buena, afectada por fallas geológicas.

Como resultado del análisis e interpretación de lo antes expuesto, se pronostican las probables condiciones geológicas, estructurales y de calidad de roca que se esperan para la obra de toma:

En la porción superior del sector izquierdo del talud frontal, en su intersección con los taludes izquierdos, los perfilados de las excavaciones se llevarán a cabo en depósitos de talud semi consolidados y en dacita porfídica descomprimida desde la superficie hasta la cota 570,0 m, mientras que entre 550,0 y 540,0 msnm, se espera la aparición del dique pórfido riodacítico fuertemente fracturado y alterado, de regular a mala calidad, encajonado en dacitas porfídicas descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas de calidad mala a muy mala, que va desde 570,0 hasta 540,0 msnm, por otra parte, con base en la información proporcionada por el barreno BYSKD-16, entre las cotas 580,0 y 560,0 m, en la zona de intersección entre el sector superior izquierdo del talud frontal y la plataforma de operación de compuertas, se ten porfídicas fracturadas a muy fracturadas de calidad mala a regular, afectadas por relleno de brecha con arcilla, (probablemente falla La Resortera); el resto del sección (540,0 a 494,26 msnm), se excava en dacita porfídica fracturada a escasamente inalterada, con rellenos ocasionales de arcilla, probable diseminación de sulfuros y pocos óxidos caracterizando una masa rocosa de calidad buena a muy buena, intrusada entre las cotas 520,0 y 530,0 m por un dique pórfido riodacítico inalterado y poco fracturado, duro y compacto, de calidad buena a muy buena y con posible mineralización de sulfuros.

El sector meridional del talud frontal, en su parte media, desde 575,0 hasta 520,0 msnm perfilado en dacita porfídica de calidad regular a mala, muy fracturada y con rellenos abundantes de arcilla y óxidos, lo que originará problemas de inestabilidad, situación que puede agravarse en las bocatomas por la presencia de los sistemas Crucero-Pitayo y colapso norte; la parte superior, entre las cotas 565,0 y 580,0 m, puede presentarse inestable, por la presencia de dacitas porfídicas descomprimidas, fuertemente alteradas y extremadamente fracturadas de calidad mala a muy mala, con grandes cantidades de arcilla como relleno y discontinuidades abiertas; por otra parte, existe la posibilidad, con base en una anomalía geofísica, de que se presente una zona desfavorable en la transición entre las rejillas y en el tramo vertical de las tuberías a presión, debida a la influencia de la falla Crucero-Pitayo.

En la porción superior del sector derecho del talud frontal, en la intersección con los taludes derechos, las excavaciones se llevarán a cabo en arenas pumiciticas sueltas y depósitos de talud semi consolidados, desde la superficie hasta la cota 560,0 m, mientras que entre 560,0 y 500,0 msnm, los cortes se esperan en dacita porfídica fracturada mala a regular calidad, con rellenas abundantes de arcilla y óxidos, lo que puede originar problemas de inestabilidad, situación que puede agravarse por la presencia del sistema Colapso norte; la parte inferior del sector derecho del talud frontal, en la intersección con los taludes derechos, entre las cotas 500,0 y 494,26 m los cortes se esperan en dacita porfídica de calidad buena a



muy buena, fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos ocasionales de arcilla y pocos óxidos, pero probablemente afectada por el fracturamiento asociado a las fallas Crucero-Pitayo y Colapso norte.

En la parte superior de los taludes izquierdos, los perfilados se llevarán a cabo en depósitos de talud semi consolidados, desde superficie hasta la cota 570,0 m, mientras que entre 540,0 y 560,0 msnm, en forma diagonal sobre los cortes de los taludes, se espera la aparición del dique pórfido riódacítico fuertemente fracturado y alterado, de regular a mala calidad, encajonado en dacitas porfídicas descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas de calidad mala a muy mala, que conforman una franja de 20,0 a 40,0 m de espesor paralela al perfil natural del terreno y que va desde 494,26 hasta 570,0 msnm; en la porción media de estos taludes, al alto de la falla Colapso norte, desde la cota 494,26 m hasta la cota 560,0 m, las excavaciones se realizarán en dacita porfídica fracturada de mala a regular calidad, con rellenos abundantes de arcilla y óxidos y probable diseminación de sulfuros por efecto del pórfido riódacítico, el resto del sector derecho, en la intersección con el talud frontal, desde 540,0 hasta 494,26 msnm), será excavado en dacita porfídica fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos ocasionales de arcilla, probable diseminación de sulfuros y pocos óxidos, caracterizando una masa rocosa de calidad buena a muy buena, intrusionada entre las cotas 520,0 y 530,0 m por un dique pórfido riódacítico inalterado y poco fracturado duro y compacto, de calidad buena a muy buena, con posible mineralización de sulfuros.

En la parte superior de los taludes derechos, desde el perfil del terreno natural (cota 525,0 m) y hasta la intersección con el talud frontal, los perfilados de las excavaciones se lleva a cabo en arenas pumicíticas sueltas de 3,0 m de espesor y gruesos depósitos de talud semi consolidados cuyos espesores fluctúan entre 3,0 y 30,0 m, entre las cotas 525,0 y 560,0 m aproximadamente mientras que en forma diagonal, sobre los cortes de los taludes, se localizaron dacitas descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas de calidad mala a muy mala que conforman una franja de 20,0 a 45,0 m de espesor paralela al perfil natural del terreno y que va desde 494,26 hasta 560,0 msnm, al alto de la falla Colapso norte, 560,0 y 500,0 msnm, el perfilado de los cortes se espera en dacita porfídica fracturada mala a regular calidad, con rellenas abundantes de arcilla y óxidos, lo que puede originar problemas de inestabilidad, situación que puede agravarse por la presencia de la falla; en la parte inferior de los taludes derechos, entre las cotas 500,0 y 494,26 m los cortes se esperan en dacita porfídica de calidad buena a fracturada e inalterada, con rellenos ocasionales de arcilla y pocos óxidos, pero probablemente afectada por el fracturamiento asociado a las fallas de Colapso norte.

Tuberías de Conducción a Presión

Se estima que entre las bocatomas y las ranuras para las compuertas, precisamente sobre la traza del talud frontal, se encuentra la frontera entre dos tipos de materiales de diferente calidad, atribuible a la falla Colapso norte, pues mientras que hacia la obra de toma predominan dacitas porfídicas fracturadas de mala a regular calidad, con rellenos abundantes de arcilla y óxidos, velocidades de 1,8 a 2,0 km/s y resistividades 36 a 80 $\Omega\cdot\text{m}$ y un dique pórfido riódacítico fracturado y alterado de calidad regular, con velocidades de 1,8



km/s y valores resistivos de 50 a 141 Ω -m, hacia las tuberías de presión es característica una dacita porfídica de calidad buena a muy buena, que varía de fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos ocasionales de arcilla y pocos óxidos, que reflejan velocidades de hasta 3,4 km/s y resistividades de 65 a 350 Ω -m.

A partir de las bocatomas, las tuberías a presión se excavarán primeramente a la cota 494,0 m, en un paquete de dacita porfídica muy alterada y fracturada por influencia de la falla Colapso norte, para penetrar casi enseguida en dacitas porfídicas fracturadas por efecto de la falla Crucero-Pitayo, la cual afecta desde las bocatomas hasta los codos superiores; se pronostica la existencia de una zona de roca muy fracturada, cerca de los codos superiores de las tuberías, debido a la confluencia de las fallas La Quebrada, Rodaderos y La Sabanilla con la Crucero-Pitayo por encima de la tubería a presión 2; por otra parte, por debajo de las bocatomas, aproximadamente a la cota 470,0 m se tiene el contacto entre dacita porfídica y riodacita fluidal.

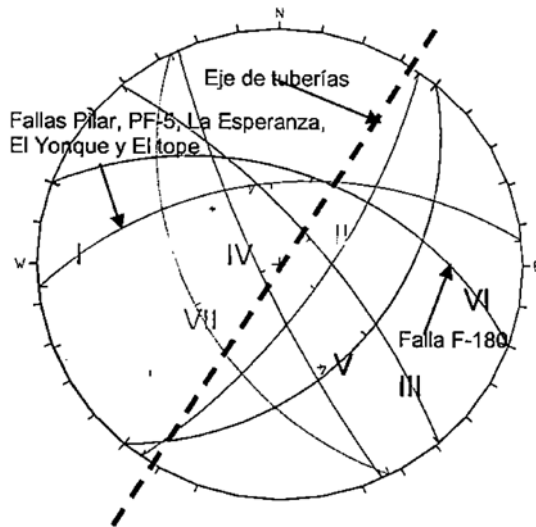
Desde las bocatomas hasta el inicio del tramo vertical, al bajo de la falla Crucero-Pitayo, se tiene una interface geofísica resistiva que indica la presencia de dos bloques, un bloque superior que corresponde a una dacita porfídica fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos ocasionales de arcilla y pocos óxidos, que refleja velocidades de hasta 3,4 km/s y resistividades de 304 a 450 Ω -m y un bloque inferior constituido por riodacita fluidal silicificada, fracturada, oxidada y con posible diseminación de sulfuras, caracterizada por velocidades sísmicas de 3,0 km/s y valores resistivos de 118 a 190 Ω -m, sin embargo en los codos superiores, la anomalía geofísica parece corresponder mas a la intersección de las fallas La Quebrada, Rodaderos y La Sabanilla con la Crucero-Pitayo que al contacto litológico.

Las porciones superiores de los segmentos verticales serán excavadas al bajo de la falla Crucero-Pitayo, en dacita porfídica de calidad regular a buena, con reflejos resistivos bajos (141 Ω -m), con fracturamiento moderado, fracturas generalmente cerradas, rellenos ocasionales de arcilla y óxidos y probable diseminación de sulfuros, mientras que las porciones inferiores serán excavados en una riodacita fluidal de calidad buena a muy buena, silicificada, escasamente fracturada, con muy poca oxidación y con diseminación de sulfuras, que refleja bajas resistividades (141 Ω -m). En la tubería se espera el contacto litológico entre dacitas porfídicas y riodacitas fluidales aproximadamente a la cota 430,0 m, mientras que para la tubería 2, se estima en la elevación 410,0 msnm.

Los codos inferiores quedarán alojados totalmente en el bloque de riodacita fluidal de calidad buena a muy buena, silicificada y escasamente fracturada, sin embargo, se deberán tomar precauciones para el codo inferior de la tubería 1 a la cota 380,0 m, ya que es probable que se vea afectado por la falla La Esperanza, que en intersección con las fallas PF-5, El Tope, El Yunque y Gotero pueden producir una zona de intenso fracturamiento y alteración en la riodacita fluidal.

Los tramos horizontales serán excavados en una riodacita fluidal de calidad buena a muy buena dura y compacta, a menos de 10,0 m por debajo del contacto con la dacita porfídica, también de buena calidad como roca, no obstante, la incidencia de numerosas

fallas y su fracturamiento asociado pueden conferir al macizo rocoso condiciones desfavorables. Este tramo se verá afectado por las fallas El Gotero, El Yunque, La Esperanza, El Tope, F-180 y PF-5 en el estereograma de la figura 2.23, se muestran los principales sistemas estructurales que inciden en esta parte de las tuberías de presión:



- I.- Fallas y fracturas = $N84^{\circ}E152^{\circ}NW$ (Fallas Pilar, PF-5, La Esperanza, El Yunque y El tope)
- II.- Fallas y fracturas = $N35^{\circ}E170^{\circ}SE$
- III.- Fallas y fracturas = $N41^{\circ}W172^{\circ}NE$
- IV.- Fallas y fracturas = $N25^{\circ}W179^{\circ}SW$
- V.- Falla Crucero-Pitayo = $N40^{\circ}E140^{\circ}SE$
- VI.- Falla F-180 = $N70^{\circ}W147^{\circ}NE$
- VII.- Seudoestratificación = $N27^{\circ}W147^{\circ}SW$
Tramo horizontal de las tuberías = $N32^{\circ}E$

Figura 2.23. Estereograma

De la figura anterior podemos interpretar que las discontinuidades del sistema II ($N35^{\circ}E170^{\circ}SE$), constituyen planos muy importante paralelos a la dirección de las excavaciones; además, las intersecciones de los sistemas estructurales Crucero-Pitayo (sistemas II y V), La Esperanza, El Yunque, El Tope (sistemas I y VI) y la seudoestratificación (sistema VII), provocan la formación de cuñas que serán liberadas durante las excavaciones; por otra parte, es relevante que la falla PF-5 y sistema de fracturamiento asociado, dado su bajo ángulo de ocurrencia provocará peligrosas losas en el techo de las excavaciones, problemática que puede agudizarse por la conjugación de la seudoestratificación.

Casa de máquinas

Con la información geológica obtenida en el socavón 04 MD, se interpretan las condiciones geológicas estructurales del sitio de la caverna de casa de máquinas, lo que permite pronosticar que ésta será excavada tanto en dacita porfídica como en riodacita fluidal silicificada con abundante presencia de cuarzo y un intenso fracturamiento cerrado, con escasa arcilla entre las juntas, presencia de óxidos de hierro y regularmente en contacto roca-roca, estructuralmente en la pared de aguas arriba y en el piso se tendrá una afectación parcial por la incidencia de la falla pilar, cuya zona de influencia será más significativa hacia el tímpano oriental.



Longitudinalmente, sobre la bóveda de la casa de máquinas se espera la presencia de cuñas, principalmente en la intersección de los sistemas Crucero-Pitayo y La Esperanza, con la pseudoestratificación; por otra parte, los sistemas Crucero-Pitayo y Pilar conjugados con la pseudoestratificación, afectarán la intersección bóveda tímpano oriente de casa de máquinas, generando cuñas potencialmente inestables, En la tabla 5.3.7 siguiente, se resumen las principales características de los sistemas estructurales que afectan al macizo rocoso en el sitio donde se tiene proyectada la excavación de las cavernas.

Sistema	Discontinuidades mas importantes	Fr = Frecuencia (fracturas por metro lineal)	Ru = Rugosidad Ab = Abertura (cm) y relleno	Observaciones
S1 N79°E/62°NW	Fallas F-17, La escondida, Pilar, PF-5, La Esperanza y fracturas	3 a 4 y en ocasiones hasta 10. Planos de falla importantes a cada 20,0 m	Ru = Ondulada-rugosa, a rugosa plana. Ab = 0,1 a 0,3 rellenos de arcilla y calcita, parcialmente roca-roca	Es un fracturamiento frecuente y seco.
S2 N25°E/67°SE	Fallas Crucero-Pitayo, La Quebrada y fracturas	4 y hasta 8, en zonas de falla	Ru = Plana-lisa, plana-rugosa y ondulada-lisa Ab = 0,01 a 0, 3, relleno de arcilla, poca calcita En roca sana fracturas cerradas	Es continuo, con óxidos de hierro entre fracturas. La falla Crucero-Pitayo contiene mucha humedad y una franja de alteración de 3,0 a 35,0 m al bajo
S3 N30°W/68°NE	Falla El Gotero y fracturas	1 a 10, las fallas más relevantes aparecen a cada 20,00 m	Ru = Ondulada-rugosa, en Ab = 0,01 a 4, relleno de arcilla, en roca sana fracturas cerradas con pátina de óxidos de hierro, parcialmente roca-roca.	Es abundante y continuo. La falla El Gotero presenta goteo continuo de agua.
S4 pseudo N50°W/54°SW	Pseudoestratificación	3 a 2	Ru = Ondulada-lisa, plana-rugosa Ab = generalmente esta en contacto roca-roca	Se presenta en las dos unidades litológicas del sitio y es muy frecuente

Tabla 5.3.7. Características de los principales sistemas estructurales de la zona de las cavernas de casa de máquinas y galería de oscilación.

Con los datos estructurales obtenidos en el socavón 04 MD y sus cruceros (0+180,0 izquierdo y 0+290,6 izquierdo), se realizó un análisis estadístico, determinándose los principales sistemas de fracturamiento que inciden donde se tienen proyectadas las excavaciones.

De lo anterior se puede interpretar que las discontinuidades del sistema S1 (Fallas Pilar, La Esperanza y PF-5), índice de forma oblicua sobre el eje mayor de la caverna de casa de máquinas, en tanto que el sistema S2 (Falla Crucero-Pitayo) lo hace de manera semi perpendicular, así mismo, se puede observar que en la bóveda de la caverna, se forman cuñas importantes por la incidencia de los sistemas S1 (Fallas Pilar y PF-5), S3 (Falla el gotero) y S4 (Pseudoestratificación), las cuales se esperan principalmente en la clave de la caverna y en ambos tímpanos.

Con los principales sistemas estructurales definidos en el estereograma de las figuras, se realizó el análisis estructural aplicando la teoría de bloques, determinándose los bloques potencialmente inestables que se formarán, tanto en la bóveda como en las paredes de aguas arriba y aguas abajo, durante las excavaciones de la caverna de casa de máquinas.

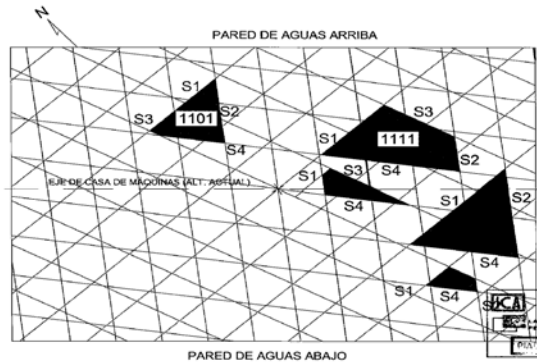


Figura 2.24. Planta esquemática, indica la granulometría de los bloques que se forman en la bóveda de la caverna de casa de máquinas.

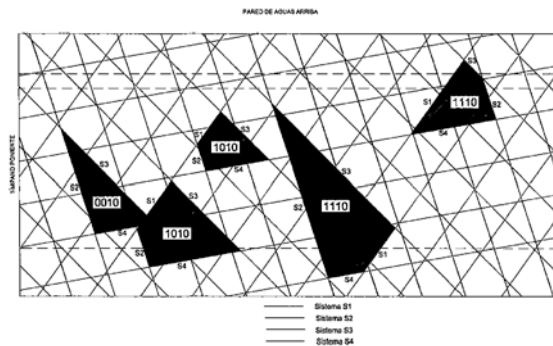


Figura 2.25. Sección esquemática de la pared de aguas arriba de la caverna de casa de máquinas, señalando los bloques que se forman, con salida hacia la excavación.

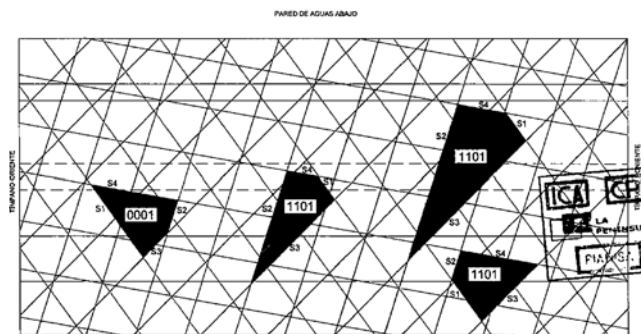


Figura 2.26. Sección esquemática de la pared de aguas abajo, mostrando los bloques que se forman, con salida hacia la excavación.

Además de la incidencia de ras fallas, fracturas y seudoestratificación en esta masa rocosa, durante las excavaciones del crucero 0+290,6 izquierdo, en el cadenamiento 0+175,0 m, se cortó un dique diabásico de 0,8 m de espesor con respaldos arcillosos oxidados y una actitud N60°W182°SE.

La estructura civil quedará alojada al bajo de la falla Crucero-Pitayo y los estudios geofísicos permiten determinar una interface resistiva que indica la presencia de dos bloques, un bloque superior que corresponde a una dacita porfídica fracturada a escasamente



fracturada e inalterada, con rellenos de arcilla y óxidos, que refleja resistividades de 118 a 607 Q-m y un bloque inferior constituido por riocacita fluidal silicificada, fracturada, oxidada y con posible diseminación de sulfuros, caracterizada por valores resistivos de 136 a 547 -m.

Se estima que la caverna de casa de máquinas, en el tímpano este, de la cota 405,0 m hacia arriba se excavará en el bloque superior, mientras que la parte baja se hará en riocacita fluidal y en el tímpano poniente, desde la cota 363,0 hacia arriba, las excavaciones se realizarán únicamente en la dacita. En la pared de aguas abajo los trabajos se desarrollarán solamente en dacita porfídica y en la pared de aguas arriba, desde la elevación 390,0 msnm hacia arriba, las excavaciones se llevarán a cabo en la dacita porfídica, mientras que hacia la parte baja se trabajará en el bloque inferior.

Como apoyo y complemento a las exploraciones se desarrollaron estudios geofísicos en el socavón 04 M.D., de "petit sismique" en el crucero 0+180 izquierdo y tomografía sísmica en la zona comprendida entre el acceso principal y los cruceros 0+180 y 0+290,6 izquierdos, obteniéndose los siguientes resultados:

Los estudios de Petit sismique reflejan velocidades entre 2,89 y 3,43 km/s, características de rocas duras de buena calidad, inclusive en la zona de falla Crucero-Pitayo, sin embargo debe considerarse el coeficiente de amortiguamiento, que llega a ser de hasta 80 m, lo cual puede deberse a que la roca está fracturada pero muy bien empacada entre rellenos predominantemente arcillosos con contenidos discretos de materiales arenosos, lo anterior indica que el macizo rocoso está conformado por rocas duras y competentes pero fracturadas, con rellenos abundantes de arcilla y óxidos, constituyendo una masa de roca de calidad regular a buena.

El estudio de tomografía sísmica permitió definir cualitativamente áreas de calidad buena, mala y regular, estableciendo dos zonas de mejor calidad de roca, las cuales se ubican hacia la esquina del acceso principal del socavón 04 M.D. y en la esquina noreste de la caverna de casa de máquinas; por otra parte, destaca la presencia de una zona de mala calidad de la roca en la intersección Bóveda-pared de aguas abajo, probablemente debida a la influencia de las fallas F-180, PF-5 y La Quebrada.

La falla Crucero-Pitayo se muestra como materiales de muy mala calidad y a lo largo de su traza a la elevación 415,0 msnm, se identifica como materiales de calidad regular entre las dos áreas de buena calidad referidas en el párrafo anterior; es relevante además, que a bajo de la falla Pilar la roca es de calidad buena a muy buena.

Con base en lo anterior, se establece que las trayectorias de menor velocidad sísmica, que por lo general se asocian a zonas de mala a regular calidad, tienen una tendencia N40°E y muestran una estrecha relación con el sistema Crucero-Pitayo.

Túneles de Aspiración

Los tramos iniciales y hasta el cadenamamiento 0+178,0 m, serán excavados en la riocacita fluidal silicificada, fracturada y con diversos grados de alteración debido a influencia



de las fallas Pilar y La Escondida, mientras que a partir de 0+178,0 m las excavaciones se desarrollarán en la dacita porfídica del bloque superior (Plano PHY-OG-03-2007); destaca que en la intersección de la pared de aguas abajo de la casa de máquinas con los túneles de aspiración, puede presentarse una condición desfavorable, ya que se espera el contacto litológico entre los bloques superior e inferior, además de la confluencia de las fallas Pilar y La Escondida.

La condición más crítica que pudiera presentarse corresponde a la falla pilar afectando la zona situada directamente por encima de la bóveda de los túneles de aspiración, ya que éstos son de sección amplia y forma rectangular; por otra parte, la falla La Escondida afectará el pilar situado entre las cavernas de casa de máquinas y se estima que incidirá en la parte baja de las lumbreras de buses.

Galería de Oscilación

Esta caverna se excavará totalmente en una dacita porfídica de calidad regular a buena, con valores resistivos de 118 a 164 S2-m, correspondientes a una masa rocosa fracturada con rellenos ocasionales de arcilla y óxidos y probable diseminación de sulfuros, afectada por las fallas Pilar, La Escondida y PF-5.

La estructura civil quedará alojada al bajo de la falla Crucero-Pitayo y para esta caverna se pronostica la presencia de una zona de alteración importante, asociada a la mencionada falla, transversal al eje mayor de la caverna, que abarca desde la porción central de la bóveda hasta la cota 400,0 m, mientras que la influencia de las fallas La Escondida y PF-5 se esperan desde la parte media de la bóveda hasta la elevación 415,0 msnm en el tímpano derecho, lo que representa que las excavaciones de la galería de oscilación entre las cotas 400,0 y 433,5 m (Bóveda de la caverna), serán ejecutadas en rocas de calidad regular.

Sobre el eje mayor de la caverna, se infiere la incidencia de la Falla Pilar, desde la elevación 420,0 msnm en el tímpano izquierdo hasta la intersección piso-tímpano derecho en la cota 371,86 m, mientras que en el sentido del eje transversal, esta importante falla se espera desde la intersección del techo del túnel del desfogue con la pared de aguas abajo de la caverna de la galería de oscilación a la cota 400,0 m, hasta la elevación 390,0 msnm en la pared de aguas arriba de la caverna.

Desfogue

El túnel del desfogue quedará excavado totalmente en una dacita porfídica con moderado fracturamiento, fracturas generalmente cerradas, con cantidades variables de arcilla y óxidos como relleno, por lo general se trata de rocas que cuando reflejan velocidades moderadas (2,8 - 3,0 km/s) y bajas resistividades (40 - 198 -m), corresponden a una masa de roca fracturada de calidad regular a buena, con rellenos ocasionales de arcilla y óxidos, aunque también característico que reflejen velocidades y respuestas resistivas altas (3,4 - 3,6 km/s y 268 - 2174 -m), para rocas escasamente fracturadas e inalteradas, con fracturamiento cerrado y cantidades mínimas de arcilla como relleno, representando un macizo rocoso de calidad buena.



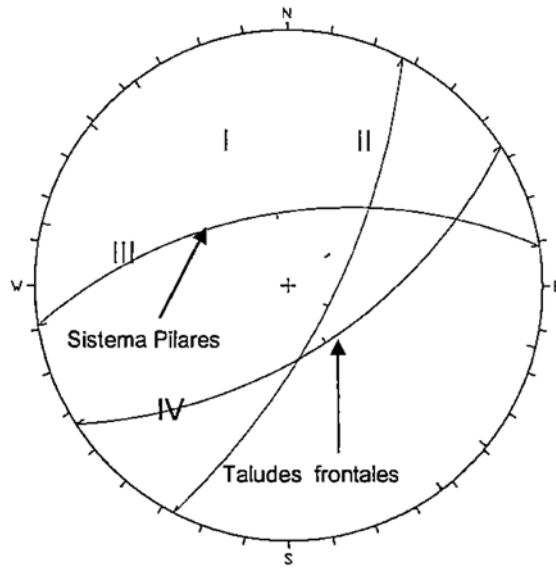
Desde el cadenamamiento 0+218,069 hasta el 0+308,0 m, las excavaciones serán en dacitas porfídicas de calidad buena a muy buena, escasamente fracturadas e inalteradas, con fracturamiento cerrado y cantidades mínimas de arcilla como relleno, de 0+308,0 a 0+350,0 m, se espera cortar la franja de alteración del bajo de la falla Crucero-Pitayo, representada por roca fracturada de calidad regular, con rellenos de arcilla y abundantes óxidos de hierro.

En los cadenamamientos 0+350,0 hasta el 0+360,0m, aguas del inicio del desfogue, se tendrá la zona principal de la falla Crucero-Pitayo, aparejada de una zona de cizallamiento con influencia en una franja estimada de 12,0 a 15,0 m de ancha, conformada por materiales de mala a muy mala calidad, situación que puede complicarse por la confluencia de la falla La Sabanilla y la intersección de la falla F-11. En el último tramo, comprendido de 0+360,0 a 0+472,7 m, se tendrá la afectación de al menos ocho fallas de diferentes magnitudes acompañadas de sus correspondientes zonas de fracturamiento asociado, que pertenecen al sistema Desfogue-Pilares, entre las que destacan las fallas F-10, F-9, F-7, F-3 y F-2; siendo también relevante la existencia de un dique diabásico de regular a mala calidad con respaldos arcillosos, que se espera cortar entre 0+398,0 y 0+408,0 m. En este tramo final del desfogue, debido a la influencia de las fallas, la roca se espera muy fracturada con rellenos de arcilla de tipo caolinítico, el cual se incrementa hacia el portal de salida.

En la zona del portal de salida aflora una dacita porfídica descomprimida, fragmentada y extremadamente fracturada, alterada por hidrotermalismo y débil al golpe de martillo, cubierta parcialmente por arenas pumicíticas sueltas y por depósitos de talud semi consolidados, conformando masas rocosas de mala a muy mala calidad, a nivel del piso de la zona de descarga final del desfogue (cota 387,0 m), se tienen depósitos de talud interdigitados con aluviones y, hacia la porción superior de los taludes izquierdos, en la intersección con los taludes frontales, hay una cubierta de arenas pumicíticas sueltas de hasta 6,0 m de espesor cubriendo depósitos de talud semi consolidados y dacitas porfídicas descomprimidas.

Desde el punto de vista estructural el sitio está afectado por numerosos planos de desconchamientos de tipo gravitacional que incrementan el riesgo de desprendimientos de bloques con salida hacia el río y que afectan los taludes frontales; para una mejor interpretación y comprensión se han construido estereogramas, en los que se representan los principales sistemas estructurales y cómo éstos incidirán durante las excavaciones, perfilado y estabilización de los taludes.

Un primer estereograma (Figura 5.3.11), permite interpretar y pronosticar las condiciones estructurales de los taludes frontales del portal de salida del desfogue.

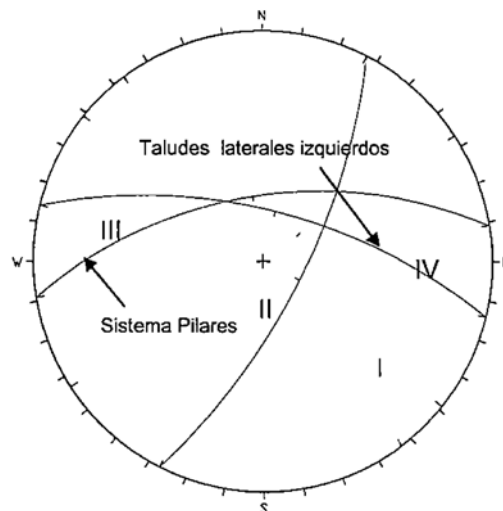


- I. Fallas y fracturas = $N37^{\circ} W/68^{\circ} NE$
- II. Fallas y fracturas = $N27^{\circ} E/70^{\circ} SE$ (sistema Crucero-Pitayo, desconchamientos)
- III. Fallas y fracturas = $N81^{\circ} E/58^{\circ} NW$ (sist. Pilares)
- IV. Taludes Frontales = $N58^{\circ} E/60^{\circ} SE$

Figura 2.27. Principales sistemas estructurales en los taludes frontales del portal del desfogue.

Con la información estadística estructural y la proyección de las estructuras geológicas, se pronostican condiciones desfavorables en los taludes frontales del portal del desfogue por efecto de los diferentes planos de desconchamientos gravitacionales (sistema II), siendo probable una situación crítica cuando los planos de falla adoptan ángulos bajos hacia la base y al ser cortados estos por las excavaciones, se producirán grandes deslizamientos de la masa rocosa.

Un segundo estereograma permite interpretar y pronosticar las condiciones estructurales de los taludes izquierdos del portal de salida del desfogue.



- I.- Fallas y fracturas = $N37^{\circ} W/68^{\circ} NE$ (Sist. Gotero)
- II.- Fallas y fracturas = $N27^{\circ} E/70^{\circ} SE$ (Sist. Crucero-Pitayo, desconchamientos)
- III.- Fallas y fracturas = $N81^{\circ} E/58^{\circ} NW$ (Sist. Pilares)
- IV.- Taludes laterales izquierdos = $N76^{\circ} W/65^{\circ} NE$

Figura 2.28. Principales sistemas estructurales en los taludes izquierdos del portal de salida del túnel desfogue.

La proyección de las estructuras geológicas y la interpretación de la figura anterior, permiten pronosticar condiciones desfavorables en los taludes izquierdos del desfogue, debido a la presencia de los sistemas I (Gotero) y III (Pilares), sensiblemente paralelos a la geometría de los taludes, situación que puede agravarse y provocar una situación crítica cuando los planos de falla adoptan ángulos bajos hacia la base y al ser cortados estos con las excavaciones, se produzcan grandes deslizamientos hacia la excavación; además es importante tomar en cuenta que el riesgo se incrementa debido a que la roca en esta zona se encuentra extremadamente fracturada.

Un tercer estereograma permite interpretar y pronosticar las condiciones estructurales de los taludes derechos (Figura 2.29).

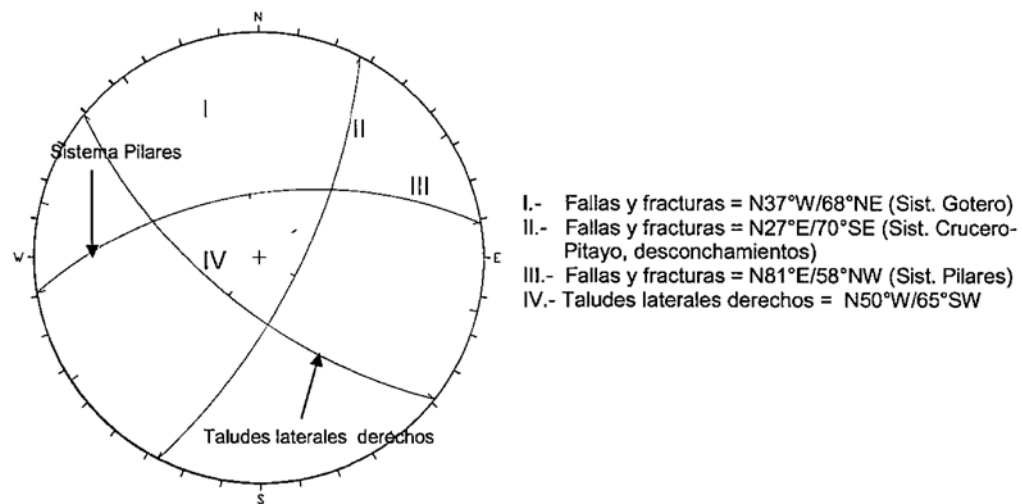


Figura 2.29. Principales sistemas estructurales en los taludes derechos del portal de salida del túnel desfogue.

La interpretación de la figura anterior y la proyección de las estructuras geológicas, permiten determinar que los cortes de las excavaciones intersecan la conjugación de los sistemas II (desconchamientos) y III (Pilares), produciendo la liberación de cuñas que se forman con la participación de la pseudoestratificación.

Durante el perfilado de estos taludes deberá tenerse especial cuidado con los bloques que se forman con la conjugación de los sistemas I (Gotero), II (Desconchamientos) y III (Pilares), ya que estos tenderán a fallar por volteo hacia las excavaciones; además de lo anterior se deberán tomar en cuenta planos alabeados del sistema del Colapso sur, cuyas réplicas pudieran alcanzar a afectar esta zona; por otra parte habrá de considerarse que hacia la porción superior de los taludes la roca se presentará con un fuerte fracturamiento, acentuado por efecto del intemperismo.

Con el apoyo de la información geofísica se ha podido establecer de forma general, que durante las excavaciones deberán ser removidos depósitos de talud sueltos a semi consolidados de la unidad geofísica U1D, con velocidades de 0,45 a 0,8 km/s, resistividades de 89 a 698 Ω -m y espesores de 1,8 a 12,0 m, que se encuentran en las laderas ocupando cambios de pendiente topográfica mientras que en la parte superior de la zona de intersección entre el los taludes frontales y los laterales izquierdos, se tienen espesores de 0,6 a 6,0 m, de



arenas pumicíticas sueltas y secas de la unidad geofísica U1C, con resistividades que van de 536 a 694 $\Omega\cdot\text{m}$, cubriendo a los depósitos de talud, por otra parte, a nivel del piso, en la parte final de la descarga del desfogue (cota 387,0 m), se tienen depósitos de talud semi consolidados con velocidades de 0,8 km/s y resistividades de 215 $\Omega\cdot\text{m}$ interdigitados con aluviones de la sub unidad geofísica U1A, conformando espesores entre 5,0 y 10,0 m.

Cubiertas por las arenas pumicíticas y los depósitos de talud, se encuentran dacitas porfídicas descomprimidas, alteradas y muy fracturadas de calidad mala a muy mala, conformando espesores que van de 2,0 a 30,0 m, correlacionables con la sub unidad geofísica U1 D, caracterizadas por velocidades de 0,8 a 1,0 km/s y resistividades de 15 a 521 $\Omega\cdot\text{m}$, atribuibles a una masa rocosa que varía de muy fracturada hasta fragmentada, con cantidades variables de arcilla y óxidos como relleno y probables discontinuidades abiertas; esta calidad de roca se pronostica en la zona de los taludes frontales desde la elevación 530,0 hasta la 450,0 msnm, llegando a profundizar hasta 30,0 m por debajo del perfil de los taludes. En los taludes laterales izquierdos, se esperan espesores de hasta 50,0 m de materiales de calidad mala a muy mala, entre las cotas 475,0 y 425,0 m.

Infrayaciendo a los materiales de mala calidad antes mencionados y acuñándose hacia los taludes laterales derechos por efecto del sistema de fallamiento Colapso sur, se pronostica la presencia de dacita porfídica fracturada de calidad mala a regular, con rellenos variables de arcilla y óxidos, velocidades de 1,8 a 2,4 km/s y resistividades 44 a 690 $\Omega\cdot\text{m}$; estos materiales se esperan en el perfilado de los taludes frontales desde la cota 455,0 hasta la 415,0 m, en los taludes laterales izquierdos estarán presentes desde la cota 420,0 m hasta la elevación 406,0 msnm y en los taludes laterales derechos abarca desde los 455,0 msnm hasta la cota 410,0 m; también en los taludes derechos, aproximadamente a la cota 430,0 m, se espera un dique diabásico y en la porción superior destaca una interface resistiva (681 a 270 $\Omega\cdot\text{m}$) y de cambio de velocidad compresional (1,8 a 3,4 km/s), que indica un marcado cambio en la calidad de la roca, lo que se interpreta como los planos inferiores de un sistema de fallas.

Finalmente, distribuida hacia las porciones inferiores de los taludes frontales y laterales derechos e izquierdos, así como en la salida del desfogue, desde la cota 410,0 m hacia abajo, y por debajo de los planos de falla de los desconchamientos y del sistema Colapso sur, se infiere la presencia de la sub unidad geofísica U3C, adjudicada a dacitas porfídicas de calidad buena a muy buena, moderada a escasamente fracturadas, con fracturas generalmente cerradas, ocasionales rellenos de arcilla y óxidos y probable diseminación de sulfuros, con velocidades de 3,4 a 3,8 km/s y resistividades de 40 a 2 900 $\Omega\cdot\text{m}$; se infiere que las resistividades altas corresponden a rocas afectada por fallas geológicas, fracturadas y con relleno arcilloso, mientras que los bajos resistivos se deben a zonas mineralizadas con sulfuros.

Como resultado del análisis e interpretación de lo antes expuesto, se pronostican las probables condiciones geológicas, estructurales y de calidad de roca que se esperan en el portal de salida del desfogue y sus taludes correspondientes:

En la porción superior del sector izquierdo de los taludes frontales del portal de salida del d en su intersección con los taludes izquierdos, desde la superficie (490,0 msnm) hasta la



cota 470 m, las excavaciones se realizan en arenas pumiciticas sueltas y depósitos de talud semi consolidados, entre 470,0 y 430,0 msnm se esperan dacitas porfídicas de calidad mala a muy mala, descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas a fragmentadas, con fracturas abiertas y abundante arcilla como relleno, lo que conforma un espesor de hasta 60,0 m de materiales de calidad mala a muy mala con riesgo de inestabilidad, que puede agravarse por la presencia de planos de deslizamiento de carácter gravitacional, que pueden reactivarse durante la excavaciones. Entre las cotas 430,0 y 410,0 m, probablemente se cortarían dacitas porfídicas fracturadas de calidad mala a regular, con rellenos variables de arcilla y óxidos y, el resto del sector izquierdo (410,0 a 381,5 msnm), se pronostica en dacita porfídica fracturada a escasamente fracturada e inalterada, de calidad buena a muy buena, con rellenos variables de arcilla, pocos óxidos y que contienen zonas mineralizadas con sulfuros.

El sector meridional del talud frontal, en su parte superior, desde 500,0 hasta 452,0 msnm, será perfilado en dacitas porfídicas de calidad mala a muy mala, descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas a fragmentadas, con fracturas abiertas y abundante arcilla como relleno, constituyendo materiales potencialmente inestables con salida hacia la excavación; entre 452,0 y 410,0 msnm, los taludes serán perfilados en dacita porfídica de calidad regular a mala, fracturada y con rellenos abundantes de arcilla y óxidos, lo que originará problemas de inestabilidad, situación que puede agravarse a la cota 410,0 m por la presencia de los planos de falla de los desconchamientos, que al adoptar ángulos bajos, propiciarán deslizamientos hacia la excavación y, la porción inferior (Salida del desfogue), entre las cotas 410,0 y 381,5 m, las excavaciones se realizarán en dacita porfídica de calidad buena a muy buena, fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos variables de arcilla, pocos óxidos y zonas mineralizadas con sulfuros.

En la porción superior del sector derecho de los taludes frontales del portal de salida del desfogue, en la intersección con los taludes derechos, los perfilados de las excavaciones se llevarán a cabo en depósitos de talud semi consolidados de poco espesor (0,60 a 2,5 m), entre 500,0 y 460,0 msnm, el perfilado de los cortes se espera en dacitas porfídicas de calidad mala a muy mala, descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas a fragmentadas, con fracturas abiertas y abundante arcilla como relleno, constituyendo materiales potencialmente inestables, afectados por el sistema Colapso sur, desde la cota 460,0 hasta la 412,0 m, se excavará en dacitas porfídicas fracturadas de calidad mala a regular, con rellenos variables de arcilla y óxidos; finalmente, desde la cota 412,0 hasta la 381,5 m, se excavará en dacita porfídica de calidad buena a muy buena, fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos variables de arcilla, pocos óxidos y zonas mineralizadas con sulfuros.

La parte superficial de los taludes izquierdos, desde 500,0 hasta 387,0 msnm, será excavada y perfilada en depósitos de talud semi consolidados, cuyos espesores varían entre 0,5 y 10,0 m. En la porción superior de los taludes izquierdos, en su intersección con los taludes frontales del portal de salida del desfogue, desde la cota 490,0 hasta la 470,0 m, las excavaciones se harán en arenas pumiciticas sueltas y depósitos de talud semi consolidados. Entre 470,0 y 387,0 msnm, paralela al perfil natural del terreno y en forma diagonal sobre los cortes de los taludes, se espera una franja de 2,5 a 25,0 m de espesor de dacitas porfídicas de calidad mala a muy mala, descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas



a fragmentadas, con fracturas abiertas y abundante arcilla como relleno; también en forma diagonal a los cortes de los taludes, entre 440,0 y 387,0 msnm, exhibiendo espesores de 15,0 a 25,0 m, se pronostican dacitas porfídicas fracturadas de calidad mala a regular, con rellenos variables de arcilla y óxidos y, finalmente, la porción inferior desde 400,0 hasta 387,0 m, al bajo de un plano de falla del sistema Colapso sur, las excavaciones se llevarán a cabo en dacita porfídica de calidad buena a muy buena, fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos variables de arcilla, pocos óxidos y zonas mineralizadas con sulfuros.

En la parte superior de los taludes laterales derechos las excavaciones se harán primeramente en una delgada cubierta de depósitos de talud semi consolidados, con espesores de 0,5 y 1,0 m, que se hallan cubriendo a dacitas porfídicas descomprimidas; es relevante, que por debajo de esta delgada cubierta de depósitos de talud se estima la presencia de dacitas porfídicas de calidad mala a muy mala, descomprimidas, muy alteradas y extremadamente fracturadas a fragmentadas, con fracturas abiertas y abundante arcilla como relleno, conformando una franja de 5,0 a 30,0 m de espesor, entre las elevaciones 495,0 y 460,0 msnm; por otra parte, se interpreta que entre 400,0 y 410,0 msnm, las excavaciones serán desarrolladas en dacitas porfídicas fracturadas de calidad mala a regular, con rellenos variables de arcilla y óxidos, infiriéndose la intrusión - dique diabásico a la cota 435,0 m. La porción inferior de estos taludes, desde la cota 410,0 hasta la 381,5 m, se excavarán en dacita porfídica de calidad buena a muy buena, fracturada a escasamente fracturada e inalterada, con rellenos variables de arcilla, pocos óxidos y zonas mineralizadas con sulfuros.



CAPÍTULO III.

TRABAJOS DE EXCAVACIÓN.



III. TRABAJOS DE EXCAVACIÓN.

Cumpliendo con las secciones de proyecto establecidas en el diseño, con especificaciones y con el programa ejecutivo del proyecto, en todas las excavaciones que se realizan en las obras se debe entregar previamente a inicio de los trabajos, los procedimientos de construcción detallados con un programa calendarizado de inicio a terminación de la actividad, señalando como mínimo los volúmenes de ejecución, recursos, rendimientos, programas de utilización de recursos asignados por cada frente de trabajo, etapas de construcción, ciclos de trabajo, diseño de voladuras, secuencia de actividades ligadas con anclaje, drenaje, revestimiento con concreto lanzado, amacices, perfilamientos y otras que permitan garantizar el soporte y estabilidad de las excavaciones realizadas. Esta actividad necesariamente presentará secuencias con los demás trabajos que se desarrollen en los frentes, por lo cual se deben tomar todas las previsiones necesarias para evitar interferencias, bajos rendimientos, subutilización de recursos e incumplimiento del programa.

Se debe conocer la naturaleza geológica de la zona de las obras a partir de la información que se presenta en el proyecto, con la obtenida como resultado de la visita a la obra, con la información previa y con la que se obtenga por otros medios. La Comisión Federal de Electricidad ha realizado estudios geológicos para el desarrollo del P La Yesca, tanto en su etapa de estudios de factibilidad como en su etapa de preconstrucción; el primer estudio Geológico data de 1984, y posteriormente se hace otro en junio de 1988 que se complementa con información del año 2005. Este estudio cuenta con información de referencia, y con la advertencia de que las conclusiones que son de exclusiva responsabilidad. El Contratista tiene la obligación de verificar la información que se le entrega y de realizar los estudios geológicos complementarios, si así lo considera necesario para la realización del proyecto.

En algunas ocasiones existen modificaciones de conceptos o cambio de condiciones del material a excavar como variación de consistencia o dureza del terreno, o por presencia de humedad, material saturado o inclusive por encontrarse bajo el agua, por abundamiento o por cambios en la profundidad de desplante o inclinación de los taludes de las excavaciones.

El Contratista tiene la responsabilidad de tomar las medidas que correspondan para evitar derrumbes, caídos e inundaciones y garantizar la seguridad y continuidad de los trabajos.

En caso de presentarse caldos o detectarse una zona potencialmente inestable, el Contratista debe prever y considerar las acciones de protección que debe tomar de manera inmediata o anticipadamente para evitar pérdidas de equipo y vidas humanas.

Se debe cumplir con el proyecto y las especificaciones para ejecutar los trabajos de manera adecuada, considerando aplicaciones de Sistema de Aseguramiento de Calidad. Corrigiendo las bajoexcavaciones realizando los peines necesarios y en el caso de sobreexcavaciones, efectuar las reposiciones como se indica en las especificaciones; en el caso de que se presenten caídos, se deben retirar y/o controlar.



Derivaciones de la vialidad interna para construcción

Son los caminos provisionales que bajo diseño establecido se construyen para tener acceso a las obras, a los diferentes bancos, frentes de trabajo y tiraderos de materiales. Para su ejecución se debe considerar lo indicado en el Proyecto en cuanto "INFRAESTRUCTURA" se refiere, tomando en cuenta la construcción, mantenimiento y conservación.

Conservación del sitio de las excavaciones

Es importante mantener limpias, bien drenadas, bien ventiladas, iluminada roca, libre de obstáculos y en condiciones de seguridad, las zonas de las excavaciones durante la construcción.

3.1. TRABAJOS DE EXCAVACIONES CON USO DE EXPLOSIVOS.

Responsabilidades en el uso de Explosivos.

Es responsabilidad del Contratista efectuar ante las autoridades correspondientes (Secretaría de la Defensa Nacional, SCT y SEMARNAT) todos los trámites que se requieran para obtener las licencias o permisos necesarios para la adquisición, transporte, manejo, almacenamiento, y uso de los explosivos y accesorios que se utilicen en la obra. Asimismo, es su responsabilidad garantizar la seguridad, conservación y utilización de los explosivos de acuerdo con la reglamentación vigente.

Es a cargo del Contratista la construcción de polvorines y la aprobación de los mismos por parte de las autoridades militares. Los arreglos y métodos de voladuras a emplear, también son responsabilidad del Contratista.

La cantidad de explosivos utilizada y los métodos de voladuras se deben diseñar para evitar la fracturación de las superficies de excavación y daños a otros frentes de trabajos o estructuras adyacentes a los límites de excavación. Conforme la excavación se aproxime a los límites finales, la profundidad y/o separación de los barrenos y la cantidad de explosivos en cada barreno deben disminuir en forma progresiva para preservar en buena condición la roca. No se permite la perforación de barrenos más allá de las líneas de excavación de proyecto.

Las voladuras se deben ejecutar después de tomar las precauciones debidas para proteger al personal, equipos, obras, poblaciones e instalaciones vecinas.

3.2. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN EXPLOSIVO.

La selección adecuada de un explosivo es sumamente importante para diseñar correctamente un programa de voladuras.

La selección de los explosivos debe considerar el tipo y condiciones del terreno, seleccionando el que proporcione el mejor rendimiento por unidad de roca quebrada, y



asegurar que la fragmentación y desplazamiento sean los adecuados para ser manejados por su equipo. Algunos factores que deben considerarse en la selección del explosivo son los siguientes:

- Costo del explosivo
- Diámetro de barrenación
- Costo de barrenación
- Fragmentación
- Presencia de agua
- Condiciones de ventilación
- Temperatura atmosférica
- Potencia explosiva

Prueba de circuitos.

Se debe tener la obligación de verificar, antes de cada voladura, la resistencia de los circuitos eléctricos, según su elección, para asegurarse de que no existan alambres rotos, cortes de circuitos y que la resistencia del circuito sea compatible con la capacidad de la fuente de poder.

Electricidad extraña.

El principal riesgo asociado con los sistemas de disparo eléctrico son los rayos o relámpagos, asimismo, la corriente en forma de electricidad estática y la energía de radiofrecuencia también son un riesgo. De igual forma, las líneas de alto voltaje presentan el riesgo de corriente inductiva, capacitiva y conducción de rayos. Es de suma importancia la responsabilidad de tomar todas las medidas preventivas y de seguridad a fin de evitar cualquier accidente como consecuencia de lo antes mencionado.

Cargado de barrenos.

El cargado de barrenos debe hacerse de acuerdo con el diseño de las voladuras. Nunca debe cargarse una voladura cuando exista tormenta eléctrica. Antes de cargar un barreno debe ser revisado para asegurarse que no tiene anomalías que pudieran afectar o modificar la distribución y cantidad de explosivo a utilizar.

Plantilla de barrenación.

El contratista se responsabiliza del diseño de las plantillas de barrenación para el uso de explosivos en las excavaciones, tomando en cuenta su finalidad, las características de la roca y del propio explosivo. Antes de su aplicación, debe ponerse a consideración de la Comisión el diseño correspondiente para su revisión y aceptación.

El diseño de los diagramas de barrenación y carga de explosivos debe estar incluido en los procedimientos constructivos y con un Sistema de Gestión de la Calidad, el cual debe prever ajustes de acuerdo al tipo de terreno encontrado durante la ejecución de los trabajos.



Retardos

Los retardos utilizados entre barrenos en una voladura deben ser seleccionados para cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Asegurar que una cara libre apropiada se ha formado para permitir que el explosivo produzca una fragmentación y desplazamiento eficiente de la roca.
- b) Aumentar la fragmentación entre barrenos adyacentes.
- c) Reducir las vibraciones creadas por la voladura y que éstas no pasen de los límites de vibración permisibles, indicados en el reglamento.

Voladuras secundarias

Cuando en las voladuras primarias se obtengan fragmentos tan grandes que no se puedan manejar eficientemente, se deben utilizar voladuras secundarias. Para ello hay dos métodos que son: el plasteo y el moneo.

El plasteo no se permite para este proyecto. El moneo consiste en barrenar el fragmento, barrenos de diámetro pequeño y reducida carga de explosivo para quebrar la roca sin que fragmentos pequeños de roca.

Almacenamiento de explosivos.

El almacenamiento de explosivos está reglamentado por la Ley y Reglamento Federal de Armas de Fuego y Explosivos de la Secretaría de la Defensa Nacional, y para el efecto la propia Secretaría fija los requerimientos: para almacenamiento, polvorines, capacidades de material que deben tener los polvorines y la construcción de los mismos. Se deben tener dos polvorines, uno para explosivos y el otro para accesorios.

Los polvorines deben estar siempre limpios, secos, bien ventilados y frescos. La reglamentación vigente indica que los explosivos siempre deben guardarse en los polvorines autorizados, excepto cuando se encuentran en proceso de fabricación, uso o transporte.

Los polvorines deben ser resistentes al fuego y condiciones climatológicas; deben contar con vigilancia para evitar robos, así como estar adecuadamente ventilados y ser resistentes a la penetración de bala.

Los requerimientos de ventilación dependen de las condiciones del clima; las ventilas generalmente se encuentran en la parte inferior de las paredes y en el techo, o parte superior de las paredes laterales; estas ventilas se deben cubrir con rejillas y tela de alambre para evitar la entrada de animales.

Las puertas de los polvorines deben tener un interior que no provoque chispas, no deben tener salientes metálicos como clavos o tornillos, y la herrería debe estar soldada o atornillada de tal forma que no sea removida desde el exterior.



Efectos de una voladura en el medio ambiente.

El vuelo de rocas, vibraciones, golpe de aire, polvo y gases, son eventos en una voladura que pueden afectar al medio ambiente, y son causados por una mala utilización de la energía producida por los explosivos debido a un diseño impropio de la voladura o por no dar atención a la geología del terreno. Cuando esto sucede, la energía del explosivo que deba de estar enfocada a fragmentar la roca se utiliza inadecuadamente y puede producir accidentes y daños en propiedades propias y ajenas.

3.2.1. ACTIVIDADES INCLUIDAS EN LA EXCAVACIÓN

El Contratista debe ejecutar, sin ser limitativas, las siguientes actividades:

- a) Perforación de barrenos.
- b) Adquisición, transporte, manejo y colocación de agentes explosivos, altos explosivos, y dispositivos para iniciación de explosivos.
- c) Precorte o postcorte.
- d) Operaciones para voladuras.
- e) Amacice y apuntalamiento temporal de las excavaciones, cuando se requiera.
- f) Colocación de los sistemas de soporte y drenaje.
- g) Alumbrado y ventilación.
- h) Conservación de la zona de excavación.
- i) Carga del material producto de las excavaciones.
- j) Acarrees totales.
- k) Descarga del material en los sitios de almacenamiento o bancos de desperdicio, según la operación y manejo del banco.
- l) Bombeos totales.
- m) Relleno de sobreexcavaciones.

Postcorte

Se define como un método de voladura en el cual las perforaciones perimetrales están con separación muy próxima y cargadas ligeramente con explosivos, las cuales son detonadas simultáneamente, pero inmediatamente después de que la masa principal ha sido detonada. Este método se debe utilizar para las excavaciones en túneles en todo el perímetro de las secciones.

El propósito del sistema postcorte es conseguir una superficie uniforme y de no ocasionar daños a la roca que forme parte de la obra civil.

El Contratista debe realizar pruebas para determinar apropiadamente el diámetro y separación de barrenos, así como la cantidad y distribución de las cargas de explosivos para evitar vibraciones que sobrepasen los límites de vibración permisibles. El postcorte sólo se podrá utilizar en excavaciones subterráneas.



Precorte

Este sistema consiste en ejecutar la barrenación perimetral con separación muy próxima y con una carga apropiada. Las operaciones de voladuras, se llevan a cabo para tener un corte previo que aísla la zona por excavar posteriormente, con daños mínimos a las partes aledañas a la excavación. El método de precorte se utiliza para obtener superficies uniformes. El Contratista debe realizar pruebas a su cargo para determinar el diámetro y separación de los barrenos, así como la cantidad y distribución de las cargas de explosivos para evitar vibraciones que sobrepasen los límites de vibración permisibles. Es condición obligatoria que todos los cortes finales o definitivos de las obras exteriores contratadas queden ejecutados por medio del sistema de precorte.

El precorte es similar a la barrenación en línea a cielo abierto pero con la diferencia de que los barrenos tienen una separación máxima entre ellos de 60 cm y la carga usada es muy baja. En el precorte estos barrenos deben ser detonados antes de la voladura principal.

Rellenos

Pueden requerirse rellenos para conformar y restituir niveles de piso en la proximidad de algunas estructuras para las que haya necesidad de efectuar excavaciones, en cualquier caso debe ponerse a consideración de la Comisión el tipo y forma de colocación, para su aceptación correspondiente. El material para realizar los rellenos puede ser concreto o producto de las excavaciones, para éstos últimos se debe considerar el tipo de material, tamaño de partícula, humedad y porcentaje de compactación.

3.3. TIPOS DE EXPLOSIVOS.

3.3.1. DEFINICIÓN DE EXPLOSIVO.

Es una mezcla de sólidos y líquidos, que al ser iniciados son susceptibles de proporcionar mediante una descomposición química, una ignición violenta en un lapso de tiempo muy corto, generando un gran volumen de gases a altas temperaturas y presión los cuales producen cuatro efectos básicos.

- Fragmentación de la roca
- Desplazamiento de la roca
- Vibración del suelo
- Golpe de aire

La fragmentación y desplazamiento de las voladuras son de los principales factores que influyen directamente en la producción; eficiencia del equipo de la carga, incrementando la velocidad del rezagado y trituración, optimizando así el sucesivo proceso de beneficio.



La vibración y el golpe de aire son consecuencias que se deben controlar con una buena secuencia y salida de barrenos, adecuado factor de carga, cara o corte parado, libre de rezaga.

Dentro del término de explosivos se pueden considerar emulsiones, anfo y accesorios de voladuras tales como fulminantes, conectores th, estopines no eléctricos, conectores de superficie ms, mecha de seguridad, cordón detonante, ignitacord y veladoras o booster.

Los explosivos son mezclas con poca estabilidad química, razón por la cual pueden transformarse abruptamente en gases, al tiempo que producen altas presiones en breve tiempo. Se emplean en diversas obras como en la construcción de presas, sistemas de conducción eléctrica, gasoductos, oleoductos, sistemas de drenaje, vías, canales, túneles y compactación de suelos, entre otras aplicaciones.

Esta composición o mezcla de dos sustancias, una explosiva y otra no explosiva; son dos sustancias, una oxidante, y otra reductora.

Cuando un cartucho explota los gases son aproximadamente 10,000 veces el volumen inicial del cartucho. Para que haga el mejor efecto se procura que esté el cartucho lo más encerrado posible.

Para hacer una voladura se barrena el terreno, a continuación llena el barreno con explosivo, y el espacio que quede del barreno sin rellenar se retaca, es decir, tapar el agujero lo mejor posible, lo que permitirá una voladura mucho más efectiva. En caso de no realizar este retacado, la voladura "pegará bocazo", es decir, los gases producidos en la reacción se escapan por la parte superior del agujero abierto, con lo cual se pierde mucha efectividad en la voladura.

3.3.1.1. EXPLOSIVOS DE MAYOR IMPORTANCIA.

Geles.

Este grupo es muy diverso, los más importantes son:

- Gel Explosivo.- Se fabrica añadiendo nitrocelulosa a la nitroglicerina, además de un antiácido para estabilizar la mezcla para su almacenamiento. Este explosivo tiene altas velocidades de detonación y un excelente comportamiento de resistencia al agua, pero emite un gran volumen de humo. Es el explosivo comercial más potente, también es llamado "oil well explosive".
- Straight gel.- Es un explosivo plástico denso fabricado a partir de nitroglicerina (o explosivos con base en petróleo gelatinizado), nitrocelulosa, carbón combustible y sulfuro. Este tipo de geles son a prueba de agua. Es usado cuando se necesita fragmentar rocas muy duras, o como inicializador de un agente explosivo.



- Gel amoniacal.- En este tipo de gel es reemplazada una cantidad de nitroglicerina y nitrato de sodio por nitrato de amonio. Se puede comparar con el straight gel en cuanto a su fuerza, de hecho fue desarrollado como un reemplazo económico del mismo. Comparado con el anterior el gel amoniacal tiene menores velocidades de detonación, menos resistencia al agua y genera menor cantidad de gases. Su gran fuerza (mayor a 70 %) hace que sea un buen inicializador de los agentes explosivos.
- Semigel.- Este explosivo tiene las mismas propiedades que el gel amoniacal; los semigeles son usados como reemplazo de los geles amoniacales cuando es necesaria una mayor resistencia al agua; además este explosivo es aún más económico que el gel amoniacal. Los semigeles, a diferencia de otros explosivos, no se ven notoriamente afectados por el confinamiento.
- Dinamitas.- Agrupa todas las mezclas de nitroglicerina, diotomita y otros componentes. Algunos ejemplos son la dinamita amoniacal de alta y baja densidad, además de la dinamita nitroglicerina. Esta última es la más común en el sector se compone de glicerol, ácido nítrico, sulfúrico y una sustancia inerte, como dictomacea.

Agentes Explosivos.

Consisten en una mezcla de combustible y agentes oxidantes, ninguno de los cuales se los considera explosivos. Debido a su insensibilidad los agentes explosivos deben ser inicializados por un explosivo. Algunos agentes explosivos comunes son el ANFO y las lechadas explosivas.

3.3.2. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.

1. Fuerza: Capacidad de trabajo útil de un explosivo, es común referirse a ella como potencia.
2. Densidad de Empaque: Esta medida se expresa con la cantidad de cartuchos por caja de 25 kg.
3. Velocidad de detonación: Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, se expresa en metros por segundo. Esta propiedad depende de la densidad del explosivo, de sus componentes, tamaño de las partículas y grado de confinamiento.
4. Sensibilidad: Es el mínimo de energía, presión o potencia que es necesaria para que surja la iniciación.
5. Resistencia al agua: Capacidad del explosivo para resistir el contacto o sumergimiento en agua sin que esto afecte su capacidad de detonación.
6. Emanaciones: En la construcción se conoce como emanaciones a los gases tóxicos. Siempre que se produce una explosión, esto da lugar a vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, mismos que nos son tóxicos, pero que forman gases asfixiantes como monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.
7. Inflamabilidad: Es la facilidad con que un explosivo responde a una llama o calor.



3.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS.

Los explosivos pueden clasificarse según diferentes criterios:

Según su naturaleza química los explosivos pueden clasificarse como orgánicos, inorgánicos u organometálicos. Dentro de los primeros se pueden clasificar también como nitrohidrocarburos, nitroaminas o ésteres nítricos.

Según su velocidad de reacción se pueden clasificar como iniciadores o detonadores, multiplicadores, rompedores y propulsores.

Clasificación según su naturaleza química:

Orgánicos:

Son compuestos que se obtienen mediante nitración de sustancias orgánicas. Su manipulación es segura y se activan mediante un iniciador o cebo. Responden a las siguientes fórmulas:

Nombre:	Fórmula.	Compuesto origen.
Nitrohidrocarburos:	R-NO ₂	R-H
Mitroaminas:	R-NH-NO ₂	R-NH ₂
Ésteres químicos:	R-O-NO ₂	R-OH

Tal y como se ve, se añade un grupo nitro (-NO₂) a la molécula orgánica original desplazando a un hidrógeno. Una forma habitual de realizar esta operación es añadir a la molécula orgánica ácido nítrico HNO₃. Cada molécula de ácido nítrico pierde un hidrógeno y un oxígeno, que sumados al hidrógeno que pierde el compuesto orgánico forman una molécula de agua H₂O.

De esta forma, por ejemplo, para fabricar un mol de trinitrotolueno o TNT, son necesarios un mol de tolueno C₇H₈ y tres moles de HNO₃, y se obtienen tres moles de agua, que deben ser eliminados con un desecador, que puede ser el ácido sulfúrico.

Inorgánicos:

Son componentes de las pólvoras y son directamente explosivos. Ejemplos de estos son el clorato de potasio KClO₃, el nitrato de potasio KNO₃ o el nitrato amónico NH₄NO₃.



Organometálicos:

Se usan como cebos o iniciadores de otros explosivos. En general son de estructura muy inestable y por ello su descomposición explosiva es endotérmica o poco exotérmica. Tienen carácter de detonantes y basta el choque para su descomposición. Entre ellos tenemos el fulminato de mercurio ONC-Hg-CNO , o la azida de plomo $(\text{N}_3)_2\text{Pb}$.

Clasificación según la velocidad de la reacción de explosión.

Iniciadores o detonadores:

Son muy sensibles a acciones externas. Detonan y el fenómeno se propaga a alta velocidad (superior a 10.000 m/s). Suelen ser organometálicos.

Multiplicadores:

Explosionan y se usan como amplificadores del iniciador. Entre estos tenemos la tetralita, el exógeno y la pentrita, que son nitroaminas.

Rompedores:

Explosionan pero se usan directamente para provocar efectos mecánicos de rotura. Como ejemplo el TNT, la nitroglicerina, y el ácido pícrico, que son nitrohidrocarburos.

Propulsores (explosivos balísticos o pólvoras):

El fenómeno se propaga con una velocidad de explosión lenta. Deflagran con velocidad inferior a 100 m/s (compárese con los 10.000 m/s de los iniciadores). Entre los de naturaleza inorgánica encontramos la pólvora negra (nitrate de potasio, carbono y azufre), o la pólvora sin humo (nitrocelulosa).

3.3.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS EXPLOSIVOS.

Las características básicas de un explosivo y que ayudan a elegir el explosivo más idóneo para un fin determinado son las siguientes:

- 1.- Estabilidad química.
- 2.- Sensibilidad.
- 3.- Velocidad de detonación.
- 4.- Potencia explosiva.
- 5.- Densidad de encartuchado.
- 6.- Resistencia al agua.
- 7.- Humos.



1.- Estabilidad química.

Es la aptitud que el explosivo posee para mantenerse químicamente inalterado durante un cierto periodo de tiempo. Esta estabilidad con la que el explosivo parte de fábrica se mantendrá sin alteraciones mientras las condiciones de almacenamiento sean adecuadas. Esto permitiría al usuario tener un producto totalmente seguro y fiable para los trabajos de voladura.

Las pérdidas de estabilidad en los explosivos se producen bien por un almacenamiento excesivamente prolongado o bien porque las condiciones del lugar no sean las adecuadas. Si los explosivos son polvorientos con nitrato amónico se estropearán perdiendo dinero pero no habrá accidentes.

Los explosivos con nitroglicerina si pierden su estabilidad química puede significar que la nitroglicerina se ha descompuesto. El cartucho suda o se observan manchas verdes en la envoltura. En este caso el peligro es inminente y es imprescindible la destrucción de este explosivo.

2.- Sensibilidad.

Se define la sensibilidad de un explosivo como la mayor o menor facilidad que tiene un explosivo para ser detonado. Se dice por lo tanto que un explosivo es muy sensible cuando detona sin dificultades al detonador y a la onda explosiva que se produzca en sus cercanías. Un explosivo insensible es todo lo contrario.

Los explosivos sensibles aseguran pocos fallos en los barrenos. Los insensibles por lo contrario provocarán más barrenos fallidos. En este sentido son mejores los explosivos sensibles. Ahora bien, están más cercanos a producirse una explosión fortuita que los explosivos insensibles en los que la probabilidad de accidente es prácticamente nula. En este sentido los insensibles son más seguros que los sensibles.

Esto presenta una paradoja para los técnicos en explosivos, pues por un lado una elevada sensibilidad supone una clara ventaja de cara al funcionamiento del explosivo, pero a su vez puede suponer una gran desventaja en cuanto al riesgo de detonar bajo cualquier estímulo accidental. Así pues, vemos que existen dos conceptos distintos dentro del término genérico de sensibilidad; el primero relacionado con la mayor o menor facilidad para que un explosivo detone cuando se desea, que denominaremos sensibilidad deseada, mientras que el segundo se refiere a la mayor o menor propensión a que un explosivo detone bajo cualquier estímulo accidental, que denominaremos sensibilidad indeseada.

Este último concepto, inédito hasta ahora en la tecnología de los explosivos, puede cuantificarse en algunos casos como el mínimo estímulo accidental necesario para que se produzca una explosión. En otras palabras, podemos afirmar que una alta sensibilidad indeseada trae consigo una elevada susceptibilidad a la detonación accidental, mientras que una baja sensibilidad indeseada equivale a una baja propensión a la iniciación fortuita, bajo el estímulo de cualquier fuente de energía distinta de la normalmente empleada.



Siempre existe un solapamiento entre ambas sensibilidades, por lo que en general una alta sensibilidad deseada implica una elevada sensibilidad indeseada y viceversa.

Esta tendencia está muy acentuada en los explosivos convencionales, en los que se parte de un producto altamente sensible a todo tipo de estímulos, al que se le insensibiliza con una serie de productos.

Entre los explosivos más comúnmente empleados, las dinamitas son los de mayor sensibilidad, por llevar en su composición nitroglicerina. Todas ellas se inician fácilmente con detonadores ordinarios y desde luego con cordón detonante de 12 gr / ml. Los hidrogeles son mucho más insensibles, no llevan nitroglicerina y requieren unos iniciadores más potentes, aunque también todos detonan con detonadores ordinarios y cordones detonantes de 12 gramos para arriba. Estos explosivos evitan todo riesgo de explosión debido a roces violentos o grandes presiones, como por ejemplo ser pisados por las orugas de un tractor o una excavadora.

Existe otro concepto de sensibilidad debido a experimentos realizados en los laboratorios, donde se realizan la sensibilidad al detonador, sensibilidad a la onda explosiva, sensibilidad al choque y sensibilidad al rozamiento. De estas las dos primeras son deseadas, mientras que las dos últimas son sensibilidades indeseadas.

- Sensibilidad al detonador. Todos los explosivos industriales precisan para su iniciación como norma general de la detonación de otro explosivo de mayor potencia. Este explosivo puede ir colocado dentro de un detonador, de un cordón detonante o de un multiplicador, según el procedimiento que sigamos para la iniciación de la explosión. Si algún explosivo no fuera sensible al detonador, entonces los multiplicadores salvarían esta pega, aunque el 99% de los explosivos que actualmente se fabrican son sensibles al detonador.
- Sensibilidad a la onda explosiva. Se basa en determinar la máxima distancia a que un cartucho cebado trasmite la detonación a otro cartucho receptor. Colocamos cartuchos en línea y ambos a continuación del otro, separados una determinada distancia d . Pero lo que sucede en realidad es que al cargar los barrenos entre cartucho y cartucho pueden haber materias inertes que siempre dificultan la propagación y a veces llegan a anularla. Por esta razón la norma indica que "la carga cuando se trate de explosivos encartuchados estará constituida por una fila de cartuchos en perfecto contacto unos con otros."
- Sensibilidad al choque. Los diferentes tipos de explosivos industriales pueden ser o no sensibles al choque, lo cual no quiere decir otra cosa que en algunos explosivos se puede producir su iniciación por un fuerte impacto. La forma de determinar la sensibilidad al choque se hace mediante una maza que se coloca a una determinada altura con una masa definida, se mide la altura hasta que el explosivo explota.
- Sensibilidad al roce. Al igual que con la sensibilidad al choque existen algunos explosivos que son sensibles al rozamiento. Es por esto que existe un ensayo



normalizado que nos indica si un explosivo es sensible o no al rozamiento, y en caso de serlo, en qué grado lo es. Este ensayo se realiza con una máquina provista de un objeto cuyo coeficiente de rozamiento conocemos. La sensibilidad se conoce pasándolo por la longitud de todo el explosivo cada vez con mayor intensidad hasta que el explosivo explota.

3.- Velocidad de detonación.

V = velocidad buscada.

v = Velocidad de mecha. (Conocida).

$$t = \frac{BC}{V} + \frac{CE}{v} = \frac{BE}{V} \quad (1)$$

$$\frac{BC}{V} = \frac{BE}{V} - \frac{CE}{v} \quad V = \frac{BC}{\frac{BE}{V} - \frac{CE}{v}} \quad (2)$$

La velocidad de detonación es la característica más importante del explosivo. Cuanto más grande sea la velocidad de detonación del explosivo, mayor es su potencia.

Se entiende por detonación de un explosivo a la transformación casi instantánea de la materia sólida que lo compone en gases. Esta transformación se hace a elevadísimas temperaturas con un gran desprendimiento de gases, casi 10.000 veces su volumen.

Sea un cartucho de un determinado explosivo M del cual queremos hallar su velocidad de detonación V . Si le introducimos un detonador en el interior y a su vez le practicamos dos orificios B y C de los que salen una mecha patrón cuya velocidad de detonación es conocida, v , y colocamos una placa de plomo, tendremos lo siguiente:

Al explotar el detonador explota todo el cartucho, pero lo hace antes en B que en C , porque está más cerca del detonador.

Por lo tanto las ondas no se encuentran en el punto medio D , sino en otro punto E (visible en la placa por ser de plomo).

El tiempo empleado en seguir un camino o el otro es el mismo, por lo tanto se cumple (1), y operando llegamos a (2) que nos determina la velocidad de detonación V de un explosivo.

Para algunos trabajos interesan explosivos lentos, de poca potencia. (En canteras de roca ornamental). Si se quiere grandes producciones (sobre todo estéril), se usaran explosivos de baja velocidad de detonación, de poca potencia.



4.- Potencia explosiva.

La potencia puede definirse como la capacidad de un explosivo para fragmentar y proyectar la roca. Depende por un lado de la composición del explosivo, pese a que siempre es posible mejorar la potencia con una adecuada técnica de voladura.

Para la medida de la potencia de un explosivo existen en el laboratorio diferentes técnicas de las cuales es la más empleada la del péndulo balístico. Por este procedimiento se mide la potencia de un explosivo en porcentaje en relación con la goma pura, a la que se le asigna por convenio la potencia del 100 %.

5.- Densidad de encartuchado.

La densidad de encartuchado es también una característica importante de los explosivos, que depende en gran parte de la granulometría de los componentes sólidos, y tipo de materias primas empleadas en su fabricación. El usuario en este caso nada tiene que hacer.

Al ser fundamental que los fondos de los barrenos estén completamente llenos de explosivos, si estos tuvieran densidad menor de uno y los barrenos tuvieran agua física, los cartuchos flotarían siendo imposible la carga del barreno. Utilizar en este caso explosivos de densidad inferior a uno sería un gravísimo error.

6.- Resistencia al agua.

Se pueden diferenciar tres conceptos:

- 1.- Resistencia al contacto con el agua.
- 2.- Resistencia a la humedad.
- 3.- Resistencia al agua bajo presión de la misma.

Se entiende por resistencia al agua o resistencia al contacto con el agua a aquella característica por la cual un explosivo sin necesidad de envuelta especial mantiene sus propiedades de uso inalterables un tiempo mayor o menor, lo cual permite que sea utilizado en barrenos con agua.

Si un terreno contiene agua emplearemos gomas, riogeles, etc., cuyo comportamiento al agua es excelente. Nunca se deben emplear explosivos polvurentos (Anfos) en contacto directo con el agua. Ahora bien, si el agua la agotamos con la carga de fondo, podremos emplear en la carga de columna explosivos polvurentos. En cualquier caso los explosivos polvurentos se comportan muy bien en barrenos sumamente húmedos si el contacto con el agua no es mucho. Es aconsejable en estos casos hacer la mitad de barrenos para cargarlos rápidamente y efectuar la pega.



En referencia al tercer punto, nos referimos no solo a que el explosivo soporte el contacto con el agua, sino que además aguante altas presiones debidas a las grandes profundidades. Los explosivos utilizados en este caso contienen como aditivos metales pesados, que les confieren características muy especiales, como es el caso de la goma GV submarina.

7.- Humos.

Se designa como humos al conjunto de los productos resultantes de una explosión, entre los que se encuentran gases, vapor de agua, polvo en suspensión, etc. Estos humos contienen gases nocivos como el óxido de carbono, vapores nitrosos, etc., y si bien su presencia no tiene importancia en voladuras a cielo abierto, si la tiene en voladuras en minas subterráneas y sobre todo si se realizan en lugares con poca ventilación. En este caso pueden ocasionar molestias e intoxicaciones muy graves a las personas que vayan a inspeccionar la voladura.

Para los trabajos subterráneos la composición del explosivo debe tener una proporción suficiente de O₂ capaz de asegurar la combustión completa.

Diámetro crítico: Cualquier explosivo en forma cilíndrica tiene un diámetro por debajo del cual no se propaga la velocidad de detonación.

Para explosivos nitrados, como el NO₃ NH₄, puede alcanzar valores hasta de 10 pulgadas, pudiendo ser insignificante tanto para la pentrita como para el nitrato de plomo, que son los que se utilizan en los cordones detonantes y detonadores.

Es necesario decir que en el diámetro crítico influye la densidad y el confinamiento de los explosivos en los barrenos.

Combustión completa en las reacciones explosivas.

No es fácil estudiar detalladamente la influencia del oxígeno en las características del explosivo; sin embargo es necesario procurar que si se van a utilizar en excavaciones subterráneas no se forme el temido CO (monóxido de carbono), porque este gas se fija en la sangre dando lugar a un compuesto llamado Carboxihemoglobina, que paraliza las funciones vitales sin que la agonía se advierta. Además este gas no es fácilmente detectable ya que es incoloro, inodoro e insípido.

Para lograr este objetivo, el oxígeno debe de estar en la proporción necesaria para que la combustión sea completa, dando así lugar a que todos los átomos de carbono se oxiden completamente dando CO₂. Todos los átomos de hidrógeno que se formen deben dar lugar a moléculas de H₂O, pudiendo estar también presentes moléculas de nitrógeno, así como moléculas de oxígeno O₂.



3.3.5. EXPLOSIVOS COMERCIALES.

Generalidades.

Explicadas las propiedades generales de los explosivos, a continuación se explican las distintas clases de explosivos que ofrece el mercado, para elegir el adecuado en cada aplicación. Se dividen los explosivos comerciales en dos grandes grupos.

- Explosivos con nitroglicerina. Son sin duda los más potentes de los dos. Esta cualidad no es siempre la mejor, ya que en ocasiones se prefieren explosivos menos potentes, con el fin de conseguir una granulometría grande. Son explosivos más delicados, necesitan mejores condiciones de almacenamiento.
- Explosivos sin nitroglicerina. Son más seguros, algo más inestables y también de una potencia apreciable, aunque menor.

Dinamitas.

Se entiende como tales aquellas mezclas sensibles al detonador entre cuyos ingredientes figura la nitroglicerina. Su número y clase es extremadamente variado según países y marcas, variando también sus componentes adicionales, siendo los principales componentes los siguientes:

- Explosivo base: nitroglicerina.
- Explosivos complementarios: trilita, nitrobenceno, etc.
- Aditivos generadores de oxígeno: nitrato amónico, nitrato sódico, nitrato potásico, así como cloratos y percloratos.
- Sustancias que aumentan la potencia: aluminio, silicio y magnesio.

Clases de dinamitas.

1.- GOMAS.

Están constituidas fundamentalmente por nitroglicerina y nitrocelulosa, pudiendo llevar en su composición los elementos anteriormente dichos.

Sus principales ventajas son su consistencia plástica, una gran densidad, magnífico comportamiento al agua y una gran potencia, siendo la goma pura el más potente de los explosivos comerciales.

Estos explosivos han sido sustituidos por las denominadas gomas especiales, debido precisamente a su elevada sensibilidad unida a su alto precio.



2.- GOMAS ESPECIALES.

Incorporan como agente oxidante el nitrato amónico, que no siendo un explosivo base, contribuye a la energía de la explosión, al mismo tiempo que actúa como oxidante, para obtener un balance de oxígeno adecuado. Esto permite obtener un explosivo de potencia algo menor que las anteriores gomas, con menores proporciones en nitroglicerina.

Ya no son tan excesivamente sensibles y además nos ofrecen un menor costo por unidad de potencia. Conservan su plasticidad, tienen un comportamiento algo peor al agua, pero excelente de todas maneras, pero son los más adecuados para la mayoría de los trabajos que se presentan en la práctica, pudiéndose utilizar en barrenos llenos de agua.

Su aplicación fundamentalmente es como carga de fondo de barrenos de mediano y gran diámetro, y para la voladura de rocas de consistencia de dura a muy dura, utilizándose como carga de columna nagolita.

Para diámetros por debajo de dos pulgadas suele utilizarse como carga única del barreno porque al ser 2 pulgadas el diámetro crítico de las nagolitas, su utilización es imposible.

Agente explosivo de baja densidad: anfo, nafo, nagolitas.

Se conocen con el nombre de explosivos polvulentos, siendo conocidos en España como nagolitas. Empezaron a emplearse en la década de los setenta, llegando su consumo a ser el 75% de los explosivos utilizados en el mundo. Es un explosivo con unas características individuales muy malas, (hidroscópico, poco potente, mala conservación), sin embargo su precio lo hace el más utilizado hoy en día en voladuras a cielo abierto.

Se trata de principalmente de una mezcla de nitrato amónico más fuel - oil.

Características más importantes de los anfos.

Se descubrió sobre el 1950 después de una desastrosa explosión que tuvo lugar en una fábrica de nitrato amónico en EE.UU. Aparte de otras consecuencias, este hecho centró la atención de los fabricantes en el potencial demostrado por el nitrato amónico, y a partir de los años 60 se empezó a utilizar con éxito el nitrato amónico sensibilizado con fuel-oil.

Así surgieron los anfos, que por su potencia relativamente elevada, facilidad de manipulación y sobre todo por su bajo precio, ganó con rapidez la supremacía en la mayoría de las canteras y minas a cielo abierto existentes.

Los anfos son unos explosivos de detonación "no ideal", es decir, son muy insensibles, cualidad esta que es útil para evitar accidentes, pero puede provocar el fallo en el barreno.



En la mayoría de los casos se usan como carga de columna, siendo la carga de fondo las gomas, encargándose estas de la correcta explosión de toda la carga.

En ocasiones la nagolita se puede utilizar sola en grandes diámetros de sondeo, mayores siempre de 7 pulgadas. En este caso conviene aumentar la sensibilidad, consiguiéndose esto con el aumento de la densidad en el interior del barreno, prensando la nagolita con la tacadera, con cuidado en pasarse, ya que la nagolita podría sufrir fallos, debiendo procurar que la densidad no sobrepase del 0´95 - 0´96 %.

Existen características de composición en las que el operario no puede actuar. Las más importantes son:

- Tamaño y tipo de grano.
- Contenido en fuel-oil.
- Contenido de agua.
- Sensibilidad.

Factores externos son aquellos en los que el usuario tiene mucho en que actuar.

- Densidad de la carga.
- Diámetro del barreno.
- Iniciadores.

TAMAÑO Y TIPO DE GRANO.

Tienen forma de granos, parecidos a los granos de arroz, son porosos, rellenos de aire, ya que así tienen una mayor velocidad de liberación de la energía. La porosidad óptima parece estar próxima a 0´07 cm³ /gr

CONTENIDO EN FUEL- OIL.

La influencia del fuel-oil incorporado a la mezcla de nitrato amónico, en proporciones variables viene reflejada en la figura. La máxima velocidad de detonación se alcanza para un contenido en fuel-oil de 5´5 %; igualmente para esta proporción se alcanza el equilibrio en oxígeno.

En la zona (1), al disminuir el porcentaje en fuel-oil, significa que aumenta el porcentaje en nitrato, y como este es un dador de oxígeno, la zona (1) presenta un claro exceso en oxígeno. En esta zona se ve que la velocidad de detonación disminuye muy rápidamente, a la vez que el descenso en porcentaje en fuel-oil.

En la zona (2), donde ya la proporción en nitrato amónico es más pequeña, hay un defecto de oxígeno, y si bien la velocidad de detonación también disminuye, lo hace de forma más suave que en la zona (1).



CONTENIDO DE AGUA.

La influencia del agua sobre la velocidad de detonación de las nagolitas, es de sobra conocida la propiedad del nitrato amónico de ser muy hidroscópico (absorbe la humedad). Con porcentajes de contenidos en agua inferiores al 9% la velocidad va disminuyendo, pero conservando siempre velocidades mayores a los 2000 m. Con humedades superiores al 9% no se deben utilizar nagolitas a granel; en este caso habría que utilizar nagolitas envueltas en plástico para retrasar dicha absorción de agua.

Alto explosivo.

Cebo es el cartucho, bombillo o salchicha que va amarrado al cordón detonante o bien lleva el cápsul o fulminante, que se introduce por lo general orientado hacia la columna del explosivo o boca del barreno. Se considera que se tiene un cebado adecuado cuando se asegura que el explosivo alcance su velocidad máxima tan rápidamente como sea posible, bajo las condiciones de uso que se tengan. Los resultados de un cebado inadecuado se pueden presentar de forma que el explosivo no detone o teniendo una detonación de orden más bajo.

Bajo explosivo.

El agente explosivo comúnmente llamado ANFO, abreviaturas de las siglas Ammonium Nitrate and Fuel Oil. Se fabrica con un 94.3% de nitrato de amonio y un 5.7% de diesel, se debe llevar esta dosificación exacta, ya que si existe una variación positiva o negativa se tiene una pérdida de energía la cual afecta significativamente a la fragmentación. El tipo de confinamiento afecta la velocidad de detonación y su habilidad para sostener una detonación en diámetros menores, la mayoría del ANFO no detonará sin confinamiento en diámetros tan pequeños como una pulgada.

La velocidad de detonación de ANFO vaciado depende del diámetro del barreno y del grado de confinamiento en el cual se inicia, por lo tanto la velocidad aumenta al aumentar el diámetro del barreno. Los barrenos que contienen humedad no deberán cargarse con ANFO por que se disuelve y se desensibiliza; aunque si detona con pequeñas cantidades de agua, la experiencia nos demuestra buenos resultados en una base continua, o sea, cuando se carga en barrenos completamente secos.

Taco.

Su función principal es la de dar el confinamiento necesario a la columna explosiva, para obtener la máxima presión de detonación. La altura del taco va de acuerdo al diámetro del barreno, material y estructuras que vaya cortando el barreno y por lo regular empíricamente se deduce de la séptima parte del bordo hasta ser casi igual que él; es importante mencionar que influye directamente en la obtención de roca grande, por eso no se recomienda dejarlo en mayor proporción que el bordo por la resistencia que presenta en sí la roca, requiere material un poco más grueso, que sea uniforme y de acuerdo al diámetro de barrenación.



3.3.6. ACCESORIOS.

Mecha de seguridad, sword o cañuela clover.

Se constituye de un núcleo de pólvora negra o especial, recubierta por varias capas textiles y acabado en cera, que le dan protección y aislamiento impermeable y sirve para transmitir fuego a una velocidad estable de 135 seg/m, a un cápsul o fulminante e iniciar la voladura. Entre mayor sea la presión o confinamiento más rápidamente se consumirá, por lo tanto, una reducción de la presión externa hace más lenta la capacidad de la combustión de la mecha.

Las recomendaciones más usuales para su uso son cortarla perpendicularmente, en escuadra y si dicha punta ya tiene bastante tiempo de haberse usado, se le quitan 2cm que posiblemente estén deteriorados y se debe embonar bien el cápsul o fulminante darle un buen engargolado con pinzas o máquina especial, ésta no debe exponerse al sol, calor ni darle dobleces mayores de 90 grados.

Fulminante o cápsul # 6.

Consiste en un casquillo de aluminio con tres cargas: ignición, iniciación y base de alto explosivo y funciona como sigue: captación del flamazo de la mecha convirtiéndola de combustión a detonación que a su vez inicia la carga base.

Se recomienda para su uso mantenerlos siempre aislados, solo se deben manejar al solicitarlos al polvorín y fabricar la mecha para amarrarla al circuito de la voladura, alejarla del calor y la humedad excesivos, deben ser afianzados firmemente cuando se use cordón detonante y al usarse directamente en los explosivos debe instalarse en la parte central del bombillo de cebo ya que es direccional.

Conector TH.

Está diseñado para proteger el extremo de la mecha de seguridad de la humedad y pueden fijarse al cordón encendedor con mínimo de esfuerzo. Contiene una pequeña carga prensada de un compuesto de ignición que enciende la mecha cuando el ignitacord se consume a través de él, puede iniciarse mediante un impacto fuerte como el de las rocas que caigan.

Ignitacord.

Es un cordón de diámetro pequeño el cual se consume con una flama externa corta y caliente en la zona de combustión, se fabrica en tres velocidades de acuerdo a las necesidades del usuario.



Tabla.

Se recomienda evitar usarse como un sustituto de la mecha (velocidad-longitud). Se debe cortar con un cuchillo filoso o bien con pinzas de cortar. No debe usarse en lugares donde esté prohibido el uso de la flama. Está sujeto a ignición mediante la flama, chispas, fricción o un golpe violento y las mechas deben estar debidamente espaciadas para asegurar una rotación adecuada en la salida de barrenos.

Cordón detonante.

Fabricado por un núcleo de pentrita (PETN) recubierto por capas textiles impermeables, se asemeja a una cuerda, muy manejable y resistente al agua, no puede ser iniciado por flama de mecha o la flama de un cerillo aunque está considerado como un explosivo y como tal debe manejarse con toda la precaución necesaria.

Su ignición es multidireccional de acuerdo a los amarres que se realicen, solo se inicia con cápsul-mecha, nonel o estopín eléctrico y tiene en toda su extensión la potencia de un fulminante #6, se recomienda evitar nudos flojos, cortar excesos o colas, ángulos cerrados que puedan provocar corte; al iniciarlo por seguridad, se debe usar doble punta y evitar corte por la potencia del cápsul ya que es direccional; se fabrica en tres presentaciones de acuerdo al trabajo a realizar en cada lugar.

Nonel.

Es un iniciador clasificado dentro de los estopines, aunque no eléctrico, de donde proviene su nombre (non-electric) y con la ventaja que posee de no ser iniciado por cargas estáticas o extrañas, sin tener experiencia en diseños de complicados circuitos eléctricos, además de ser económicos, confiables y seguros.

Consiste en un tubo plástico laminado de diámetro pequeño, un sello ultrasónico en la punta y su interior está revestido de una capa muy delgada de material radiactivo que transmite una señal de baja energía (onda de choque) que se propaga a una velocidad uniforme por nudos, dobleces e inicia al detonador de retardo el cual también es direccional.

Puede ser iniciado con detonador de impacto, mecha-fulminante o cordón detonante, se introduce el cápsul en la parte central inferior del bombillo-cebo, es decir orientándolo hacia la carga explosiva en el otro extremo se engancha el primacord con el conector, se desliza lateralmente y hacia la boca del barreno dándole un pequeño doble para evitar el deslizamiento ya ubicado, alejando el exceso o cola de la línea troncal más de 6 ya que lo puede cortar en lugar de iniciarlo.

Barrenación.

Se refiere a la perforación hecha en la roca; la distancia entre barrenos (espaciamiento) y entre líneas de barrenos (bordo) se denomina plantilla de barrenación, y debe llevar una proporción adecuada a la profundidad del barreno. Dicha plantilla es específica para cada tipo de material a retirar, al variar sus principales propiedades



específicas; porosidad, densidad, geología estructural, etc. Por lo tanto se aplica diferente cantidad de explosivo (factor de carga), para obtener una óptima fragmentación, por esto cada roca tiene su propio factor de carga.

Se debe considerar la simetría de la plantilla de barrenación ya que de no ser así quedan grandes espacios fuera del radio de acción del barreno.

En barrenos de diámetro pequeño se debe tener especial cuidado para que la plantilla sea simétrica y no queden juntos barrenos y evitar que detonen por propagación.

Otro factor que implica roca grande es el desvío de los barrenos por las perforadoras ya sea por estar sobre terrenos quebrados o zonas muy duras, esto es importante para adecuar la cantidad de explosivo, ya sea que al desviarse se detectan zonas con cavidades o choyas o en su defecto se aprecian las zonas duras al ver sus paredes. Entonces el encargado de la voladura aplicará criterios necesarios.

3.4. PROCEDIMIENTO DE EXCAVACIÓN CON EL USO DE EXPLOSIVOS.

Se delimita bien el área a retirar considerando:

El tipo de material (mineral, estéril)

Factor de carga (gr/ton)

Geología estructural

Barrenación completa con su profundidad adecuada (nivelación de barrenos)

Con la información anterior se elabora un croquis de la pantalla de barrenación, calculando la cantidad exacta de explosivos y artificios a retirar de los polvorines.

Se elaboran los respectivos vales de almacén, se inspeccionan los vehículos y se procede a cargarlos con el cuidado que requiere todo material explosivo, además de no aventarlo ni dejarlo caer. Se deben tener todas las medidas que se han implementado para ello.

De fabrica el explosivo viene empacado en cajas rígidas y en su interior una bolsa plástica que aísla de la humedad excesiva de los bombillos, también evitando sufran machucones y deformaciones en la constitución del explosivo; a lo que están expuestos al sacarlos para su despacho y llevarlos a su lugar de trabajo.

Al obtenerlos artificios se deben meter a un recipiente o contenedor rígido (caja) de manera que no sufra alteraciones físicas, los costales o bolsas plásticas no ofrecen ninguna protección. Por ninguna razón se deben llevar fulminantes (mechas) junto con explosivos y anfo.

Al cargar el camión o camioneta se debe estibar correctamente alto explosivo y anfo si es el caso. Al término se cierran las puertas de la caja, se colocan las cuatro banderolas en



las defensas, se enciende la torreta y luces intermitentes del vehículo manejándolo a una velocidad moderada hasta la plantilla a detonar.

Ya situado el explosivo en el lugar de trabajo y antes de bajarlo se tiene que acordonar de 20 a 25 metros a la periferia de la plantilla con conos fluorescentes para que no circulen vehículos ni personal, y tenga margen de maniobra el camión mezclador, en caso de que se tenga.

Se distribuye barreno por barreno la cantidad exacta de explosivos, al quedar vacío se apaga la torreta y las luces intermitentes, se estaciona el vehículo en un lugar donde no estorbe al cebado y carga de barrenos. Es importante desalojar al personal ajeno al manejo de explosivos, de la plantilla a cargar, ya que causan distracción al personal durante el cargado y su desconocimiento puede causar o generar accidentes.

Se procede a la elaboración de cebos. El cabo está constituido por el booster o veladora, o bien el primer bombillo que contiene el cápsul o fulminante, el cual se introduce en el extremo es decir, a un lado de la grapa (no en medio) de esta manera se asegura una adecuada iniciación del explosivo. Se complementa la carga de fondo y la carga de columna, suministradas en cantidades exactas de acuerdo al cálculo del diseño, al igual que el taco.

Al cargar varias líneas, su cargado debe ser sistemático, avanzando en ambas líneas de barrenos a la vez, los excedentes que servirán para el amarre, separarse del paso del vehículo (si se tiene) y evitando se machuquen o trocen noneles o primacord, evitando falsear la voladura o una posible detonación prematura.

Al término se da otro recorrido por todos y cada uno de los barrenos para verificar su buen amarrado, con esto se asegura la continuidad de la ignición en la voladura y evitar la aparición de explosivos de barrenos quedados por descuido.

Después de cargada la voladura todo excedente o sobrante por pequeño que este sea debe regresarse al polvorín, no debe extraerse del lugar ningún tipo de material explosivo bajo el riesgo de hacerse acreedor a multas y sanciones por parte de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) según estipula la Ley Federal de Armas de Fuego y su Reglamento.

3.4.1. REALIZACION DE UN BARRENO.

PERFORADORAS.

Deben utilizarse perforadoras de accionamiento neumático o hidráulico de percusión-rotación o rotatorias para barrenos de 41; 51,8; 57,2; y 76,2 mm de diámetro, con capacidad suficiente para barrenar a profundidades hasta de 80 m. Debe preverse que tengan incluido un dispositivo para poder inyectar agua en forma continua durante la perforación, requisito indispensable para eliminar la contaminación producida por el polvo de la barrenación.



Se recomienda la utilización de perforadoras neumáticas con martillo de fondo para profundidades superiores a los 30 m, con el fin de garantizar la correcta dirección del barreno, según se especifique en los planos de proyecto.

Para barrenos cortos como los utilizados para anclas cortas, drenes para concreto lanzado o para el contacto concreto-roca, se recomienda el uso de perforadoras ligeras equipadas con acero de barrenación integral.

En algunas zonas de la obra se requiere la recuperación de núcleos de roca o incluso de concreto, por lo que el Contratista debe contar en la obra con máquinas perforadoras rotatorias equipadas con todos sus implementos de perforación para alcanzar profundidades hasta de 80 m.

Para garantizar la correcta ejecución de un barreno, el Contratista debe tomar en cuenta lo siguiente:

Alineación. Debe conservarse la dirección de la perforación en toda la longitud del barreno, por lo que se debe considerar el peso del varillaje o acero de barrenación que se seleccione; sobre todo en barrenos inclinados.

Estabilidad de las paredes del barreno. Es fundamental que el barreno permanezca limpio durante el proceso de perforación para optimizar el avance; sin embargo, se pueden presentar zonas donde el terreno esté muy fracturado y sea necesario ademar las paredes del mismo a medida que se realiza la perforación hasta llegar a la profundidad de diseño, por lo cual el Contratista debe considerar la utilización de ademes metálicos para estos casos.

Localización y trazo de barrenos.

Son las actividades necesarias para ubicar y posicionar físicamente en el terreno los barrenos de inyección, drenaje, etc., que debe ejecutar el Contratista, apegado a los datos indicados proyecto. Para esto se requiere del apoyo de trazos auxiliares de topografía.

Perforaciones en roca.

Todas las perforaciones deben realizarse con los equipos especificados, y deben ejecutarse sin interrupción en toda su longitud, incluyendo la reperforación del tramo empleado en los casos en que previamente se hubiera inyectado el contacto concreto-roca, o detectado alguna falla de importancia y que se haya tenido que inyectar.

Si durante el proceso de perforación se presentan pérdidas de agua o se detecta alguna fractura o falla de importancia, se debe suspender temporalmente la perforación para proceder a sellar el barreno; éste se debe inyectar con el obturador colocado a 1 m por arriba del punto donde se presente la fuga de agua, hasta alcanzar la presión máxima especificada. Terminada la inyección, se debe remover el obturador y lavar todo el barreno de acuerdo a lo especificado en el proyecto, o reperforar el tramo para continuar la perforación del barreno hasta su profundidad total de proyecto.



Se requieren perforaciones para el anclaje y para las inyecciones de consolidación e impermeabilización como se describe enseguida

Lavado del barreno

Esta actividad se debe realizar previa al equipamiento del barreno, para la inyección de la mezcla, o para la instalación de pernos de anclaje o cuando se requiera la reinyección de un tramo por alto consumo de mezcla. Consiste en la limpieza del barreno utilizando agua y aire a presión mediante la introducción de un chiflón o tubo cuyas boquillas o perforaciones estén orientadas en dirección perpendicular al eje del barreno; para el caso de lavado de barrenos que deberán ser reinyectados, la dirección del chiflón o tubo de agua se aplicará paralela al eje del barreno. La presión que se aplique debe ser tal que permita la salida del material producto de la perforación, de la inyección, de caldos de roca y de cualquier material que se encuentre relleno de las grietas hasta que el agua retorne limpia a la superficie y el barreno esté libre de obstrucciones en toda su longitud. Esta actividad es independiente del sopleteo o lavado que se haga durante el proceso de barrenación.

Para el caso de lavado de barrenos en las inyecciones de contacto concreto-placa, se refiere a la limpieza de la oquedad y no únicamente a la del barreno. Este procedimiento se debe ejecutar hasta haber perforado y equipado todos los barrenos correspondientes a la cavidad a empacar, y se da por terminada cuando salga agua limpia por todos los barrenos.

3.5. VOLADURAS SUBTERRANEAS.

Los procedimientos que a continuación se mencionan son trabajos preliminares que se deben realizar para llevar a cabo las excavaciones subterráneas de mayor importancia dentro del proyecto.

3.5.1. PROCEDIMIENTO:

EXCAVACIÓN Y REVESTIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS GALERÍAS DE INSPECCIÓN, INYECCIÓN Y DRENAJE.

El procedimiento de excavación y revestimiento establece la metodología que debe seguirse para la excavación, revestimiento a base de concreto hidráulico y ejecución por medio de inyección de lechadas, en pantalla de drenaje y galería de inyección, que servirán de conexión desde las galerías.

El alcance de este procedimiento aplica únicamente para la construcción de las galerías de inspección, inyección y drenaje del P.H. La Yesca.

Galería de Inspección, Inyección y Drenaje.- Es una excavación con una sección tipo portal, de 3.20 m de ancho por 3.60 m de altura, con una cuneta lateral para drenaje y con una pendiente en el piso suficiente para drenar el agua de filtración. El propósito de las galerías es la formación de pantallas de consolidación e impermeabilización en la roca, ligados a la estructura del plinto, mediante tres tipos de inyecciones; los de tratamientos de

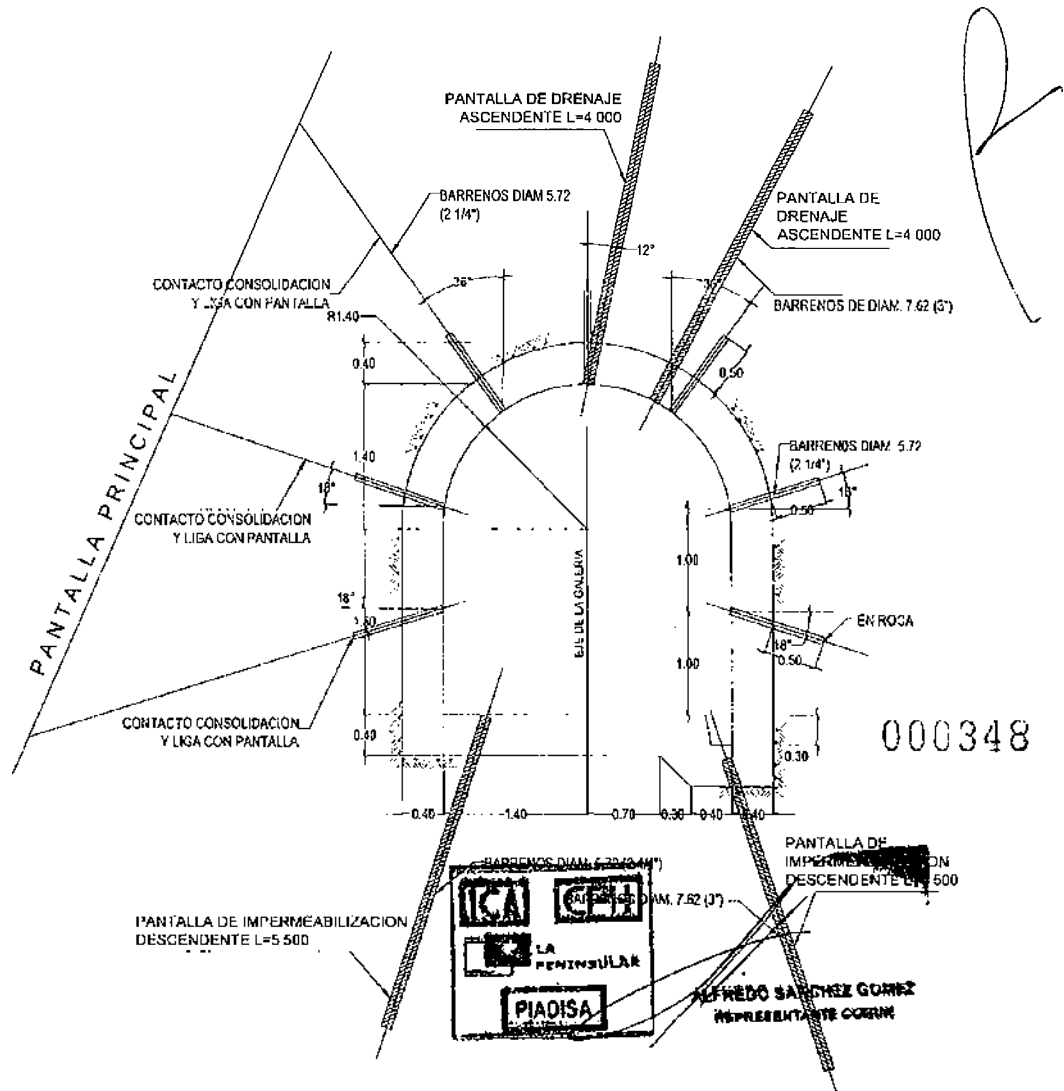


Figura 3.2. Diagrama de perforación.

MARGEN DERECHA

En esta ladera se tienen cuatro galerías GD-1, GD-2, GD-3 y GD-4 localizadas en las elevaciones 530, 480, 430 y 395 respectivamente, y paralelas en el tramo principal (cortina-obra de toma), se localizan paralelas.

Desde ellas se continúa la pantalla de impermeabilización de la cortina hacia el interior de la ladera hasta un poco más allá del límite norte, protegiendo a lo largo de su desarrollo las cavernas de casa de máquinas, pozo de oscilación y parcialmente las tuberías de presión.

Los tramos de galería atrás del plinto tienen por objeto contar con un acceso permanente a la zona de la pantalla impermeable, construida desde el plinto, y a las

elevaciones más bajas, para poder realizar inyecciones de refuerzo durante la operación de la presa ya que no existirá otra forma de realizarlos en caso de necesitarse.

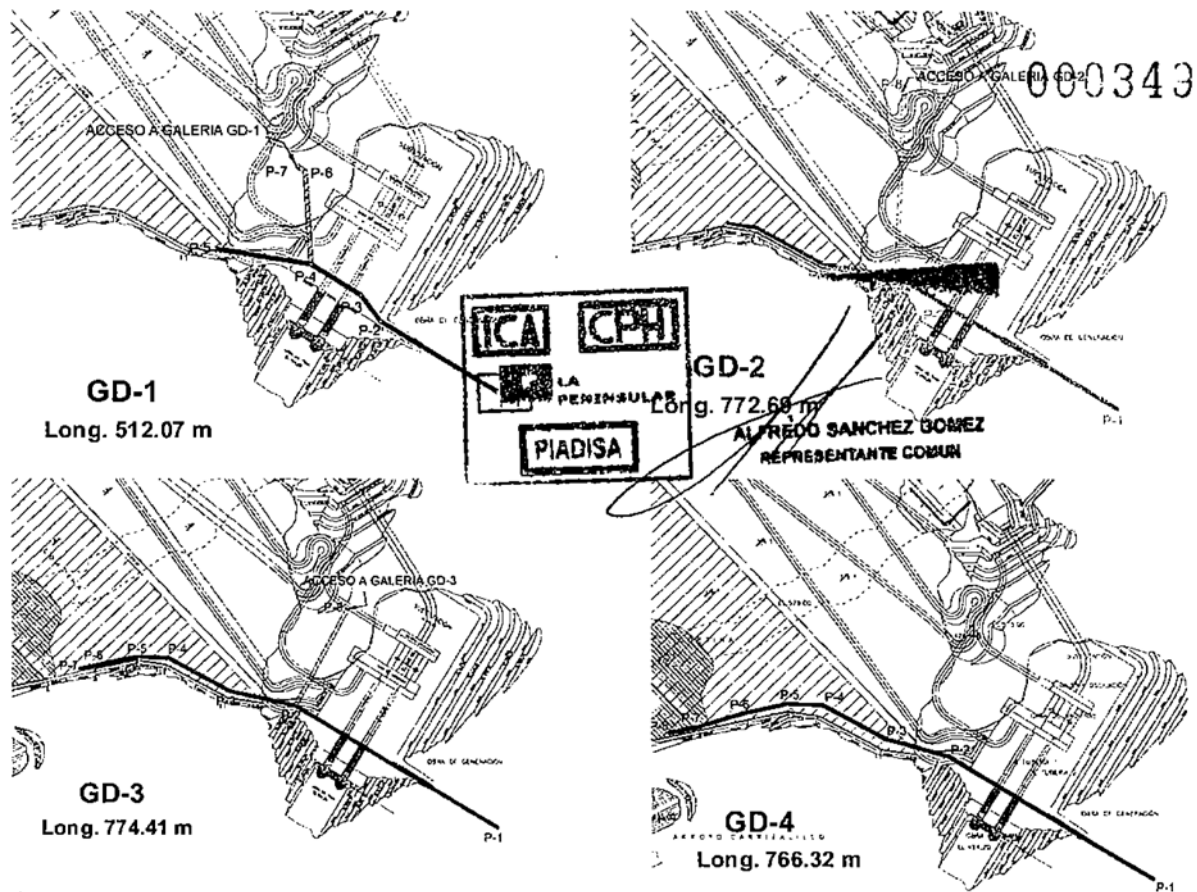


Figura 3.3. Galerías.

GALERÍA GD-1

La GD-1 tiene su acceso en la berma a la cota 527,56 entre la plataforma de subestación y la cortina. Se extiende desde su extremo del lado cortina hasta más o menos 150m después del límite poniente de la caverna de casa de máquinas. La pantalla impermeable se inicia en la superficie a la elevación 579,0 hasta la GD-1 y desde ésta hasta la GD-2; Este tramo de pantalla se une al tratamiento realizado desde el plinto de la presa. La pantalla de drenaje se construirá desde la GD-1 hacia arriba hasta la superficie.

El acceso es por la margen derecha, aguas abajo y junto al paramento de la cortina a la elevación 480. Se extiende desde su extremo a la altura del punto 9 del plinto hasta aproximadamente 150 m del muro poniente de la casa de máquinas. La pantalla impermeable se inyecta a partir GD-2 hasta la GD-3. En la zona de tuberías de presión se liga con las inyecciones de consolidación ejecutadas desde estas estructuras. La pantalla de drenaje se realiza desde la GD-2 hacia arriba aproximadamente en la cota 525.



GALERÍA GD-3

El acceso es por el túnel de acceso a la galería de oscilación a la elevación 416.62, aproximadamente. La galería se extiende desde su extremo del lado cortina, aproximadamente al nivel de los puntos 8' y 8" bajo y atrás del plinto, hasta aproximadamente 150 m al poniente del paño de la casa de máquinas.

La pantalla impermeable se realiza a partir de la GD-3 hacia abajo. En la zona de tuberías de presión se liga con las inyecciones de consolidación ejecutadas desde estas estructuras y la pantalla de drenaje se ejecuta desde la GD-3 hacia arriba, hacia la cota 475.0 aproximadamente.

GALERÍA GD-4

El acceso a esta galería, se realiza a través del túnel auxiliar a casa de máquinas en la elevación 416,62 aproximadamente. La galería inicia tratamientos entre los puntos 8 y 8' del plinto hasta cubrir 150 m después de la traza de casa de máquinas. El drenaje puede ser en esta galería tanto hacia la GD-3 como hacia una profundidad de elevación 356 aproximadamente.

MARGEN IZQUIERDA

En esta ladera se tienen cuatro galerías GI-1, GI-2, GI-3 y GI-4 localizadas a las elevaciones 550, 505, 455 y 390 respectivamente, que en el tramo principal, se localizan paralelas. Desde ellas se realiza la pantalla de impermeabilización de la cortina hacia el interior de la ladera izquierda, penetrando en ésta una longitud aproximada de 155.0 m la GI-1, cruza por la estructura de control del vertedor, haciendo un giro hacia el poniente, y continuando esta dirección más o menos 120 m, gira hacia el norte hasta ligarse al eje de la cortina y posteriormente sigue la traza del plinto.

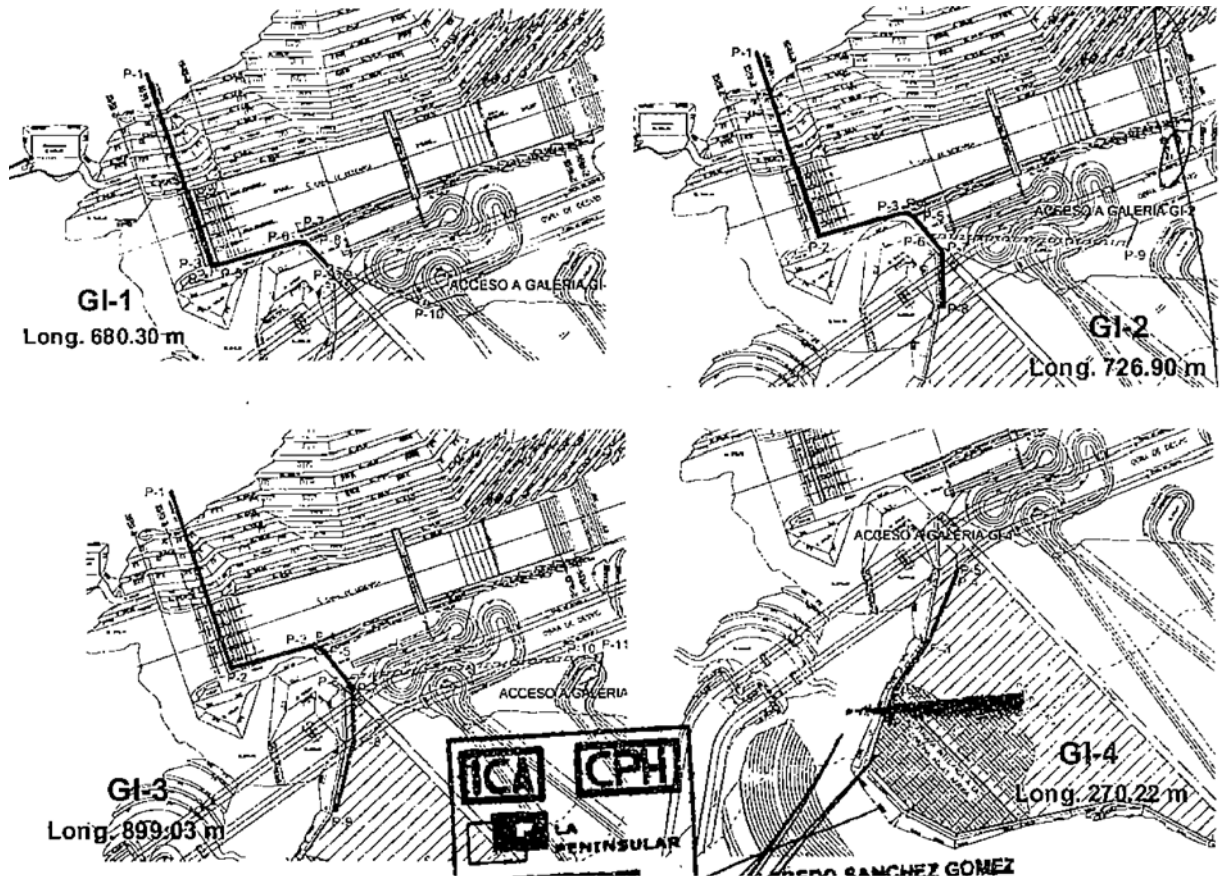


Figura 3.4

GALERÍA GI-1

El acceso es por la margen izquierda, aguas abajo y junto al paramento de la cortina a la elevación 543.58 después de 130 m de acceso, inicia la zona de tratamientos hasta cruzar el canal de vertedor penetrando en la ladera aproximadamente 155.0 m. La pantalla impermeable se ejecuta en 410 m de esta galería. Desde la superficie, hacia la GI-1, este tramo de pantalla se une al construido desde el plinto de la presa. La pantalla de drenaje se realiza desde la GI-1 hacia la superficie.

GALERÍA GI-2

El acceso es por la margen izquierda, aguas abajo y cercano al enrocamiento de la cortina a la elevación 505. La longitud de galería para tratamientos es de 483,6 m y un acceso de 278,9 m. Sigue la traza de los puntos 1,2,y 3 del plinto continúa ligeramente paralelo al muro oriente del vertedor cruza el vertedor y penetra en la ladera izquierda del vertedor aproximadamente 150 m. La pantalla impermeable se realiza desde la GI-2 hasta la GI-3, la pantalla de drenaje construye desde la GI-2 hacia arriba hacia la cota 550 aproximadamente.



GALERÍA GI-3

El acceso es por la margen izquierda, aguas abajo cercano al enrocamiento de la cortina en la cota 448,47, el acceso de la galería, tiene una longitud de 326,5 m y una longitud de tratamiento de 572,45. El desarrollo de la galería tiene una traza similar a la de la GI-2 llegando su desarrollo a la altura del punto 4 del plinto, por el otro extremo, penetra en la ladera aproximadamente 155 m. La pantalla de impermeabilización se ejecuta desde la GI-3 hacia la GI-4 y la pantalla de drenaje, de manera ascendente hacia la G1-2.

GALERÍA GI-4

El acceso indicado, es por el túnel de desvío No.1 a la elevación 390. La galería se desarrolla principalmente aguas abajo y atrás de la pantalla impermeable constituida bajo el plinto de la presa. Su utilidad es básicamente como galería de auscultación y reinyección de la pantalla durante la operación, en caso de ser necesario se excavar un tramo de galería de galería de acceso por la zona de recinto en la margen izquierda ya que dependiendo del volumen de obra a realizar desde esta galería, probablemente si se excava desde el túnel 1 los tiempos de ejecución de todas las actividades de esta galería queden muy comprometidos.

En la siguiente tabla se reporta el resumen de longitudes y elevaciones de las galerías:

MARGEN	GALERÍA	ELEVACIÓN msnm	LONGITUD M
Izquierda	GI-1	550,00	542.45
Izquierda	GI-2	505,00	726.90
Izquierda	GI-3	455.00	899.03
Izquierda	GI-4	390.00	214.96
Derecha	GD-1	530.00	512.06
Derecha	GD-2	480.00	770.61
Derecha	GD-3	430.00	774.41
Derecha	GD-4	395.00	716.32
			5156.74

La secuencia de excavación de las galerías ha sido establecida de acuerdo con el Programa General del Proyecto, considerándose que se trabaja de una manera simultánea las dos márgenes, cada una con su equipo correspondiente de excavación, revestimiento y equipos de inyección.

La margen derecha con el siguiente orden: GD-2, GD-1, GD-4 y GD-3

La margen izquierda con el siguiente orden: GI-4, G1-3, GI-2 y GI-1.



- ❖ Los planos y referencias topográficas autorizadas
- ❖ Contar con los manuales del fabricante de la cimbra, con el propósito de que las actividades por ejecutarse se efectúen con apego a los mismos.
- ❖ Los portales de entrada y la obra en sí, están señalados físicamente por el departamento de topografía en la ubicación de proyecto.
- ❖ Contar con las instalaciones eléctricas, de aire comprimido, agua técnica y de bombeo.
- ❖ El camino de acceso debe estar terminado, así como la plantilla de emportalamiento.
- ❖ Contar con las plantillas de barrenación y voladura autorizada.
- ❖ Para cada voladura, se calcula y solicita al polvorín el explosivo y artificios necesarios.
- ❖ Tener en condiciones el equipo a utilizar como: Jumbo Electrohidráulico Quasar de una pluma, un cargador frontal articulado Toro 400, maquinas perforadoras de pierna, bombas de achique, ventiladores y todas las instalaciones de servicios.
- ❖ La obra se llevara a cabo de una sola frente por vez, salvo se autorice lo contrario.
- ❖ Contar con el seccionamiento o levantamiento topográfico definitivo; y contar con las referencias topográficas autorizadas.
- ❖ Contar con las instalaciones eléctricas, de aire comprimido, agua técnica y de bombeo.
- ❖ Contar con el equipo, personal y materiales, para la ejecución de los trabajos.
- ❖ Se debe tener aprobada la dosificación del concreto bombeable.
- ❖ Contar con la losa del plinto ya colada, y el revestimiento de la galería realizado en los tramos donde se ejecutará la inyección y la pantalla de drenaje.
- ❖ Contar con los planos BPE y la tabla de ubicación e inclinación de cada barreno.
- ❖ Disponer de los equipos, materiales y personal suficiente para realizar las actividades además de las instalaciones de electricidad, aire y agua.
- ❖ Dosificación de la mezcla de inyección autorizada.
- ❖ Contar con las instalaciones de eléctricas, aire y agua.

PROCEDIMIENTO.

Antes de iniciar la excavación de cada galería se coloca un anclaje perimetral, con objeto de asegurar la boquilla de la galería y potenciales desprendimientos de bloques durante la excavación del emportalamiento.

La excavación de las galerías, en general, se realiza en una roca de regular a buena calidad, por lo que se ha programado excavar a sección completa mediante el método de perforación y voladura, con una longitud de avance por ciclo de 2,5 m.

De acuerdo con la calidad geotécnica de la roca y las dimensiones de la sección transversal de las galerías, se anticipa una excavación autosoportante, la cual no



requiere soporte temporal, en cualquier caso, están previstos recursos materiales y equipo para la eventual colocación de anclas y concreto lanzado.

El proceso de excavación de las galerías se puede describir con un ciclo de ocho actividades principales: Trazo, Barrenación, Carga, Disparo, Ventilación, Amacice, Rezagado y Soporte.

Trazo.- El inicio de cada ciclo de excavación puede considerarse a partir del Trazo, refiriéndose al control de la sección de excavación, así como la dirección y su pendiente; el trazo es marcado físicamente en el frente de ataque para dirigir la barrenación de la plantilla correspondiente, la cual es diseñada en función de la calidad de la roca, la sección de excavación, el diámetro de la perforación y las características propias del explosivo.

En general, si las condiciones de calidad de la roca se mantienen sin cambios significativos, se utilizan las plantillas de voladura anexas, las cuales han sido calculadas con los factores de carga recomendados para tres condiciones de calidad esperadas en la roca.

Cabe señalar que para facilitar las maniobras del equipo en el interior de las galerías y en caso de ser necesario, se construyen nichos en lugares estratégicos, ya sea para instalar equipos de inyección, libramientos, almacenamiento de material, etc. Lo cual es previsto desde la fase de trazo.

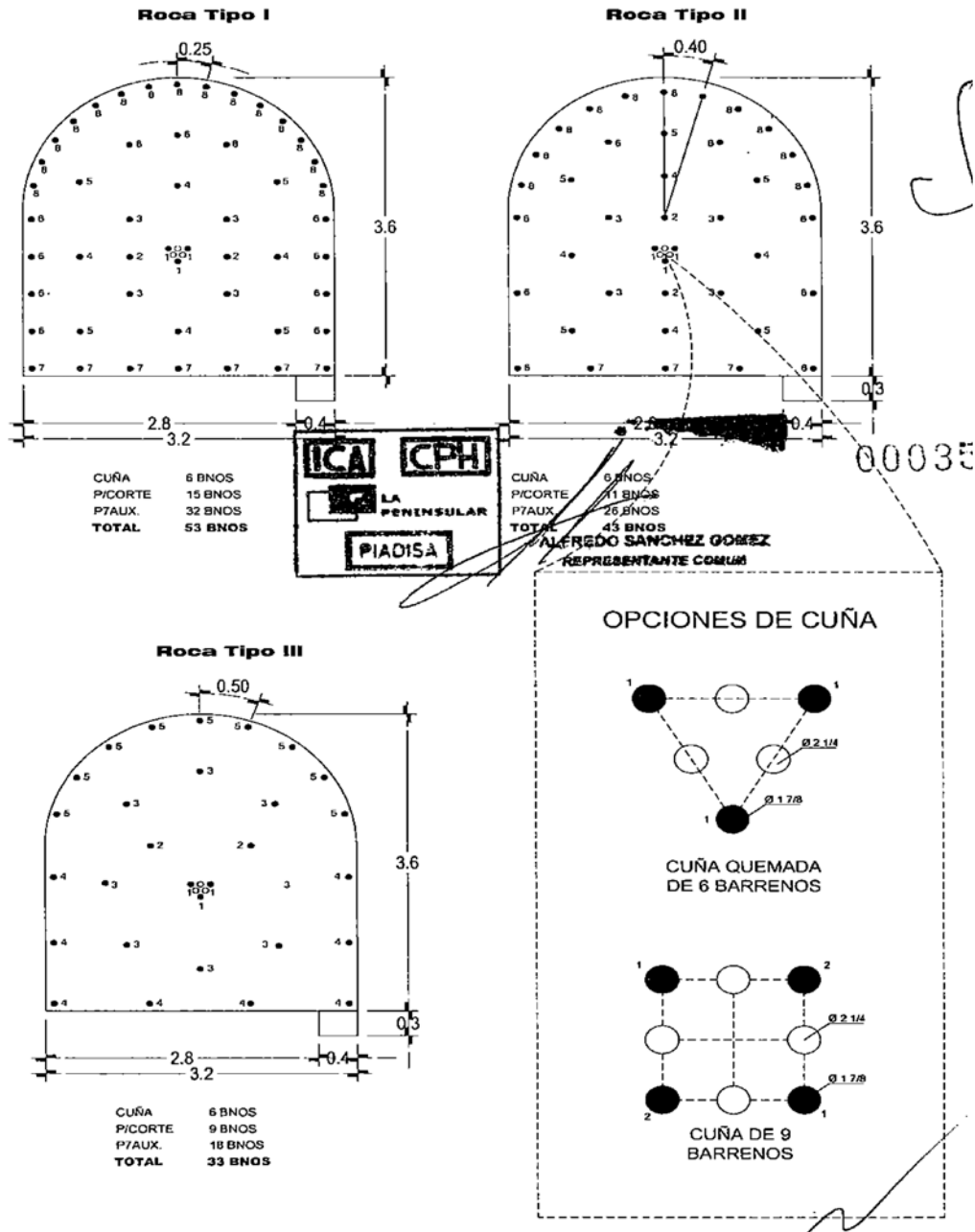


Figura 3.5. Plantilla de Barrenación

Perforación.- La perforación de los barrenos de la plantilla se realizan con un Jumbo electrohidráulico de un brazo, marca Tamrock modelo Quasar 1 F, o similar, con un diámetro de 46,7 mm (1 718") y una profundidad de 2,6 m, para asegurar un avance efectivo de 2,5 m por ciclo, en los casos de corregir subexcavaciones o cuando el jumbo electrohidráulico se encuentre fuera de servicio se prevé utilizar las perforadoras de pierna.

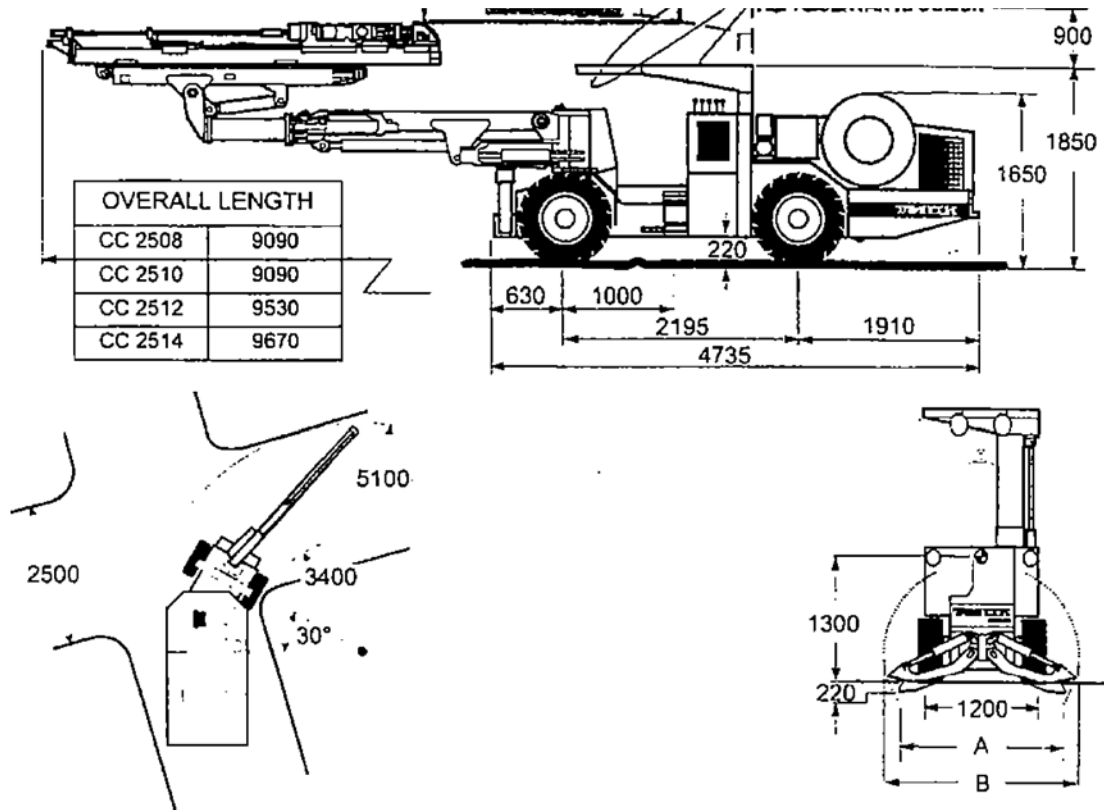


Figura 3.6. Jumbo electrohidráulico.

Una vez concluida la barrenación de la plantilla se procede a sopletear los barrenos mediante aire a presión a través de un tubo que se introduce hasta el fondo de cada barreno iniciando inmediatamente después la carga de los barrenos con explosivo, siguiendo el diseño de la plantilla de voladura; estas dos actividades en algunos casos pueden ser simultáneas.

Carga.- En el proceso de carga de los barrenos, se coloca una carga de fondo mediante alto explosivo, cebado con cordón detonante, dejando éste un metro más a partir de la boca del barreno, para encadenarlo con el resto de los barrenos; la carga generalmente se complementa con un agente explosivo (anfo) colocado con un cargador vénturi, dejando del orden de 50 cm libres del barreno para formar el taco con la arcilla, papel ó estopa.

La serie de barrenos ya cargados son encadenados a una línea general de inicio y se retardan con Noneles (Dispositivo para retardar la detonación) para secuenciar el disparo con los tiempos de desfogue previstos en la plantilla.

La línea general de inicio se conecta al cordón de seguridad (cañuela blanca en fulminante y conector) el fulminante es adherido al cordón detonante.

Disparo.- El disparo de la voladura es iniciada con el conector, una vez que se ha retirado el personal del frente. Cada voladura es previamente notificada a todas las áreas de construcción que tengan riesgos de proyecciones o afectaciones por vibraciones.

Ventilación.- Los gases producto de la voladura se disipan mediante la inyección de aire fresco con un ventilador eléctrico de 15 000 PCM y 61 cm (24") de diámetro a través de una tubería flexible desde el portal hasta el frente de excavación, esta tubería estará a no más de treinta metros del frente, disipados los gases se realiza un regado por aspersión sobre la rezaga para eliminar los polvos e iniciar las actividades subsiguientes del ciclo.

Amacice.- Antes de iniciar el retiro del material de rezaga se realiza el amacice, que consiste en desprender de manera vigorosa los materiales dislocados de la superficie de excavación, mediante barretas o con el propio cucharón del equipo de rezagado.

Rezaga.- El material producto de la excavación será retirado mediante un cargador frontal articulado, EJC 210 de bajo perfil, o similar, y será depositado o almacenado en los bancos autorizados.

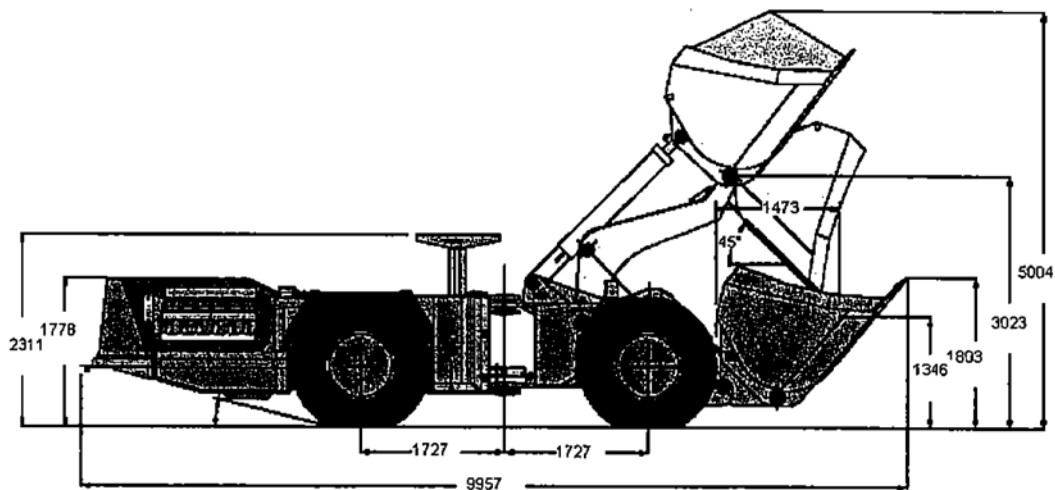


Figura 3.7. Vista lateral del cargador frontal EJC 210

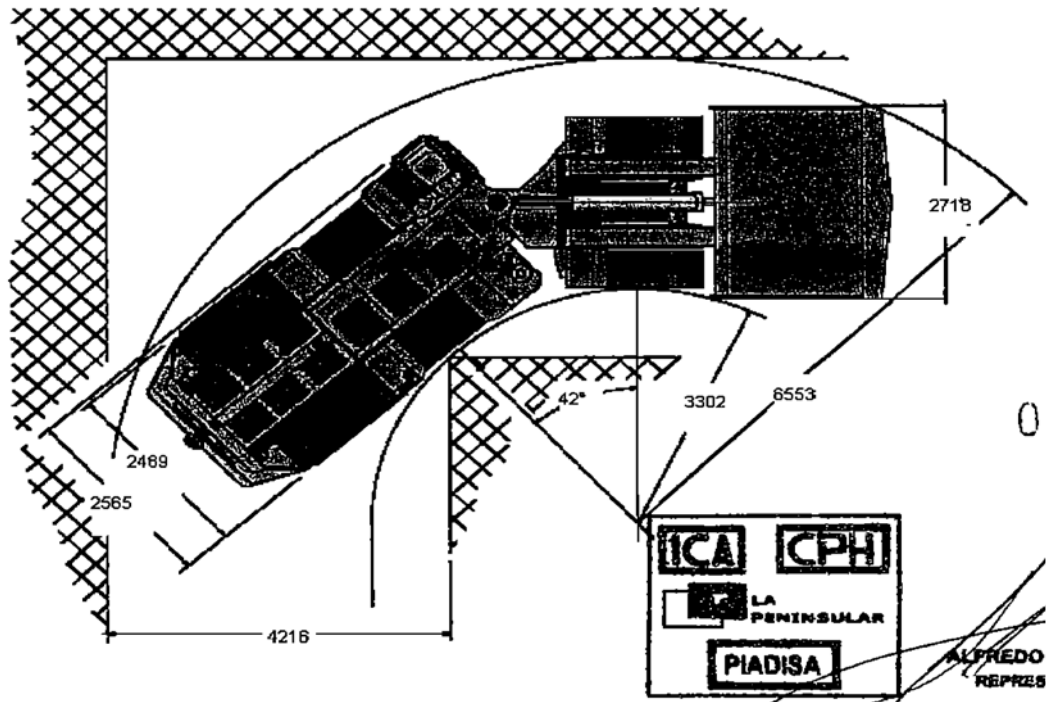


Figura 3.8. Vista en planta del cargador EJC210

REVESTIMIENTO

Secuencia del Procedimiento.- El revestimiento se realizará con un juego de cimbra para cada una de las márgenes siguiendo el orden indicado en el procedimiento.

Planteamiento general.- Se va a llevar a cabo en dos etapas. La primera etapa abarca el colado de la losa de piso y guarniciones laterales de la sección transversal, y como segunda etapa y final es el revestimiento simultáneo de los muros laterales y arco de la sección. Teniendo el avance necesario en la cubeta, se procede a colocar el acero de refuerzo en la zona de muros y clave.

Instalaciones previas.- Agua técnica; es transportada y suministrada mediante la utilización de una camión cisterna, hasta un tanque de almacenamiento de 10, 000 litros. En el interior de la galería se coloca una línea de tubería de acero de 3" de diámetro.

Aire comprimido para el servicio de los vibradores, limpieza y lavado de tuberías y limpieza del piso de desplante, etc. Se instalará una línea de tubería de acero de 4" de diámetro.

Instalación eléctrica; para contar con iluminación suficiente y efectuar los trabajos indicados en el procedimiento, en áreas sin iluminación natural.

Trazo.- Una brigada de topografía es la encargada de llevar a cabo el conjunto de señalamientos mediante marcas fijadas en el terreno que sirven para indicar líneas, ejes, elevaciones y referencias de la obra, para su ejecución de acuerdo con el proyecto.



Durante el movimiento de la cimbra para su colocación, nivelación y fijación, la brigada de topografía revisa el alineamiento correcto.

Limpieza del área por colar.- Se realizará la extracción del material suelto, retirando todo el material que resulte inadecuado para recibir el colado de piso, retirando el material grueso, se lleva a cabo una limpieza con aire comprimido hasta dejar completamente limpia y sin material suelto. Una vez colocados el acero de refuerzo y cimbra; antes de proceder a la colocación del concreto, se debe de humedecer con agua, toda el área por colar.

Habilitado de acero de refuerzo.- Los cortes y dobleces de las varillas indicados en el plano de armados, se harán en el taller de habilitado de acero de refuerzo.

Colocación del acero de refuerzo.- Previo al armado; y en el sitio donde se coloque acero de refuerzo, se colocan marcas y/o referencias topográficas para garantizar que el acero de refuerzo quede al nivel o elevación, de acuerdo al proyecto.

Para la colocación del acero de refuerzo, se colocan silletas o varillas, para el soporte del armado, así asegurando que todo el acero de refuerzo quede en su lugar durante todo el colado y fraguado.

El armado se ejecuta manualmente utilizando oficiales fierreros apoyados con ayudantes.

El amarre se efectúa con alambre recocado para evitar desplazamientos durante el colado del concreto.

El diámetro y longitudes, longitudes de anclajes o traslapes, del acero de refuerzo, son de acuerdo a lo indicado en el proyecto ejecutivo. Los extremos traslapados de las varillas, son amarrados con alambre recocado.

No se deben realizar soldaduras en las varillas para tener continuidad de las mismas.

En el momento de colocar el concreto, el acero de refuerzo debe estar libre de óxido abundante suelto o en escamas, aceites u otro material que puedan reducir la adherencia del acero con el concreto.

En el momento de colocar el concreto, el acero de refuerzo debe estar libre de óxido abundante suelto o en escamas, aceites u otro material que puedan reducir la adherencia del acero con el concreto.

Cimbrado y descimbrado.- El cimbrado y colado se hará siempre en dos partidas independientes. La primera partida comprende el molde para la guarnición y berma lateral de drenaje. Este equipo se compone de tres paneles metálicos interconectados entre sí a través de una estructura transversal que define con exactitud el ancho requerido de la sección transversal de la galería. Cada conjunto de tres paneles será fabricado en tramos



de tres metros y podrán ser desarmados rápidamente para poder ser colocados en su siguiente posición en forma manual. La longitud total es de 9,00 m.

La segunda partida contempla los moldes para realizar los colados monolíticos, de los muros y clave de las galerías. El molde correspondiente a esta sección está resuelto mediante la utilización de dos paneles articulados entre sí en la parte superior que resuelven tanto el arco como las paredes laterales.

En la parte inferior de los paneles se cuenta con puntales verticales de soporte y nivelación que servirán para bajar las cargas de concreto al piso de la galería, así como también de lograr la liberación de la carga para poder llevar a cabo el descimbrado correspondiente. De la misma manera en la parte inferior se cuenta con soportes y puntales horizontales que funcionan como troqueles telescópicos para tomar las cargas horizontales del concreto.

El ancho típico de panel es de 1,50 m y la longitud total del molde es de 9.00 m. Las juntas de la cimbra son herméticas para que la vibración no produzca fugas de mortero.

Este molde va a ser colocado y descimbrado con el apoyo un transportador especialmente diseñado para llevar a cabo los trabajos de transporte, ubicación en la siguiente posición de colado del molde; así como de su nivelación y alineación correspondiente.

La cara de la cimbra se va a tratar con un agente desmoldante para evitar que el concreto se pegue a éstas, y así pueda ser más fácil el descimbrado.

Durante las maniobras de colocación, nivelación y sujeción de las cimbras apoyará la brigada de topografía, revisando su alineamiento correcto y recubrimiento adecuado del acero de refuerzo.

El sistema cuenta con cilindros hidráulicos manuales para llevar a cabo el desmolde vertical del equipo. Este sistema ayuda a descimbrar sin deteriorar el molde.

Transporte del concreto.- El concreto es premezclado y llega al frente listo para usarse. Se transporta de la planta de concreto al sitio de colado utilizando ollas revolventoras que prevengan la segregación o pérdida de ingredientes, que preserven la trabajabilidad requerida del concreto. En los pedidos de concreto por olla, podrán ser hasta de 7 m³, por viaje. Dichos camiones con olla revolventora son de eje inclinado y de descarga posterior. Este utiliza aletas pegadas al tambor para agitar y las mismas aletas descargan el concreto cuando se invierte la rotación del tambor.

Es ventajoso contar con radio entre el sitio de localización de la bomba y la planta de mezclado y dosificación, a fin de controlar mejor la entrega del concreto y evitar retrasos y desperdicios de concreto. Con ello, se busca que el concreto se entregue en el sitio a un ritmo uniforme compatible con el equipo y la mano de obra que se use para el proceso de colocación del concreto.



Bombeo de concreto.- Para el bombeo de concreto se utilizará una bomba de pistón; consiste de una tolva de recepción equipada con paletas remezcladoras, dos cilindros para bombeo y una válvula por medio de la cual se controla el flujo de concreto dentro de los cilindros y de éstos hasta la línea. Uno de los cilindros recibe el concreto de la tolva alimentador y el otro descarga en la tubería hacia el área de colocación.

El concreto bombeado se mueve como un cilindro que viaja sobre una delgada capa lubricante de lechada. Para obtener esta película lubricante al principio de la operación de bombeo, la primera mezcla bombeada a través de la línea de tubería de bombeo, debe ser la lechada apropiadamente dosificada. Para lechadear la línea de tubería de bombeo, la bomba se debe operar, hasta que la línea de tubería de bombeo se lubrique por completo.

Se utilizará una línea de tubería de bombeo basándose en tubos de acero de 5" de diámetro interior, en tramos de 3 m. También se instalarán codos de radio amplio donde se requieran.

El bombeo debe ser continuo. Cuando ocurra alguna demora debido a tardanzas en la entrega del concreto, se debe disminuir la velocidad de la bomba, pero manteniéndola con algo de movimiento del concreto para evitar obstrucciones. Si después de una demora no se puede mover el concreto en la línea, será necesario vaciar una o varias secciones de la línea entera, y volver a empezar.

Siempre al finalizar el colado, se debe lavar la línea de tubería de bombeo para darla limpia y lista para el próximo colado; para ello, cuando ya se haya vaciado el concreto último por colocar y se tenga la tolva de recepción vacía, se desacopla el sistema de descarga de la tolva y se coloca una pelota de esponja y el diablo, nuevamente se acopla la tubería de bombeo con la brida rápida y se inicia a lenta velocidad a bombear agua, hasta que la pelota de esponja y el diablo hayan sido recuperados en el sitio de colocación del concreto, para entonces la línea de tubería de bombeo ya quedó completamente vacía de concreto y nuevamente se introduce el diablo en la tubería, de regreso, utilizando aire comprimido para recuperar el diablo en la salida de la línea de tubería de concreto que se regresa a la tolva de la bomba. Ahí para que el diablo no golpee nada, se coloca un accesorio llamado recogebolas.

Colocación del concreto.- Se pretende colocar el concreto en forma monolítica en tramos de 9,00 m. El concreto que va a ser colocado en el molde para los muros laterales y clave de la galería, primero va a descargar hasta llenar las ventanas laterales con las que cuenta la cimbra, descargándose el concreto con una manguera flexible, enseguida se cierran las ventanas y se descarga el concreto por las boquillas que tiene la cimbra a lo largo de su clave. La colocación tiene que ser apoyada con la utilización de vibradores neumáticos de pared que se van ir instalando en lugares estratégicos. Estos vibradores son trasladables; la base queda permanentemente colocada en la cimbra y el vibrador sólo una pieza móvil que ofrecen una fijación rápida. El vibrado consistirá en someter al concreto a una serie de sacudidas con frecuencia elevadas que permitan una buena eliminación de aire atrapado y un mínimo de cavidades en la superficie.



En los colados del piso y guarniciones laterales de la sección transversal, se utilizará vibradores neumáticos de chicote de 5 cm (2") de diámetro, introduciendo el pivote en sentido vertical a distancias uniformes en toda el área. El vibrador se debe hacer penetrar por peso propio, y retirarlo lentamente para expulsar la mayor cantidad de aire atrapado.

Acabado.- Las piernas o pernos sujetadores de la cimbra van a dejar agujeros pequeños, su diseño permite que se quiten, sin descascarar el concreto circundante, y se prevé hacer el relleno de los hoyos dejados por los sujetadores de la cimbra. Se realiza un parche seguro, colocando un mortero que alcance la misma resistencia del concreto utilizado.

Junta de construcción.- Una vez estando la cimbra colocada, en un extremo de la cimbra requiere colocar un tapón, entre la pared de roca y la cara de contacto de la cimbra; para ello se utilizará pedacería de barrotos de madera de 5 x 10 cm (2" x 4"), amarrándolos con torzales de alambre recocido y poniendo pedazos de papel donde se requiera de calafatear.

La superficie de todas las juntas de construcción que se tengan, se limpian y preparan adecuadamente para asegurar una correcta adherencia con el concreto adyacente. Una vez terminado el colado y que el concreto haya endurecido lo suficiente, se procede a quitar el tapón de tiras de madera y se inicia a remover la nata, con una barreta manual, para dejar descubierto el agregado.

La superficie limpia de la junta de concreto debe estar saturada y superficialmente seca al momento que se coloque sobre ella nuevo concreto.

Curado.- Se utilizará un líquido listo para aplicar, formulado basándose en p meros acrílicos especiales y disolventes de evaporación rápida que cura y selle eficazmente el concreto recién colado; forma una película que evita la evaporación excesiva de agua.

El curado en el concreto debe iniciarse lo más pronto posible, después de haber descimbrado, para impedir haya agrietamiento por contracción. Se aplicará una mano de curacreto blanco utilizando un rodillo para pintar, a toda la superficie, excepto en el piso ya que es resbaloso.

Control de calidad del concreto fresco.- Desde el inicio de las actividades de colocación del concreto, el laboratorio de control de calidad hará un muestreo en todos los colados, con el objeto de llevar a cabo un control estadístico del concreto colocado. Estas muestras son una serie de seis cilindros fabricados en planta y/o en campo, según se requiera, para ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días.

La frecuencia de muestreo debe ser de acuerdo al volumen fabricado de la siguiente manera; menos de 30 m³, no deben fabricarse cilindros a reserva de requerirse por su importancia. Para volúmenes de concreto entre 30 a 200 m³, se debe elaborar especímenes cilíndricos de concreto, una serie de seis cilindros de 15 x 30 cm.

Además en los suministros de concreto, en cada olla, irá acompañado con una remisión en la que se controle y se anoten los siguientes datos; número seriado en cada hoja, fecha, hora de elaboración de la revoltura, volumen de la revoltura en m³ de concreto, tipo de cemento y cantidades reales de los insumos utilizados en la mezcla, revenimiento y temperatura del concreto ya mezclado, lugar de destino, se indique la resistencia del concreto, espacio para firma de quién lo recibe, con copia para supervisión, hora de llegada al sitio de colado y hora de descarga de la revoltura.

3.5.1.1. PROCEDIMIENTO: PERFORACIÓN E INYECCIÓN.

Actividades básicas, de forma general se dividen las actividades de la siguiente manera:

- Perforación
- Lavado del barreno
- Saturación
- Inyección de la roca
- Pruebas de permeabilidad

Perforación.- La perforación para la consolidación, se realiza con equipos de roto percusión con el martillo integrado en la parte superior y/o con martillo en el fondo del barreno. La profundidad para los barrenos del tapete de consolidación por lo general es de 20 metros y se realizan en las preparaciones dejadas durante el colado del plinto (Foto 1). El rumbo y la inclinación serán los que indique el proyecto.

La perforación se realiza en una sola operación desde que se inicia hasta la profundidad que indique el proyecto.

La perforación se realiza con equipo track-dill o similar, con unidad de rotación y martillo.



Foto 3.9. Equipo de Perforación.

La profundidad de estos barrenos es del orden de 50 m y de los barrenos de exploración pueden alcanzar longitudes hasta de 80 metros, de acuerdo a como se presenten las condiciones geológicas.



Estos barrenos están ubicados sobre una línea a todo lo largo del plinto y separados a 3 metros uno de otro, para mayor facilidad, se identifican de la siguiente manera:

Barrenos de exploración	a cada 24 metros
Barrenos de 1ª etapa	a cada 12 metros
Barrenos de 2ª etapa	a cada 6 metros.
Barrenos de 3ª etapa	a cada 3 metros.

En los casos que se encuentre con roca de mala calidad que impida el avance de la perforación, se procederá a inyectar la zona inestable de acuerdo a lo especificado y posteriormente reperforsarse para continuar con la perforación del barreno hasta la longitud de proyecto.

Perforación para pantalla de drenaje.- Esta pantalla se realizará una vez que hayan concluido los tratamientos de inyección para que no exista el riesgo de que la lechada de inyección tapone cualquier barreno de drenaje.

Se utilizará para perforar toda la pantalla, una perforadora del tipo track-drill o similar, de accionamiento neumático o hidráulico equipado con martillo de fondo y un diámetro de 76 mm (3").

La orientación, rumbo y profundidad de los barrenos, se realizará de acuerdo a lo indicado en los planos correspondientes.

Lavado del barreno.- El lavado se realizará en todos y cada uno de los barrenos para tratamientos indicados en el proyecto y consiste en la limpieza mediante agua y aire a presión introduciéndolos al barreno por medio de un chiflón o tubo perforado, con los orificios orientados hacia las paredes y con la presión necesaria para poder desalojar el detritus de la perforación, de caídos de roca, de la inyección, así como las partículas que se encuentren sueltas en las paredes del barreno. Esta limpieza se considera concluida cuando el agua retorna limpia del fondo del barreno.

Saturación previa.- En la zona que se encuentre por arriba del nivel de aguas freáticas (NAF) y antes de iniciar la inyección, se debe saturar la roca. El NAF se podrá medir mediante la utilización de una sonda piezométrica.

Se debe realizar en tramos de 20 m colocando el obturador en la parte superior de la progresión por saturar, inyectando agua a una presión de 10 kg/cm^2 durante 30 minutos, o un volumen máximo de 200 litros por metro. La saturación se inicia por el tramo más profundo del barreno y se continúa en forma ascendente hasta los tramos superiores.

Para los tramos donde se alcance la presión de 10 kg/cm^2 , se debe seguir un criterio basado en el de gasto constante, que consiste en aplicar la presión de 10 kg/cm^2 , medir el gasto cada 3 minutos, cuando el gasto se estabilice se continuará la inyección de agua por espacio de 5 minutos más, en este punto se da por saturado el tramo.



Tratamientos especiales para refuerzo de taludes.

Inyección.

Mezcla de inyección.- En los tratamientos de inyección de consolidación, pantalla profunda y contacto concreto roca, por medio de lechada de cemento se usará una mezcla con la dosificación de referencia que se menciona en la siguiente tabla. Para el plinto, se usará únicamente en las laderas, dado que en el cauce del río se empleará una dosificación diferente.

La mezcla que se utilizará en el proyecto, será la que cumpla las propiedades indicada en las especificaciones de construcción de obra civil d P.H. La Yesca.

Para el tratamiento del macizo rocoso microfisurado o con presencia de material arenoso, como es el caso de la zona del cauce, se empleará una mezcla a base de agua-cemento-aditivo superfluidizante, adelgazante y estabilizador de volumen, con una resistencia a la compresión simple a la edad de 28 días de 7,8 MPa (80kg/cm²). La dosificación de referencia es la siguiente:

Relación agua/cemento	de 0,8/1 a 1,2/1
Aditivo estabilizador de volumen	de 1% a 3% (opcional bentonita)
Aditivo superfluidificante	de 0,5 % a 1,5%
Aditivo adelgazante	de 3% a 5% (opcional - humo de sílice)

La dosificación definitiva que se emplee para los tratamientos de inyección de impermeabilización y consolidación de la roca, se determinará en función de los resultados obtenidos de los ensayos que se realicen a los materiales del sitio.

En el caso que así se requiera, se podrá adicionar a la mezcla un acelerante de fraguado (silicato de sodio con una concentración o densidad de 40° Baumé u otro similar).

Elaboración de la mezcla de inyección.

La mezcla de inyección se prepara en un turbo mezclador de 1500 r.p.m. (Foto 3) adicionando en el siguiente orden los materiales: agua, aditivo estabilizador de volumen, cemento y por último el aditivo fluidificante; una vez que se haya vaciado el último componente de la mezcla, ésta debe mantenerse en agitación en el turbo mezclador de 1 a 3 minutos. Posteriormente se envía a un agitador de bajas revoluciones para mantener en suspensión las partículas de sólidos, en espera de ser inyectada al barreno.

De acuerdo al volumen que se tiene planeado inyectar, se constituirán estaciones móviles, que se ubicaran en sitios estratégicos tanto sobre el plinto como en el interior de las galerías, respetando siempre, el que ningún barreno quede a más de 70 metros del sitio de producción de lechada.

Procedimiento de inyección.- Una vez realizada la limpieza y la saturación del barreno se inicia la inyección, la cual será ejecutada mediante progresiones ascendente de 5 m de longitud; la primera progresión corresponde al tramo del fondo del barreno y se establece aislando un obturador a la profundidad necesaria para instalar una longitud libre de 5 m.

Las progresiones siguientes se efectúan de manera continua, inmediatamente después de concluida cada progresión previa, reinstalando el obturador 5 m por encima del nivel anterior.

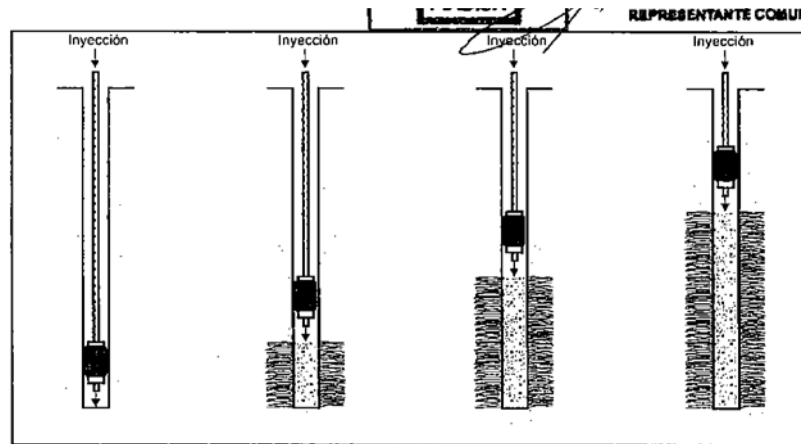


Figura 3.10. Inyección por Progresiones Ascendentes de 5 m.

La última progresión en cada barreno corresponde al tramo superficial, cuya longitud resulta variable, colocando el obturador a una distancia no menor de 0.50 m por debajo del contacto concreto-roca del plinto.

Una vez iniciada la inyección no debe suspenderse, por ninguna causa, dado que debe ser un proceso continuo de principio a fin, sin embargo, en caso de ocurrir así, se debe lavar el carril del barreno empleando un volumen del orden de 200 litros de agua; posterior a esto, se debe iniciar nuevamente la inyección del tramo.

El proceso de inyección se realiza con el criterio del método GIN tanto para el tratamiento de consolidación como para la pantalla de impermeabilización, adoptando una GIN y los parámetros máximos de presión y volumen indicados, en especificaciones de Construcción de Obra Civil.

Se considera que en función de las cargas hidráulicas del embalse y posterior a las pruebas de inyección realizadas in situ, los valores GIN de referencia a utilizar son las curvas: 59, 98 y 137 MPa/l/m (600, 1000 y 1400 kg/cm²/l/m, respectivamente) para las elevaciones 580 a 495, 495 a 410 y 410 a 325 respectivamente.

Durante el proceso se debe monitorear la evolución de la presión registrada en el manómetro instalado en el brocal del barreno, dando incrementos de 5 kg/cm², así como llevar un registro del volumen de mezcla inyectado en litros por metro (l/m), hasta interceptar la curva o trayectoria GIN.



El gasto mínimo para considerar sellado un tramo debe ser menor de 5 litros/minuto/tramo.

En el método GIN, se considera sellada una progresión cuando ocurre cualquiera de los siguientes eventos; se llega a la presión máxima, se llega al consumo máximo por metro o se intersecta la, curva PxV, en el caso especial del P.H. la Yesca, el criterio que se empleará para decidir si una progresión ha sido sellada correctamente, se encontrará indicado en las especificaciones de construcción de obra civil del P.H. La Yesca.

Desde el inicio hasta el final de cada barreno inyectado, se debe llevar un registro detallado del comportamiento de cada progresión. Para efectuar el control de los procesos de inyección se empleará un sistema automatizado en el que se muestra gráficamente los parámetros de ejecución como: Presión de inyección medida en el brocal del barreno en MPa, volumen total inyectado de lechada en litros y el tiempo en minutos. Con estos parámetros se deben elaborar las gráficas de control de inyección: Presión (MPa) vs Volumen (l/m), Presión (MPa) vs Tiempo (min) y la gráfica Gasto (l/min) vs Tiempo (min).

La inyección de cada progresión se dará por concluida cuando se alcance cualquiera de las tres condiciones siguientes: presión máxima especificada, intersección de la curva GIN o volumen máximo establecido.

Inyección de contacto concreto roca.- Esta inyección, se realizará colocando el obturador 0,20 m por arriba del contacto concreto roca a la presión que especifique la CFE.

En el plinto la presión de inyección debe ser de 0,2 MPa (2 kg/cm²), manteniéndola durante 5 minutos y/o un volumen máximo de 200 litros de lechada.

Orden de inyección.- Los tratamientos se ejecutarán mediante tres etapas de inyección, iniciando con la Etapa 1 con separación de barrenos @ 12 m, la Etapa II @ 6 m y la Etapa III@3m.

En el plinto, los barrenos que se localicen @ 24 m se profundizarán hasta 70 m en la zona del cauce y hasta 60 m en la porción media a alta de ambas laderas. Para el caso de las galerías inferiores de ambas márgenes, se considerará de manera selectiva la profundización de barrenos de primera etapa que se ubiquen @ 48 m.

La inyección de pantalla lleva el siguiente orden; se limita la zona de inyección en tramos de 24 metros tomando como extremos dos barrenos de exploración; una vez perforados e inyectados, se continúa con el barreno de la etapa, a 12,0 metros, siguiendo con los intermedios de 2a, a cada 6,0 metros y cerrando con los de la 3ra etapa, a cada 3,0 metros en caso de ser necesario, se realiza una 4a etapa a cada 15 metros.

Para la inyección de consolidación se lleva la misma modulación que para la pantalla profunda, aunque el orden de ejecución debe hacer según indique la especificación de Construcción de Obra Civil de La Yesca



Pruebas de permeabilidad.- Estas se realizan en los sitios seleccionados por Comisión, ya sea para conocer la permeabilidad inicial o natural de la masa de roca, o bien, para verificar la eficacia del tratamiento en la misma.

La perforación se realiza en progresiones descendentes de 5,0 m, realizando en cada progresión la prueba Lugeon correspondiente, hasta llegar a la longitud de proyecto, finalmente se inyecta el barreno siguiendo el mismo criterio de inyección para esa zona.

Retaque final del barreno.- Transcurridas 24 horas de haberse terminado la inyección de un barreno, se limpiará con aire a presión y se llenará con un mortero que cumpla con las Especificaciones de Obra Civil de La Yesca.

3.5.2. PROCEDIMIENTO:

DETALLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE GENERACIÓN.

El procedimiento comprende de:

1. Las excavaciones para portal de salida del túnel de desfogue, obra de toma y portales de galerías de inyección y drenaje.
2. La excavación y revestimientos del túnel de acceso a la casa de máquinas, y galería de oscilación, así como el túnel de desfogue.
3. Las excavaciones y concretos en la casa de maquinas, la galería de oscilación y las lumbreras de buses, ventilación y cables.

3.5.2.1 Excavaciones para portal de salida del túnel desfogue, obra de toma y portales de galerías de inyección y drenaje.

La descripción del procedimiento constructivo para las excavaciones incluidas en este fragmento consta de tres frentes, todos en sitios a cielo abierto los cuales forman parte de los trabajos preliminares para llevar a cabo las excavaciones subterráneas posteriores de dichos frentes, los cuales se describen a continuación:

- a) Excavaciones para el portal de salida del túnel de desfogue
- b) Excavaciones para la obra de toma y
- c) Excavaciones para los portales de galerías de inyección y drenaje.

OBJETIVO

Establecer la metodología que debe seguirse para la excavación en portal de salida del túnel de desfogue, obra de toma y portales de galerías de inyección y drenaje

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos en portal de salida del túnel de desfogue, obra de toma y portales de inyección y drenaje.



Portal de salida túnel Desfogue.- Se inician los trabajos con la construcción del camino de acceso al sitio de excavación del portal del túnel de desfogue.

Esta excavación se ejecuta de la berma 1 elev. 507 a la berma 5 elev. 426 en donde se libera la excavación para el túnel de acceso a casa de maquinas. Se continúa la excavación de la berma 6 elev. 426 a la berma 7 elev. 388.50 liberando así la media sección superior (MSS) del túnel de desfogue. A continuación se excava la berma 8 elev. 381.50 y se libera la media sección inferior (MSI) del túnel de desfogue dejando un bordo de protección (berma 9) a la elevación 402 que es la cota de seguridad señalada por CFE. El bordo de protección (berma 9) se excavara antes del inicio de pruebas con agua de la primera unidad.

Se retira primeramente el material atacable por medios mecánicos con uso de tractor de orugas tipo CAT D8 o similar. Se continua la excavación con uso de explosivos con banqueos variables con altura mínima de 6.0 mts. Y podrán variar dependiendo de la velocidad de partícula que se obtenga en la voladura en común acuerdo con CFE. Se efectuaran trabajos de precorte en los límites de la excavación. Las voladuras serán secuenciadas con el uso de noneles (iniciadores no eléctricos) para controlar la carga de explosivo por tiempo y en consecuencia minimizar la vibración, el sonido y las piedras al vuelo.

El material excavado será cargado mediante cargadores sobre neumáticos tipo CAT 990 o similar y depositados sobre camiones CFC tipo 773 o similar. El material producto de la voladura será calificado por su granulometría para definir su destino como aprovechable o como desperdicio.

El desperdicio será enviado a los bancos señalados en los planos de plataformas y bancos, y por los caminos indicados en el plano de vialidades, indicados en el proyecto.

El material aprovechable podrá ser enviado directamente a la cortina o a los bancos de almacén señalados en el mismo plano de plataformas y bancos.

En los bancos de almacenamiento con un tractor sobre orugas tipo CAT D6 se extenderá y se acomodara el material.

Obra de toma.- Se inician los trabajos con la construcción del camino de acceso al sitio de excavación de la obra de toma.

La excavación se inicia con las bermas 1 elev. 600 y bermas 2 elev. 580 liberando así la plataforma para operación de compuertas y lumbrera de ventilación de casa de maquinas. Continuando la excavación con la berma 3 elev 580 a la berma 4 elev. 554 y de la berma 5 elev. 554 a la berma 6 elev. 524 y finalmente la excavación de la berma 7 elev 524 a la berma 8 elev. 494,26

Se retira primeramente el material atacable por medios mecánicos con uso de tractor de orugas tipo CAT D8 o similar. Se continúa la excavación con uso de explosivos con banqueos variables con altura mínima de 6 metros. Y podrán variar dependiendo de la velocidad de partícula que se obtenga en la voladura en común acuerdo con CFE. Se efectuaran trabajos de precorte en los límites de la excavación.



Las voladuras serán secuenciadas con el uso de noneles (iniciadores no eléctricos) para controlar la carga de explosivo por tiempo y en consecuencia minimizar la vibración, el sonido y las piedras en vuelo.

El material excavado será cargado mediante cargadores sobre neumáticos tipo CAT 990 o similar y depositados sobre camiones CFC tipo 773 o similar.

El material producto de la voladura será calificado por su granulometría para definir su destino como aprovechable o como desperdicio.

El desperdicio se envía a los bancos señalados en el plano de plataformas y bancos; y por los caminos indicados en el plano de vialidades. Así mismo el material aprovechable podrá ser enviado directamente a la cortina o a los bancos de almacén señalados en el mismo plano de plataformas y bancos.

En los bancos de almacenamiento con un tractor sobre orugas tipo CAT D6 se extenderá y se acomodará el material.

Los tratamientos se efectuarán de la forma descrita en la plataforma de subestación eléctrica en el capítulo 7.1 de este procedimiento.

Portal de galerías de inyección y drenaje. Se inician los trabajos con la construcción de los caminos de acceso a los portales de las galerías de inyección y drenaje.

La excavación de los portales de las galerías de inyección y drenaje se realizan en un solo banqueo de la elevación de terreno correspondiente a cada portal, hasta llegar a piso de proyecto.

El material podrá ser excavado por medios mecánicos o con uso de explosivos, utilizando tractor sobre orugas CAT D8 o similar y perforadoras tipo hidrotrack ranger 500 o similar. Será cargado mediante cargadores sobre neumáticos tipo CAT 990 o similar y acarreados sobre camiones CFC tipo 773 o similar.

El material producto de la voladura será calificado por su granulometría para definir su destino como aprovechable o como desperdicio.

El desperdicio será enviado a los bancos señalados en el plano de plataformas y bancos; y por los caminos indicados en el plano de vialidades. Así mismo el material aprovechable podrá ser enviado directamente a la cortina o a los bancos de almacén señalados en el mismo plano de plataformas y bancos.

En los bancos de almacenamiento con un tractor sobre orugas tipo CAT D6 se extenderá y se acomodará el material.

Los tratamientos se efectuarán de la forma descrita en la plataforma de subestación eléctrica del procedimiento.



3.5.2.2. PROCEDIMIENTO: Excavación y revestimientos del túnel de acceso a la casa de máquinas, galería de oscilación y túnel de desfogue.

La descripción de los procedimientos constructivos a detalle que se encuentran en este apartado se presentan en cuatro documentos, para el túnel de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación, se presenta uno para la excavación y otro para el revestimiento, mientras que para el túnel de desfogue se incluyen de igual manera uno para excavación y otro para revestimiento.

Procedimiento

- Procedimiento detallado para la excavación del túnel de acceso a la casa de maquinas y galería de oscilación.
- Procedimiento detallado para la excavación del túnel de desfogue.
- Procedimiento detallado para el revestimiento del túnel de acceso a la casa de maquinas y galería de oscilación.
- Procedimiento detallado para el revestimiento del túnel de desfogue.

OBJETIVO

Establecer la metodología que debe seguirse para la excavación del túnel de acceso Casa de máquinas y Galería de Oscilación para el proyecto hidroeléctrico La Yesca.

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos de excavación de los túneles de acceso a Casa de maquinas y Galería de Oscilación con uso de explosivos, para el proyecto hidroeléctrico La Yesca.

Descripción del procedimiento.

Las obras de generación se ubicarán en la margen derecha y comprenden: túnel de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación, túnel de desfogue, la caverna de casa de máquinas, la galería de oscilación, túneles de aspiración, obra de toma y la conducción o tuberías a presión, como estructuras principales. Además, se incluyen en el proyecto túneles auxiliares de construcción, galerías, lumbreras de buses y ventilación, entre otros.

A continuación describiremos la planeación de cómo se excavará los túneles de acceso a Casa de Maquinas y Galería de Oscilación.

Excavación

La primera actividad que se realizan, es el "emportalamiento del túnel" de acceso a Casa de Máquinas, que consiste en las siguientes actividades:

Revisión del estado del talud donde se va a emportalar.
Trazo topográfico.

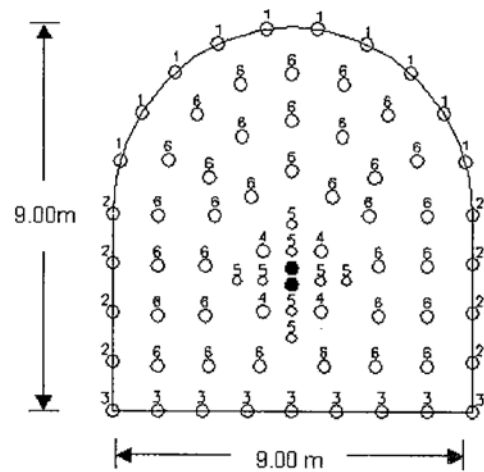
Previo amacice del talud antes referido, se hace el tratamiento especificado en planos de excavación, con anclaje y concreto lanzado, y se refiere a todo el tratamiento alrededor al contorno del túnel según el tratamiento que indique la CFE.

Después de haber colocado todo el tratamiento en el portal, se inicia la excavación del túnel. En todo el perímetro del la sección del túnel se hace una barrenación de costura, con barrenos a cada 30 centímetros, los cuales se cargarán intercalados.

En seguida se hace la barrenación de acuerdo a la orden de voladura la cual en su momento fue conciliada con la supervisión.

Se colocan los explosivos y se realiza el primer disparo o voladura.

Los primeros avances serán de un metro cada uno de profundidad, hasta tener un avance de cinco metros, a partir de ahí las siguientes voladuras se empiezan a incrementar de un metro hasta 2.40 metros, dependiendo de la calidad de la roca encontrada.



1 - 10 Barrenos en clave

2 - 8 Barrenos en tabla

3 - 9 Barrenos en piso 4 - 4

Barrenos para cuña

5 - 8 Barrenos ayudantes de cuña

6 - 33 Barrenos interiores

Figura 2.11. Plantilla tipo.

Plantilla tipo

En esta primera etapa de emportalamiento y primeros metros de excavación del túnel, se colocaran marcos metálicos de acuerdo a lo indicado por CFE en sus tratamientos.

Excavación de los túneles.

A partir del portal de entrada del túnel, en la elevación 426.00, se inicia la excavación del acceso hacia ambas cavernas (Casa de Maquinas y Galería de Oscilación), inicialmente con el túnel principal que se ramificará a 91.00 aproximadamente hacia la Galería de oscilación, abriéndose un segundo frente, continuando por el túnel principal se presenta otra ramificación a 62.00 aproximadamente, hacia la bóveda de la Casa de Máquinas, abriéndose un tercer frente, continuando por el túnel principal se llega a una bifurcación, donde el túnel principal continua hacia la Casa de maquinas y llega a lo que llamamos playa de montaje; la secuencia de excavación será la siguiente:

- Portal del túnel de acceso a casa de maquinas (Principal) y galería de oscilación.
- Túnel de acceso a Galería de Oscilación.
- Túnel de acceso a Casa de Maquinas, a playa de montaje (Principal).

La barrenación para la excavación como para los tratamientos se realizará con Perforadora electrohidráulica (Jumbo).

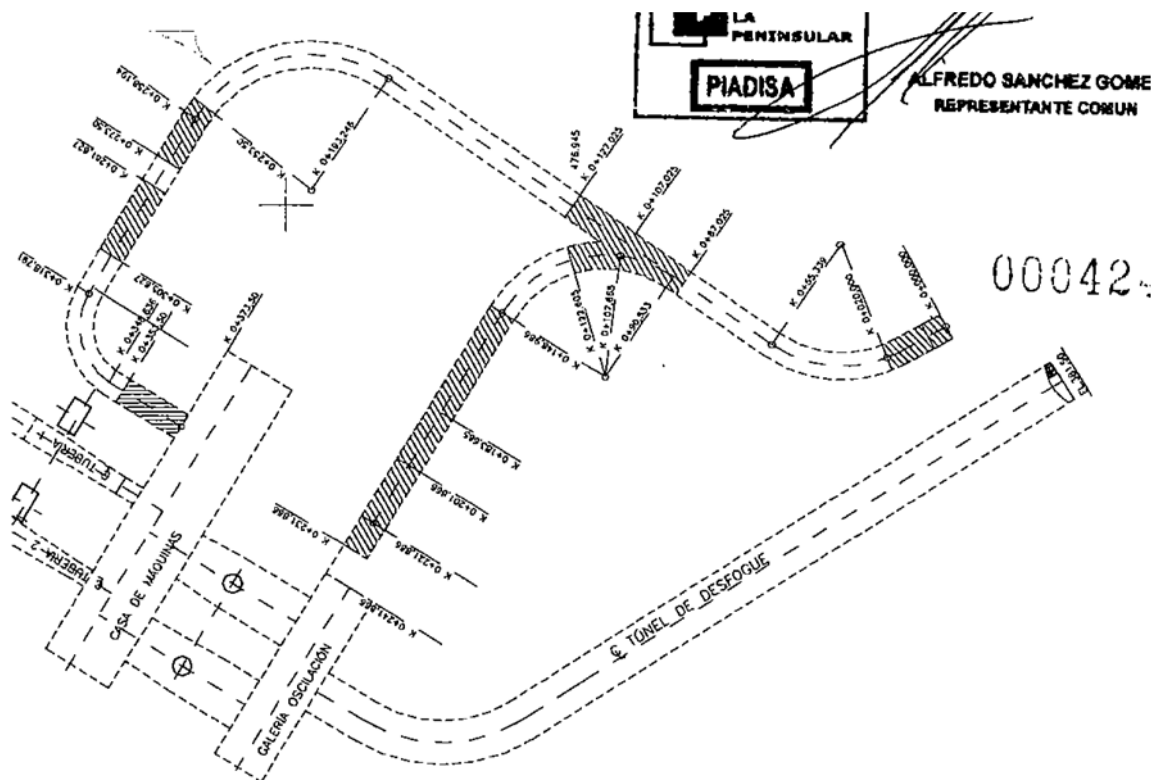
Realizados los barrenos, se cargarán con alto y bajo explosivo de acuerdo a lo de en el diseño de la voladura, el factor de carga utilizado será de 1.00 a 1.20 Kg/m³.

Después de cada detonación se realiza una inspección para verificar que el efecto de la voladura sea el esperado.

El material producto de las voladuras será retirado con cargador frontal CAT 966 camiones volteo de 14m³ o similares.

Las voladuras que se ejecuten para la excavación de estos túneles serán del tipo controladas y serán conciliadas con la supervisión antes de ejecutarse. Para evitar que se dañen las paredes se precortarán o se hará un poscorte de acuerdo a cada etapa de excavación.

A continuación se presenta un croquis de la vialidad principal subterránea de las Obras de Generación.





Tratamientos.

Los tratamientos a la roca se realizan conforme se vaya avanzando en la excavación del túnel en sus diferentes etapas, de acuerdo a la calidad del macizo rocoso, los cuales consisten en la colocación de concreto lanzado con fibras metálicas, colocación de marcos metálicos, drenajes y la colocación del anclaje de acuerdo a los tratamientos indicados por CFE. Si las condiciones del terreno son favorables, parte del tratamiento se llevará unos metros atrás del frente y esto se define en campo, con personal de supervisión.

Para el soporte se colocarán anclas de fricción colocándoles una placa de apoyo, fijada con una tuerca en su extremo libre.

De ser necesario se colocará también el drenaje indicado en los tratamientos de CFE. Drenaje largo y drenaje corto de diferentes longitudes indicadas en los tratamientos de CFE.

Se coloca concreto lanzado con fibra metálica, con el espesor que sea indicado en el diseño de detalle dentro del túnel y con malla electrosoldada si así lo establece el tratamiento indicado por CFE.

En zonas donde el macizo rocoso presente condiciones de estabilidad precarias en los túneles, se colocarán marcos metálicos, mismos que servirán como soporte permanente. En ese caso se empacarán los marcos mediante concreto hidráulico según indicaciones por CFE en sus tratamientos.

Ventilación.

Para la ventilación se utilizan ventiladores tipo axial ó similar, ubicándolos en el portal de entrada, en un sitio adecuado y de ahí inyectar aire en los diferentes frentes de trabajo por medio de ductos, en el interior del túnel se instalarán ventiladores que servirán para extraer aire contaminado hacia el portal de entrada. Conforme se vaya avanzando en la excavación se instalarán los ductos de ventilación.

Lineamientos de seguridad y medio ambiente:

El personal de estas actividades, siempre utilizará el equipo de protección personal determinado con base en el procedimiento de identificación de peligros y, la evaluación y control de riesgos de acuerdo a la norma.

PROCEDIMIENTO: DE EXCAVACIÓN PARA TUNEL DESFOGUE.

OBJETIVO

Establecer la metodología que debe seguirse para la excavación del túnel de Desfogue utilizando explosivos.

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos de excavación del túnel de Desfogue del proyecto Hidroeléctrico la Yesca

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Descripción General

Las obras de generación se ubicarán en la margen derecha y comprenden: túnel de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación, túnel de desfogue, la caverna de casa de máquinas, la galería de oscilación, túneles de aspiración, y la conducción o tuberías a presión, como estructuras principales. Además, se incluyen en el proyecto túneles auxiliares de construcción, galerías, lumbreras de buses y ventilación, entre otros.

Túnel de Desfogue

El desfogue será excavado en forma prioritaria para tener acceso desde éste, a los frentes de excavación de los túneles de aspiración y posteriormente fosos de turbinas.

El túnel tendrá una sección de excavación tipo portal de 14.40 x 15.40 m de la elevación 380.80 a la elevación 396.20 y una longitud de 254.58 metros hasta comunicarse con la Galería de Oscilación.

Para su excavación se utilizará equipo y personal capacitado para desarrollar cada una de las actividades dentro del ciclo de ejecución.

Los servicios de apoyo instalados en el portal de acceso a Casa de Máquinas se compartirán con este frente, para ello se instalarán las líneas de alimentación hasta el portal de salida del Desfogue y conforme se vaya avanzando en la excavación se llevarán a lo largo de todo el túnel.

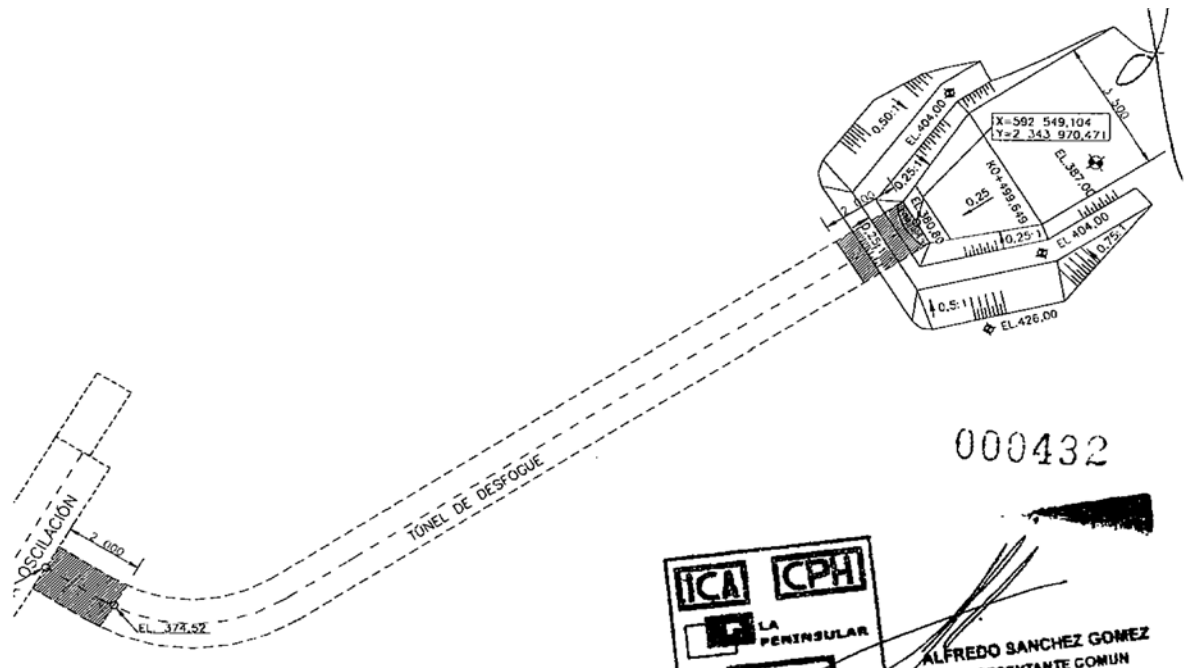
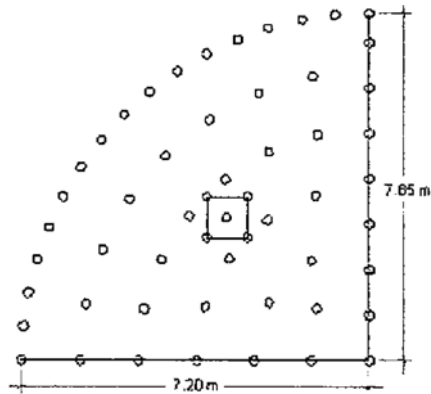


Figura 3.13. Casa de Máquinas.

Excavación

Una vez que se habilite el acceso al portal del túnel de desfogue, se hará la excavación a cielo abierto parcialmente para poder acceder al túnel y llegar al piso de la elevación 388.59 y de ahí desarrollar una rampa que llegue a la elevación 380.80 y entrar con un cuarto de sección al túnel, iniciando con ello la excavación de la media sección superior de la elev 396.20 a la elev. 388.59.



Barrenos Cargados	52
Barrenos Quemados	4
Área	45.97 m ²
Factor de carga	1.12 kg/m ²

Barrenos Cargados	94
Barrenos Quemados	4
Área	91.94 m ²
Factor de carga	1.08 kg/m ²

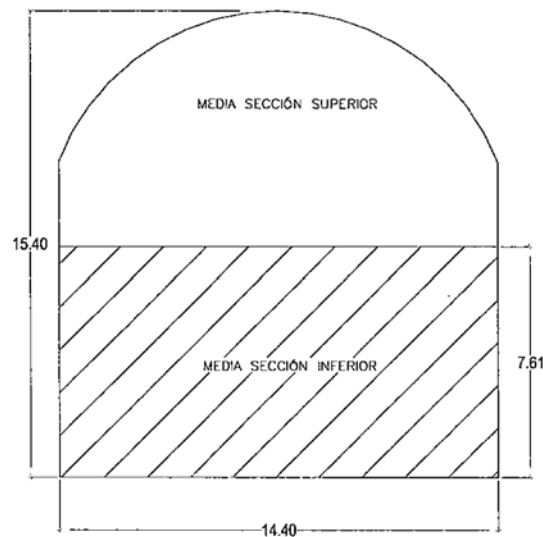
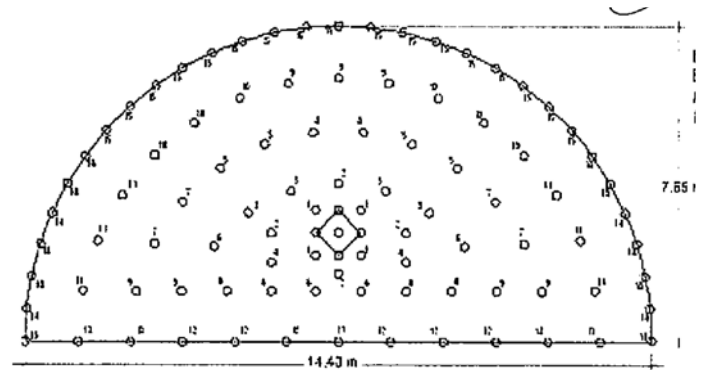
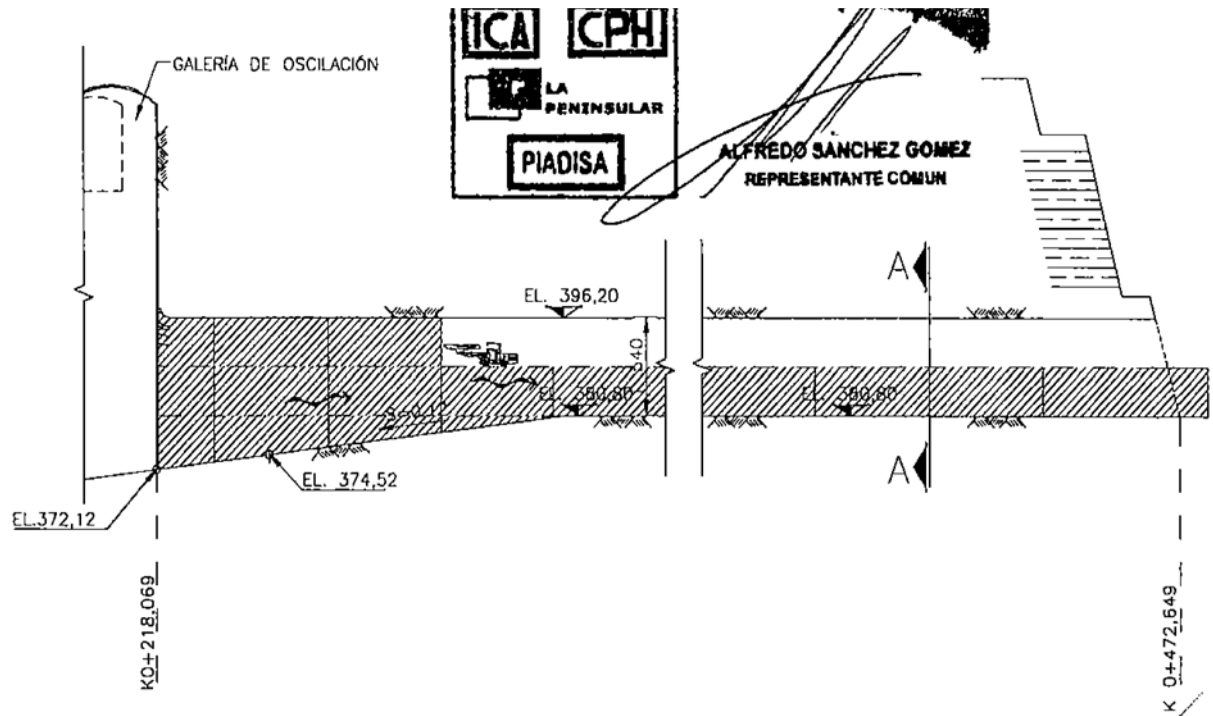
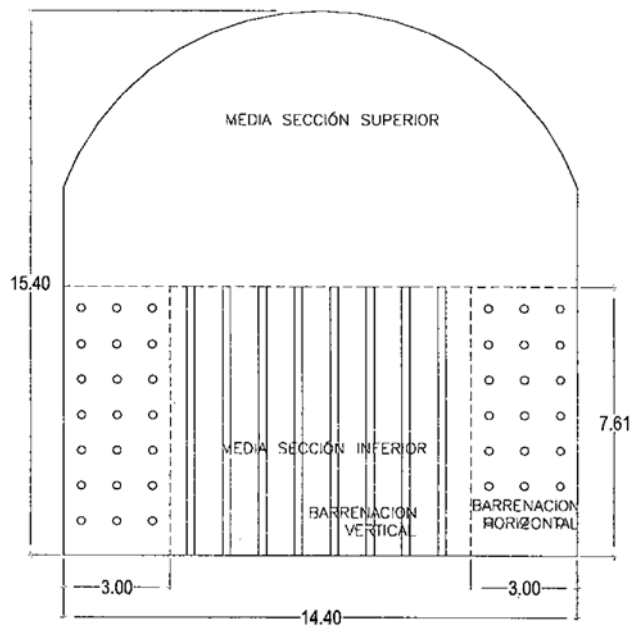


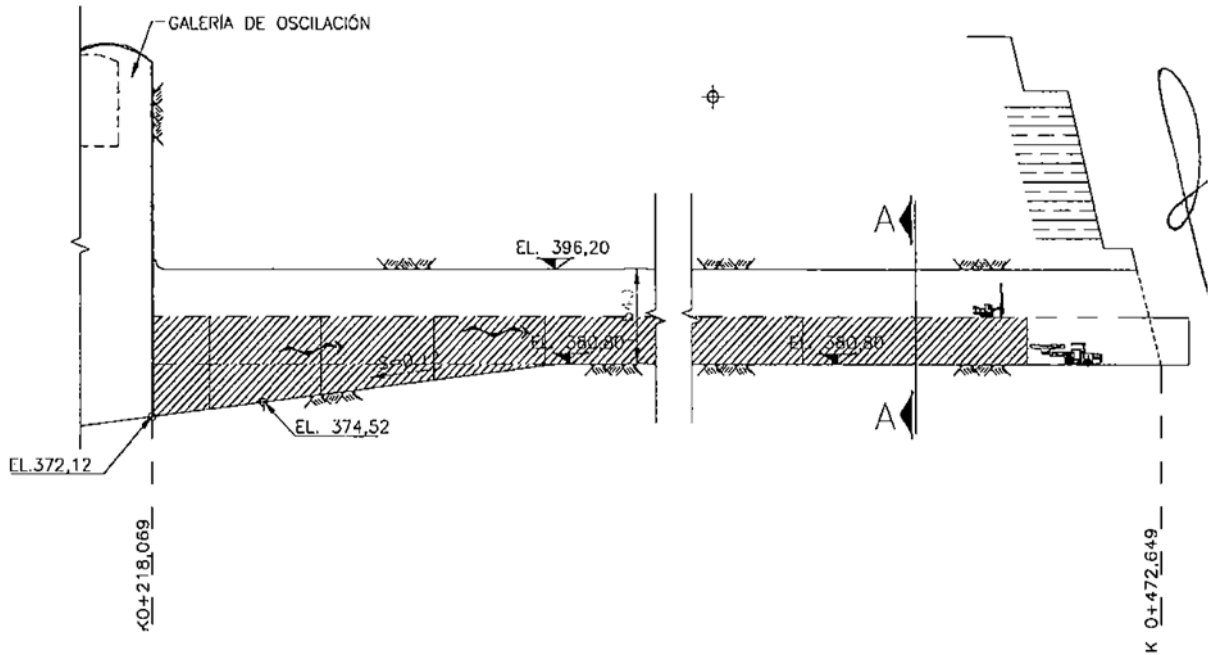
Figura 3.14. Plantillas.



Conforme se vaya adentrando al túnel se ampliará la excavación a la sección de proyecto y así continuar, si las condiciones del macizo rocoso lo permiten.

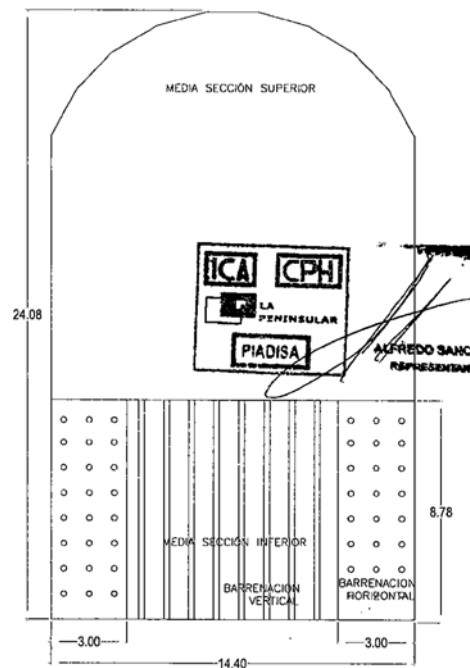
Concluida la excavación de la media sección superior, se procederá a iniciar la excavación de la media sección inferior (de la elev. 388.59 a la elev. 380.80), por dos frentes.

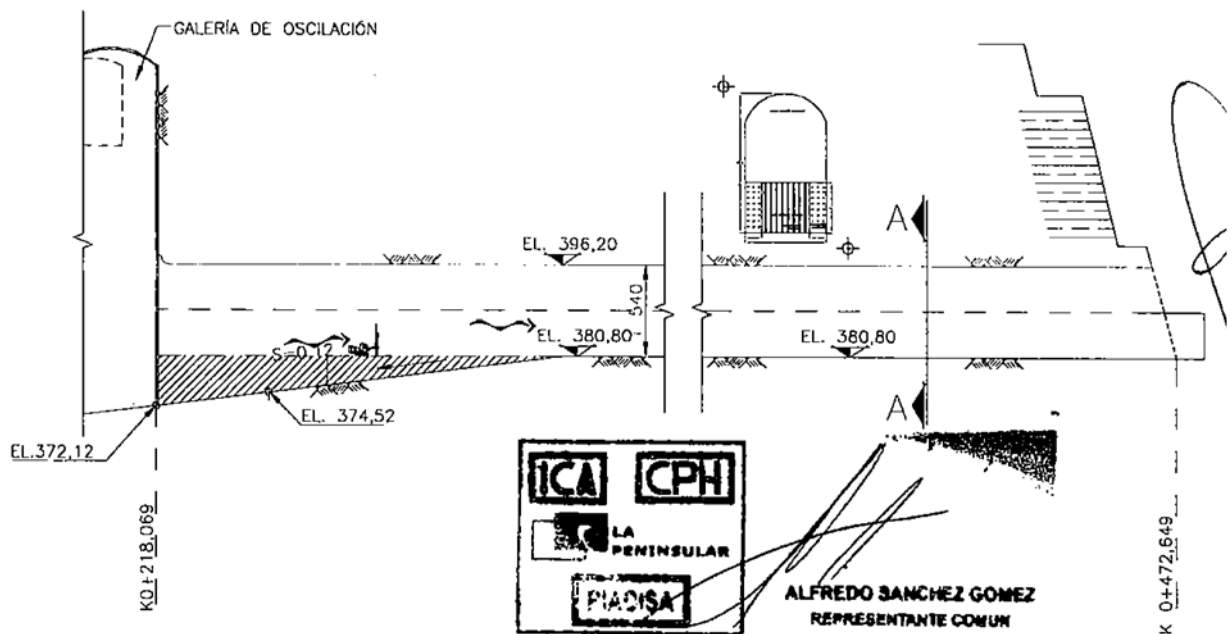




A partir del Km. 0+243.674 se iniciara una rampa hasta el paño de la Galería de Oscilación con una pendiente del 12%.

El banqueo se realizará con barrenación vertical en el área central dejando un banco de 3 metros debido a la dificultad del equipo para barrenar en la pared de proyecto. Posteriormente el desborde del banco se realizará con barrenación horizontal (Jumbo o hidrotrack) para perfilar la pared del túnel.





Los tratamientos a la roca se harán conforme se vaya avanzando en la excavación del túnel en sus diferentes etapas, de acuerdo a la calidad del macizo rocoso, los cuales consisten en la colocación de concreto lanzado con fibras metálicas y la colocación del anclaje sistemático que marca el proyecto.

Para la barrenación de la sección media superior se utilizará un Jumbo electrohidráulico de tres brazos y para la sección media inferior se utilizará un Hidrotrack ranger 500 y el jumbo electrohidráulico de tres brazos. La rezaga se efectuará con cargador CAT 966, una retroexcavadora CAT 330, un tractor sobre orugas CAT D-8, camiones fuera de carretera y camiones de volteo convencionales con caja roquera de 14 m³.

Las voladuras que se ejecuten para la excavación de este túnel serán del tipo controladas. Para evitar que se dañen las paredes se precortarán o se hará un poscorte de acuerdo a cada etapa de excavación y al diseño tipo.

Si durante el proceso de excavación se presentara algún caído, se retirará dicho material y se procederá a restituir la geometría de la excavación conforme al proyecto mediante concreto lanzado o hidráulico, dependiendo de la magnitud del caído.

Tratamientos a la roca

En zonas donde el macizo rocoso presente condiciones de estabilidad precarias en el túnel, se colocarán marcos metálicos, mismos que servirán como soporte permanente. En ese caso se confinarán los marcos con concreto hidráulico según los tratamientos que indique la CFE.



Se tiene considerado estabilizar la excavación en paredes y bóveda del túnel mediante anclas de fricción de 25,4 mm de diámetro, de 4 a 9 m de longitud y anclas de 38,1 mm de diámetro, de 6 a 9 m de longitud.

En el túnel se perforarán drenes en donde indique el diseño de detalle, mediante barrenos de 76,2 mm de diámetro y 6 m de longitud.

Ventilación

Para la ventilación se utilizarán ventiladores tipo axial, ubicándolos en el portal de salida, para inyectar aire al frente de trabajo.

PROCEDIMIENTO:

DETALLADO PARA EL REVESTIMIENTO DEL TUNEL DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS Y GALERÍA DE OSCILACIÓN.

OBJETIVO

Establecer la metodología que debe seguirse para el revestimiento de los Túneles de acceso con concreto hidráulico armado en el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos de Revestimiento de los túneles de acceso a casa de maquinas y Galería de Oscilación con concreto hidráulico armado.

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Ciclo de trabajo

Topografía.- Consiste en trazar en el frente de colados, los niveles y contornos del revestimiento.

Limpieza.- Revisión y limpieza de todas las áreas y superficies en contacto con el nuevo revestimiento, aun cuando sea sobre otros concretos colocados con anterioridad como es el caso de concreto entre marcos.

Armado.- Es la colocación del acero de refuerzo, en esa zona para el revestimiento indicado en los planos autorizados para construcción.

Cimbrado.- Revisado el armado indicado en el tramo por colar, se procede a colocar el molde de madera ó metálico, en forma de paneles o modular (2.40m de altura), debidamente alineada horizontal y verticalmente, así como indican los trazos topográficos.

La cimbra debe lubricarse y humedecerse con objeto de que no absorba agua del concreto al vaciarlo y que al fraguar no se desprege junto con la cimbra, el concreto.

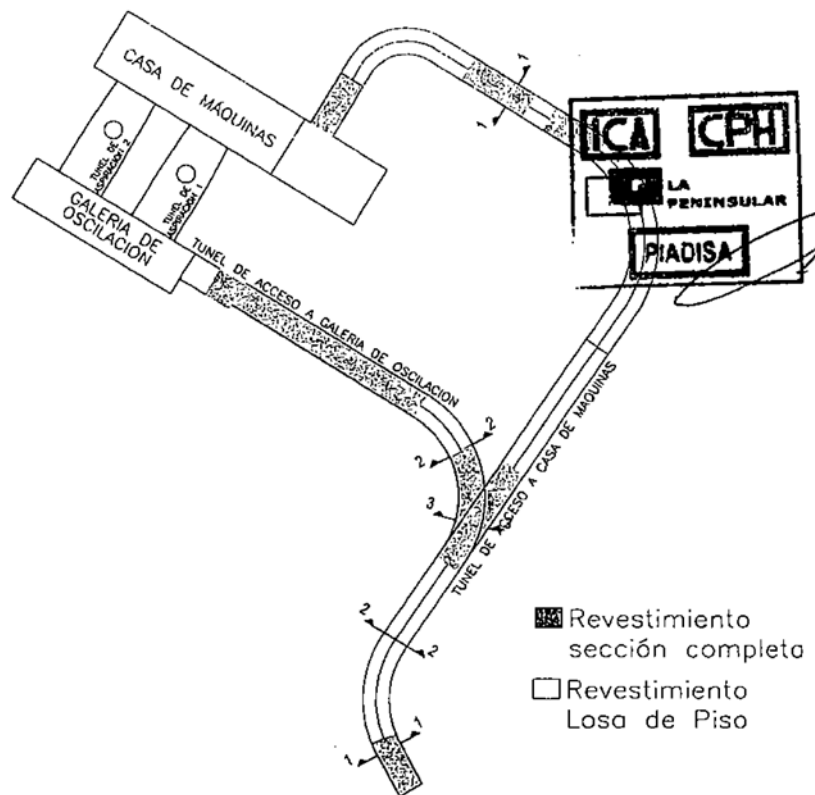
Colado.- Una vez cumplido todo lo anterior, se procede, a obtener la autorización para colar por parte del área de calidad, área electromecánica correspondiente y posteriormente por la supervisión, y dar aviso anticipado a la planta de concreto, con el pedido del mismo, en donde se indique fecha, hora y características del concreto, volumen, tiempo aproximado de colado, etc. Se procede hacer el vaciado, tomando en cuenta la velocidad de colado, para que el soporte y troquelamiento de la cimbra resista la cantidad de concreto que se está vaciando y que la altura alcanzada por éste no rebase el esfuerzo permisible y calculado. Tomando en cuenta la cantidad y tiempo de vibrado que deberá aplicarse a cada sección.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REVESTIMIENTO.

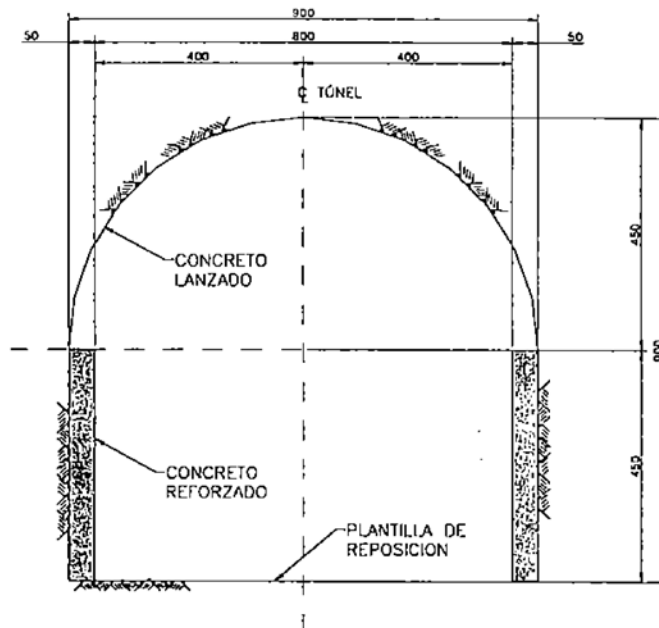
El revestimiento será mediante concreto hidráulico armado reforzado en donde lo indique el proyecto.

En los planos se indica el acero de refuerzo considerado para los túneles de acceso a la Casa de Máquinas y Galería de Oscilación.

La estructura en cuestión se dividirá en diferentes partes o tramos para su mejor construcción.

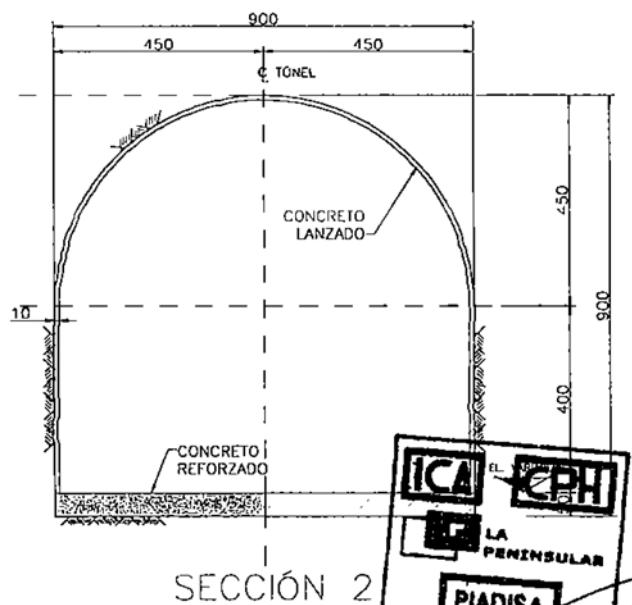


Lo primero que se revestirá con concreto hidráulico serán las paredes o muros en las zonas indicadas por CFE, para no interrumpir el acceso a los túneles, para ello se utilizará cimbra convencional de madera; los colados serán en alzadas de 2.40 m y así sucesivamente hasta alcanzar la altura de proyecto, para estos colados se utilizaran bombas para concreto.



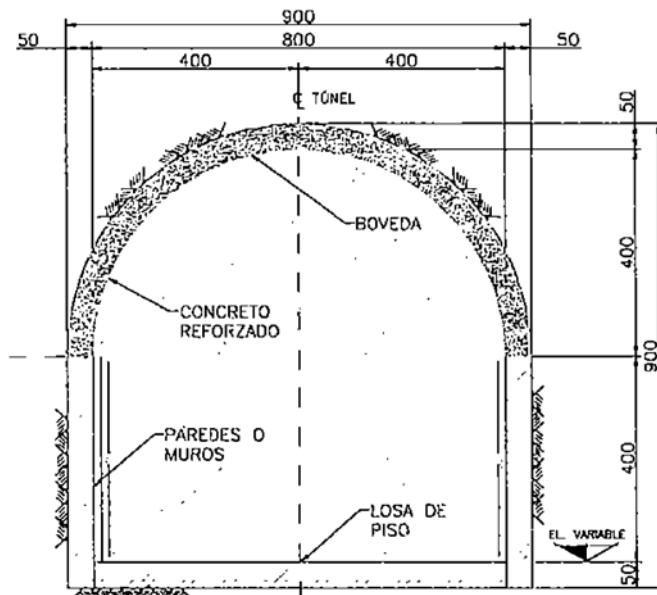
SECCIÓN 1

A continuación se colaran las losas de piso a todo lo largo del túnel, realizando colados a media sección de 4.5m de ancho por 25 metros de largo, esto con la finalidad de no interrumpir el acceso a los túneles; la colocación de concreto se realizara directamente de las ollas revolvedoras.



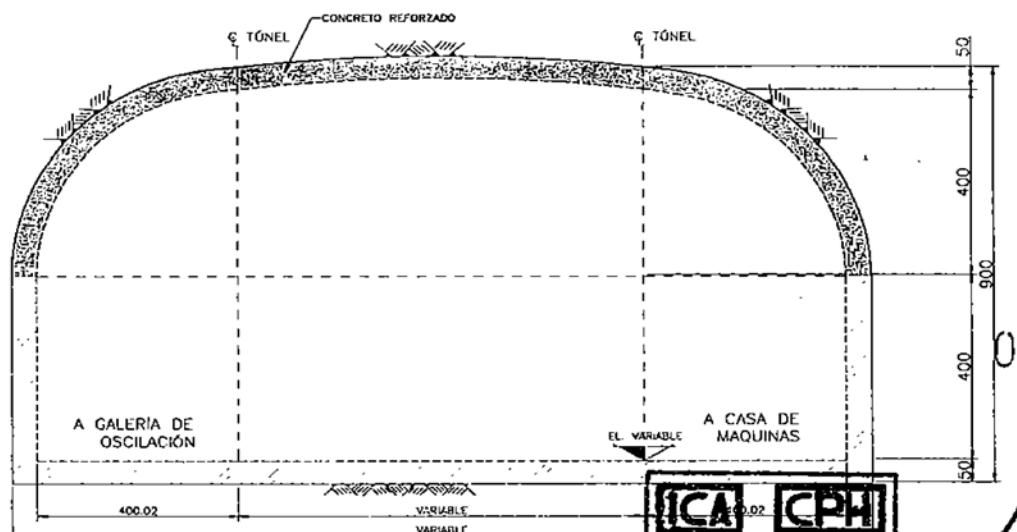
SECCIÓN 2

Por último se colará la bóveda de las zonas en donde lo marquen los tratamientos indicados por CFE, estos serán colados con cimbra convencional de madera utilizando soportes tubulares dejando el acceso necesario para vehículos y personal. Para estos colados se utilizarán bombas para concreto.



SECCIÓN 1

De la misma manera se realizarán los colados para la bifurcación de Galería de Oscilación y Casa de Maquinas.



SECCIÓN 3



El tratamiento que se llevará a cabo para las juntas de construcción será el siguiente:

Después de realizado el curado correspondiente, se escarificará la junta de construcción de acuerdo a especificación y se hará con un soplete aire-agua. Y en general todas las juntas de construcción se tratarán de la misma forma. Para el caso de que en alguna junta se presentara, excesiva filtración se analizará el problema y se llegará a un acuerdo para dar una solución.

PROCEDIMIENTO:

DETALLADO PARA EL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL DESFOGUE.

Descripción del Procedimiento.

PROCEDIMIENTO DE COLADO.

Ciclo de trabajo

Topografía.- Esta actividad consiste en trazar en el frente de colados, los niveles y contornos del revestimiento.

Limpieza.- Revisión y limpieza de todas las áreas y superficies en contacto con el nuevo revestimiento, aun cuando sea sobre otros concretos colocados con anterioridad como es el caso de concreto entre marcos.

Armado.- Es la colocación del acero de refuerzo, en esa zona para el revestimiento indicado en los planos BPE de cada tramo.

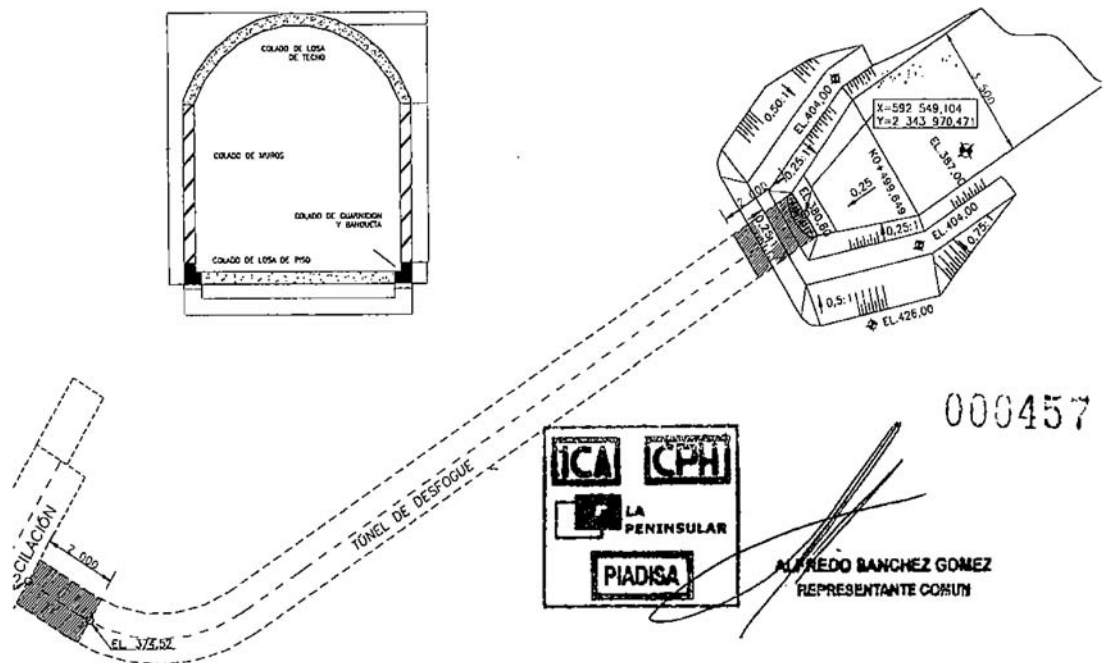
Cimbrado.- Una vez revisado el armado indicado en el tramo por colar, se procede a colocar el molde o cimbra de madera o metálica, en forma de paneles o modular, debidamente alineada horizontal y verticalmente, así como indican los trazos topográficos y su chequeo. También debidamente lubricada y humedecida con objeto de que no absorba agua del concreto al vaciarlo y que al fraguar no se despreque junto con la cimbra el concreto ya semifraguado.

Colado.- Una vez cumplido todo lo anteriormente indicado, procedemos, a obtener la verificación para colar, por parte de aseguramiento de calidad del Consorcio, por el área electromecánica correspondiente y posteriormente por la supervisión, y así como dar aviso anticipado a la planta de concreto, con un pedido del mismo, en donde se indique fecha, hora y características del concreto en su fabricación, volumen, tiempo aproximado de colado, etc. Se procede hacer el vaciado, tomando en cuenta la velocidad de colado, para que el soporte y troquelamiento de la cimbra resista la cantidad de concreto que se está vaciando y que la altura alcanzada por éste no rebase el esfuerzo permisible y calculado, tomando en cuenta la cantidad y tiempo de vibrado que deberá aplicarse a cada sección.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL REVESTIMIENTO.

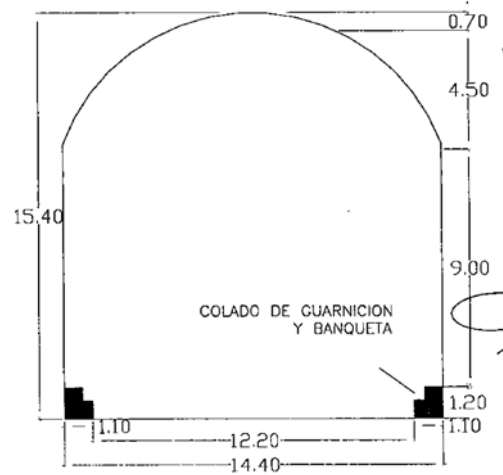
El Revestimiento del túnel de Desfogue, está planeado hacerlo en las siguientes partes:

Se realizará la limpieza respectiva, con soplete de aire y chorro de agua para lavado y algunas piedras que el soplete no haya levantado se removerán con un barrido sobre la superficie rugosa de la piedra base y por último el secado de los charcos de agua se realizara con una bomba neumática de pequeño gasto.

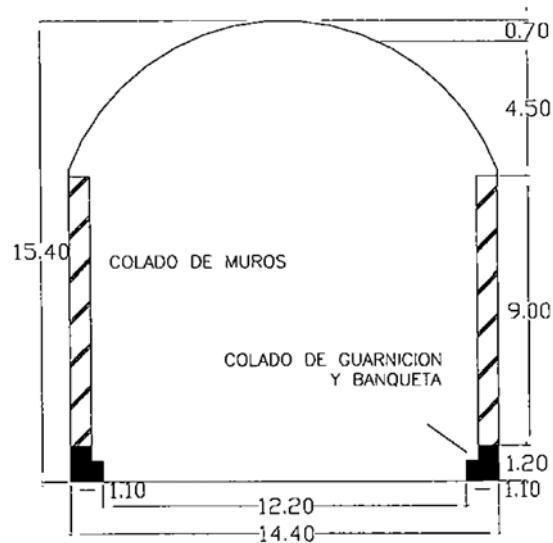


Primeramente se deberá colocar un concreto de regulación en el piso del túnel a la elevación 380.80.

Antes de colar muros y sección completa, se realizará la primera etapa de colado; banquetas y guarniciones que consiste en: Primeramente colocar una cimbra para las banquetas y guarniciones, dejando salientes las varillas de traslape tanto para muros como para losa, las cuales tendrán una longitud correspondiente a los 40 diámetros especificados o lo que indiquen los planos de ingeniería de detalle, por fuera del colado para los armados de los muros, pisos y posteriormente la clave. Para la cimbra de guarniciones y banquetas, se colocarán tableros metálicos o tableros de madera, estos colados se realizaran directamente de la olla revolvedora.

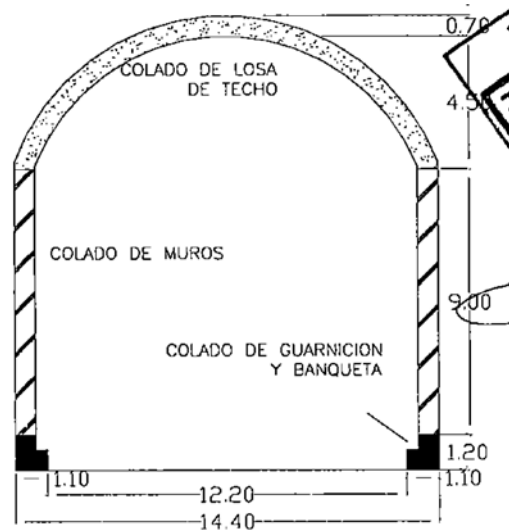


A continuación se colarán los muros, utilizando para esto la cimbra metálica auto transportable, la cual cuenta con ventanas estratégicamente ubicadas para las maniobras de colocación de concreto y vibrado.

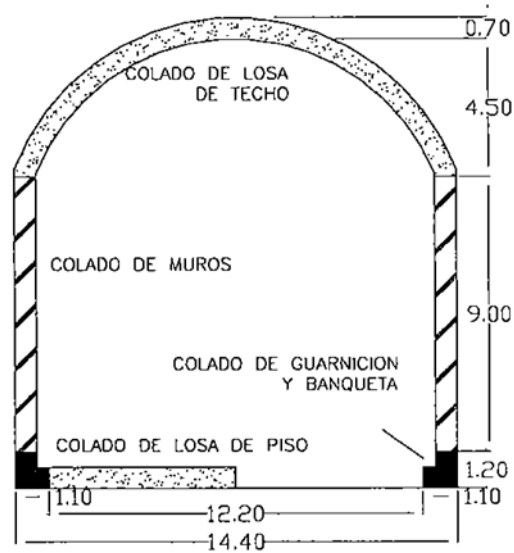


Esta misma cimbra tiene unas adaptaciones para funcionar en la zona de curvas consistentes en extensiones al principio y al final, que le permite darle forma a la curva.

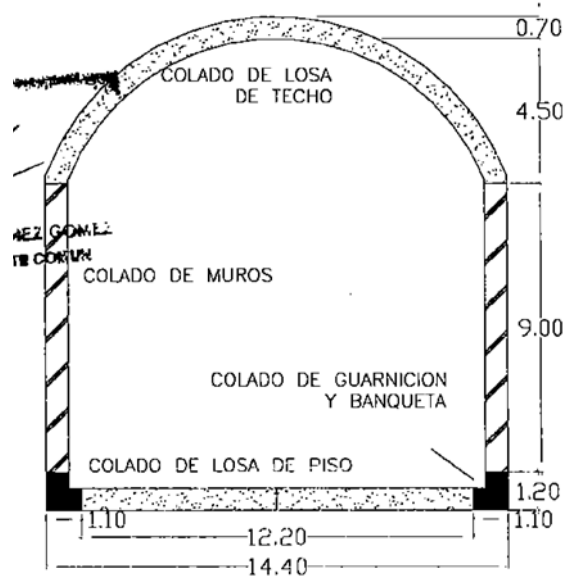
Después de haber colado los muros, a esta misma cimbra metálica se le colocará la estructura superior, para colar los tramos en donde se revestirá la clave.



Posterior a la colocación de concreto en la losa de techo se procede a colocar la losa de piso, la cual se dividirá en dos secciones a lo ancho del túnel, para no interrumpir el acceso al túnel y a la galería de oscilación, estos colados se realizarán aproximadamente de 6.0 metros de ancho por 30.0 metros de largo.



Finalmente se colará la parte faltante de la losa de piso, para concluir con esto la colocación de concreto en el túnel de desfogaje.



El tratamiento que se llevará a cabo para las juntas de construcción será el siguiente:

Después de realizado el curado correspondiente, se escarificará la junta de construcción de acuerdo a especificación y se hará cuando el concreto esté a punto de poder hacerlo con un soplete aire-agua. En general todas las juntas de construcción se tratarán de la misma forma. Para el caso de que en alguna junta se presente algún problema, éste se corregirá atendiendo las especificaciones correspondientes y las indicaciones de control de calidad.

Finalmente se coloca concreto armado en el piso del túnel, a la elevación 380.80 en donde el espesor aproximado será de 70cm para llegar a la elevación 381.50 que cubrirá a unas anclas de 1" de diámetro por 3.5m de profundidad y al armado previamente colocado de acuerdo a los planos de ingeniería de detalle.

La losa de concreto en el túnel de Desfogue será colada en tramos de 30 metros de longitud a todo lo ancho del túnel, partiendo del paño de la galería de Oscilación hacia la salida del Túnel de Desfogue. Para los colados de la intersección con la Galería de Oscilación, en los tramos de abocinamiento se realizarán con cimbra convencional de madera.

Todos estos concretos serán colocados de la siguiente manera:

- Banquetas, guarniciones y pisos se realizaran directamente de la olla ayudado por un canalón
- Muros y clave, se realizarán con una bomba para concretos.



3.5.3. PROCEDIMIENTO: PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE GENERACIÓN.

Excavaciones y concretos en la casa de máquinas, la galería de oscilación y las lumbreras de buses, ventilación y cables.

La descripción de los procedimientos constructivos a detalle solicitados en este apartado comprende tres frentes de trabajo: la casa de máquinas, la galería de oscilación y las lumbreras de bus ventilación y cables. Para cada uno de estos tres frentes se incluyen dos procedimientos, el de excavaciones y el de concretos, por lo que en total se incluyen 6 procedimientos dentro de este capítulo conforme a la siguiente relación.

- Procedimiento detallado para las excavaciones en la casa de máquinas.
- Procedimiento detallado para las excavaciones en la galería de oscilación.
- Procedimiento detallado para las excavaciones en las lumbreras de buses, ventilación y cables.

3.5.3.1. PROCEDIMIENTO: DETALLADO PARA LAS EXCAVACIONES EN CASA DE MÁQUINAS.

OBJETIVO

Establecer la metodología que debe seguirse para la excavación de Casa de máquinas del proyecto hidroeléctrico La Yesca.

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos de excavación de Casa de máquinas.

Casa de Máquinas

Para excavar la Casa de máquinas se llegara a ella por medio de túneles, los cuales tendrán su función conforme se avance en su excavación, el primero en llegar a ella será un túnel auxiliar de construcción el cual se comunicará por el tímpano hacia el sur elevación 405,50 y servirá para excavar la bóveda de la caverna, el segundo acceso es por la pared de aguas arriba, que llega a la playa de montaje, en la elevación 392,95, este túnel forma parte de las obras definitivas, los túneles donde se alojarán las tuberías de presión también servirán para retirar material de la caverna, el ultimo en comunicarse es el túnel de construcción que llega por el tímpano hacia el norte a la elevación 374,15 aproximadamente y servirá para excavar los fosos de turbinas y la galería de inspección.

En el portal del túnel de acceso a Casa de máquinas se construirá una plataforma donde se colocarán las instalaciones provisionales (energía eléctrica, aire, agua y ventilación) que servirán de apoyo durante las excavaciones.

Excavación.

La excavación de la Casa de Máquinas tendrá una longitud de 103.50 m, un ancho de 22,80 m y una altura de 49,90 m. Esta se iniciará a partir del túnel de acceso a la bóveda de la caverna y llegará por el tímpano hacia el sur, aproximadamente a la elevación 405.50.

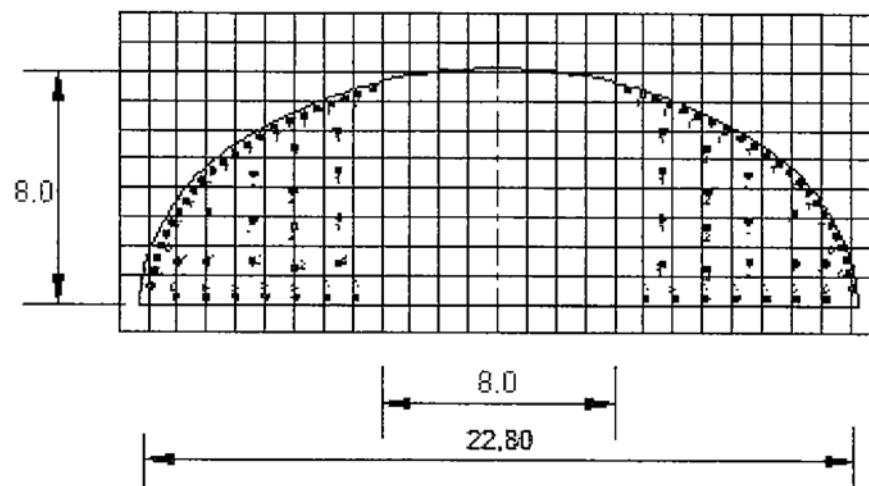
La bóveda se excavará, entre las elevaciones 413.50 y la 405.50; en tres sub-etapas. Entre cada sub-etapa de excavación se llevará un desfase de por lo menos 10 metros, la longitud de avance se definirá de acuerdo a las condiciones del macizo rocoso.

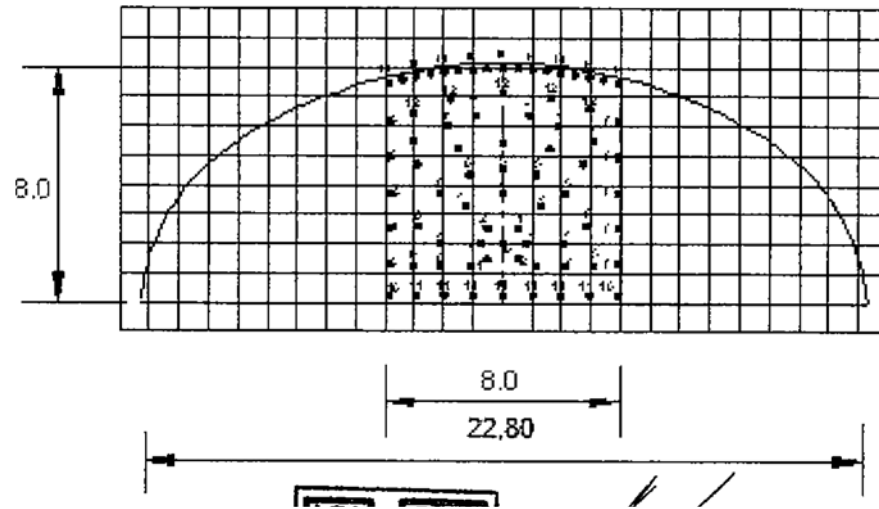
El equipo a utilizar en la barrenación será un jumbo electrohidráulico de 3 brazos para la barrenación horizontal en el frente y un hidra-track, para la barrenación vertical. Para el retiro del material producto de la excavación se utilizará un cargador frontal CAT 966 o similar y camiones volteo de 14 metros cúbicos y/o articulados.

Para ventilar el frente de trabajo se utilizarán ventiladores tipo axial de 1.20 m de diámetro, ubicándolos en el portal de entrada, para inyectar aire en los diferentes frentes de trabajo adicionalmente se construirán lumbreras de 2.40 m de 0 de ventilación en la Galería de Oscilación y Casa de Máquinas hasta la superficie, Una vez concluida la excavación de la bóveda, se continuará la excavación propia de la caverna en banqueos y posteriormente se excavarán los fosos de turbinas.

Durante la ejecución de las actividades se estarán construyendo las lumbreras de ventilación, Buses y cables, las cuales también ayudaran a la ventilación, esto dependerá de que la plataforma de la subestación esté concluida.

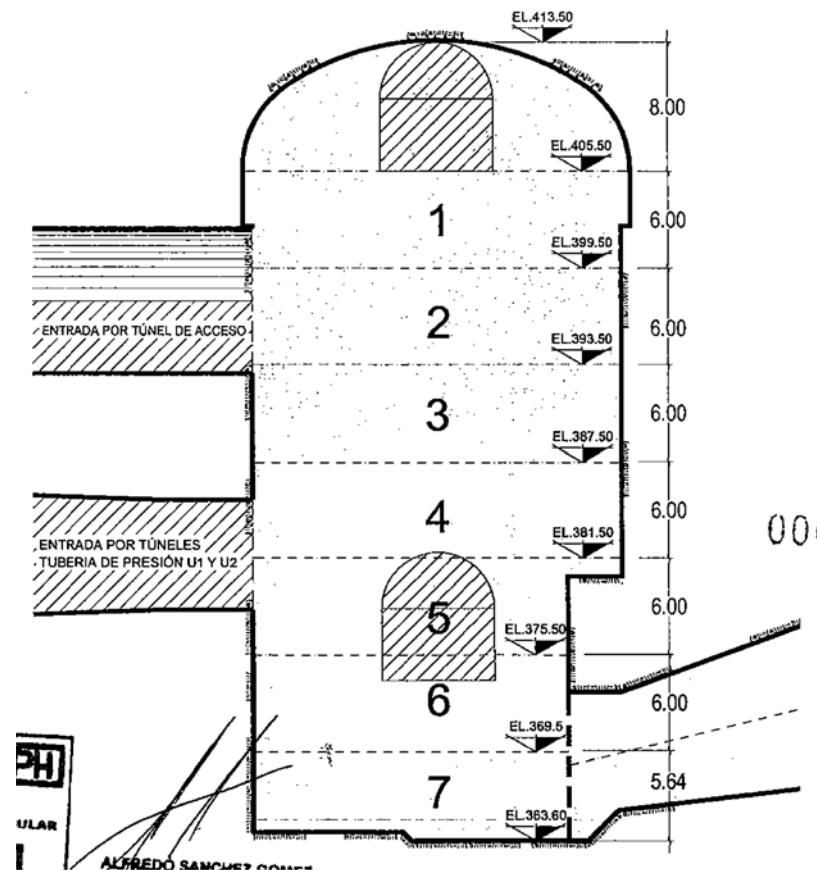
En toda etapa de excavación, se habilitará un cárcamo de bombeo a donde se canalizarán las filtraciones que pudieran presentarse a través del macizo rocoso y también para poder expulsar el agua del proceso de barrenación.





La pendiente de las rampas entre los niveles de excavación será la adecuada para que los camiones puedan salir cargados sin ningún problema.

En las siguientes figuras se presentan las etapas de excavación consideradas.



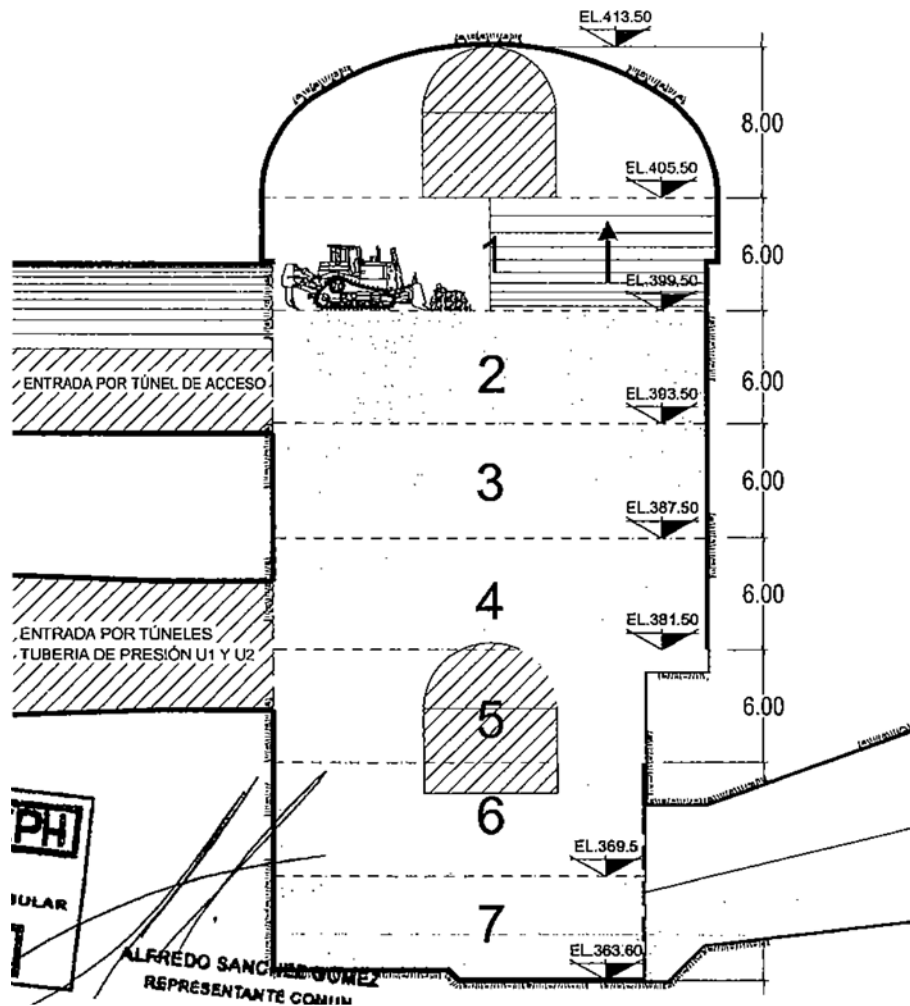
ETAPAS DE EXCAVACION

Primer banqueo

Estará comprendido entre las elevaciones 405,50 y 399,50. En esta etapa la barrenación será vertical al centro y en la zona cercana a la pared será horizontal para poder dar el acabado solicitado en proyecto, con longitudes de avance en cada ciclo de excavación de 5 metros.

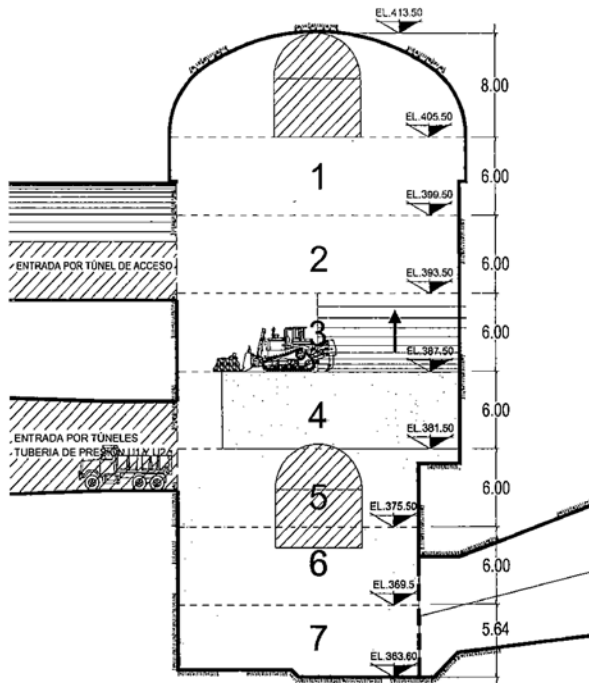
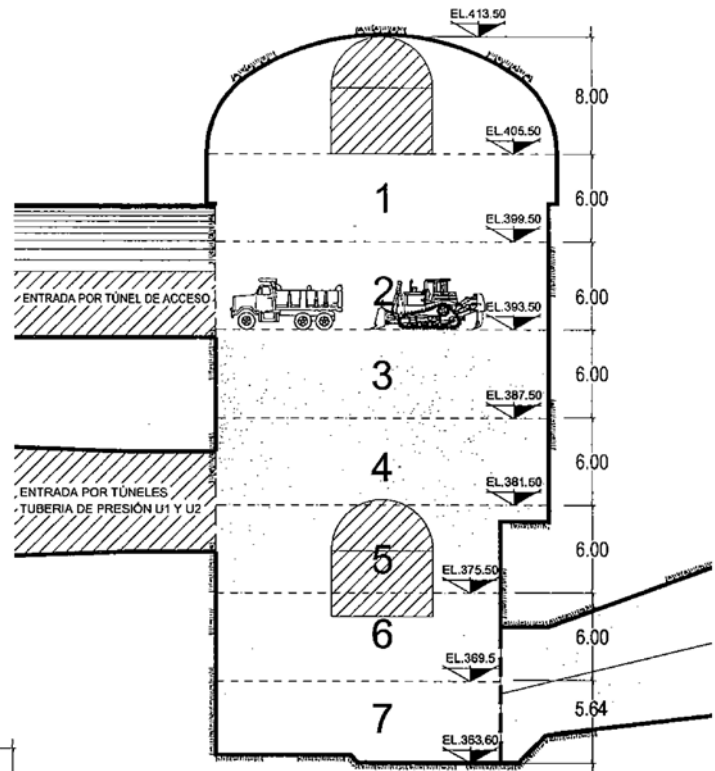
El material producto de la excavación se retira inicialmente por el túnel auxiliar a la bóveda de Casa de Máquinas y posteriormente por el túnel de acceso a Casa de Máquinas ya terminado, para ello se hará una rampa, por donde accederán los equipos y vehículos que sean necesarios en el frente.

En las paredes se hará precorte en todo el perímetro de la Casa de máquinas, los tratamientos a la roca serán de acuerdo a las condiciones de la roca.



Segundo banqueo

Está comprendido entre las elevaciones 399,50 y la 393,50. En esta etapa, como el túnel de acceso a la Casa de Máquinas a la elevación 392,95 ya estará comunicado con la caverna, el material producto de la excavación se retirará por este túnel.



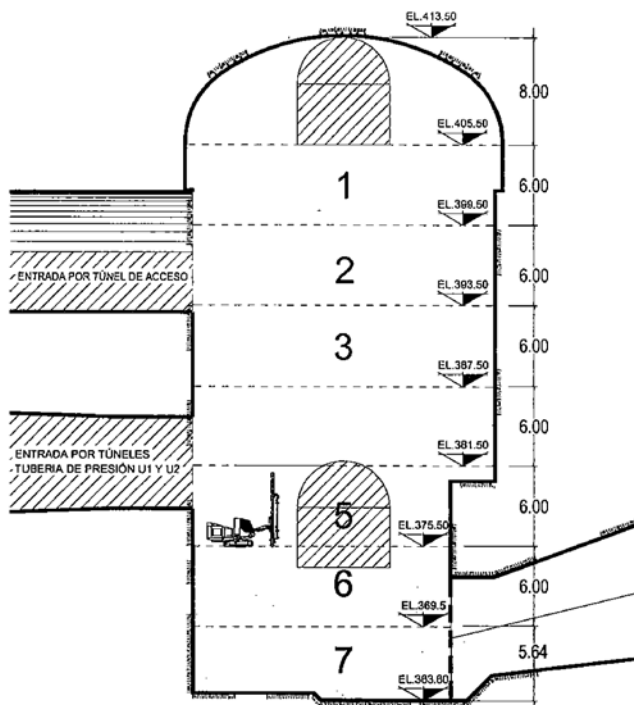
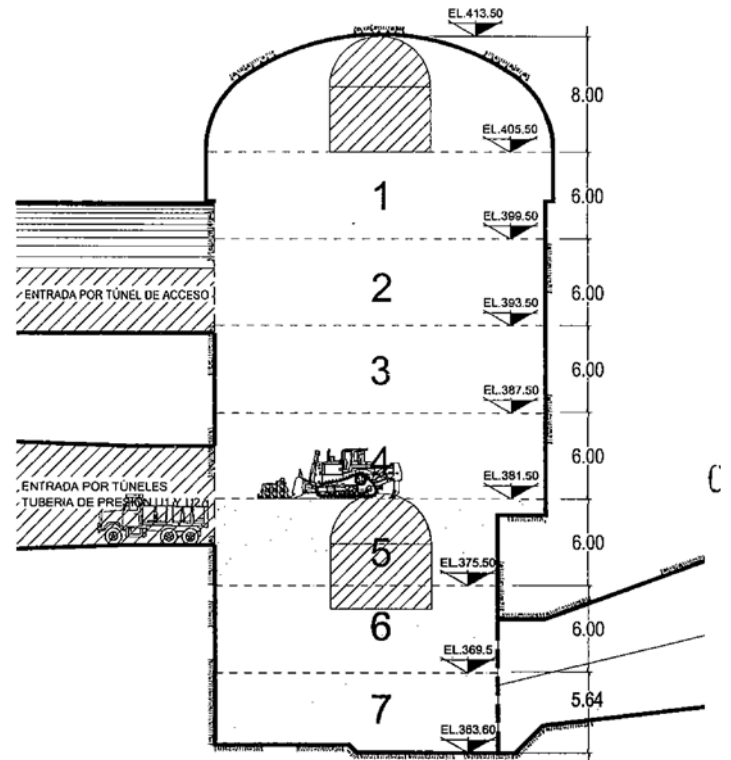
Tercer banqueo

Está comprendido entre las elevaciones 393,50 y la 387,50. El material se extraerá por el túnel de acceso a la Casa de Máquinas en la elevación 392,95, para ello se construirá una rampa provisional con el material producto de la excavación, para mantener el acceso al túnel; también se extraerá por el túnel de la tubería de presión.



Cuarto banqueo

Esta etapa está comprendida entre las elevaciones 387,50 y la 381,50. El material se extraerá por el túnel de presión de las unidades U1 y/o U2 rama horizontal que ya estará comunicado hasta la caverna de la casa de máquinas.

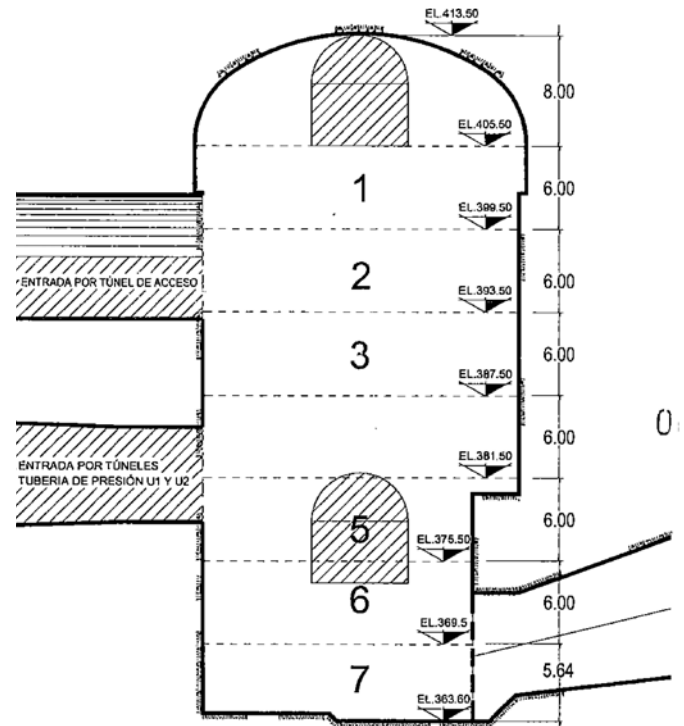


Quinto banqueo

El último banqueo está comprendido entre las elevaciones 381.50 y la 375.50. El material se retirará por los túneles de presión de las unidades U1 y/o U2, de la misma forma que el banqueo anterior, además de el túnel auxiliar por timpano hacia el norte.

Fosos de turbinas

Esta excavación se hará desde la elevación 375.50, incluye barrenaciones de precorte en todo el perímetro de los fosos además de la barrenación para la excavación, para lo cual será necesario tener ya excavados los túneles de aspiración por donde saldrá el material producto de las voladuras, así como también por el túnel auxiliar a los túneles de Aspiración. Conforme se vayan excavando los fosos se harán los tratamientos a la roca.



Cárcamo de Bombeo

El cárcamo de Bombeo, se ubicará, entre el túnel auxiliar hacia el cárcamo de bombeo, y el muro derecho del túnel de aspiración de la unidad No. 2, este cárcamo se comunica, con la Casa de Máquinas a través de la galería de inspección. Esta ubicación propuesta se notifica y describe con detalle en la OT-21.

Las dimensiones generales aproximadas del cárcamo serán: 22.90 metros de largo, 7.65 metros de ancho y 14.85 metros de altura.

Ruta de evacuación

La ruta de evacuación fue descrita en la OT-12.a) Capítulo 11, en donde se indicó que comprende entre otros, un par de cubos de escaleras contiguos a los ductos de ventilación número 1 y 3, por lo que su excavación se inicia desde la fase de la excavación de la casa de máquinas, denominada "segundo banqueo" y continúa con las siguientes fases hasta alcanzar el nivel inferior requerido y de ahí se desprende otra galería la cual se comunica al túnel auxiliar al cárcamo de bombeo. En la OT-21 se notifica como cambio menor y se presentan las consideraciones asumidas.

Soporte

En el plano correspondiente se presenta el tratamiento previsto para la Casa de Máquinas. Se considera perforar drenes, colocar anclas de fricción y concreto lanzado con malla electrosoldada en la bóveda y paredes.



Si durante el proceso de excavación se presentara algún caído de algún bloque, se retirará dicho material y se procederá a restituir la geometría de la excavación conforme al proyecto mediante concreto lanzado o hidráulico, dependiendo de la magnitud del caído.

3.5.3.2. PROCEDIMIENTO: DETALLADO PARA LAS EXCAVACIONES EN LA GALERÍA DE OSCILACIÓN.

OBJETIVO.

Establecer la metodología que debe seguirse para la excavación de la Galería de oscilación.

ALCANCE

Este procedimiento aplica para los trabajos de excavación de la Galería de Oscilación del Proyecto hidroeléctrico la Yesca.

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Descripción General

Las obras de generación se ubicarán en la margen derecha y comprenden: túnel de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación, túnel de desfogue, caverna de casa de máquinas, galería de oscilación, túneles de aspiración, y conducción tuberías a presión, como estructuras principales. Además, se incluyen en el proyecto túneles auxiliares de construcción, galerías, lumbreras de buses y ventilación, entre otros.

A continuación se describe la planeación de cómo se excavará la Galería de Oscilación.

Para excavar la Galería de Oscilación será necesario construir un túnel de acceso, "Vialidades Subterráneas", éste túnel llegará inicialmente a la elevación 425.15, para excavar la bóveda. En el procedimiento de excavación de la galería se detalla cada una de sus etapas.

Galería de Oscilación

Excavación

La Galería de Oscilación tendrá una longitud de 63.10 m, un ancho de 16.90 m. y una altura aproximada de 64.00 m. Contará con un acceso que inicialmente llegará a la elevación 425.65 y posteriormente en la excavación del primer banqueo a la elevación 416.75 que será el acceso definitivo.

Los servicios de apoyo como energía, agua técnica, aire comprimido y sistema de bombeo, se suministrarán continuando con las líneas provenientes desde superficie alimentando a los túneles de acceso y Casa de máquinas, para ello se harán las adecuaciones necesarias en los cruces de los túneles.

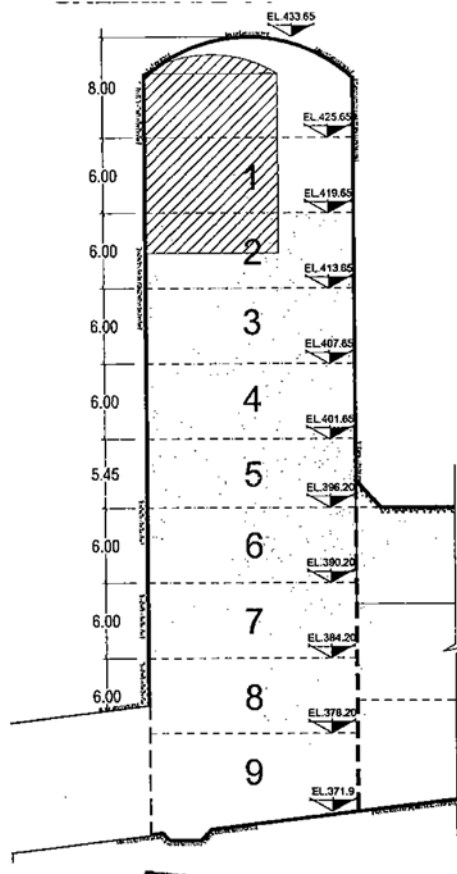
Bóveda

La bóveda está comprendida entre las elevaciones 425.65 y la 419.65. Se excavará por el método de barrenación y voladura. Para la barrenación se utilizará un jumbo electrohidráulico de tres brazos. La excavación se hará en dos etapas, a lo largo de la caverna, excavando media sección a lo ancho y llevando un desfaseamiento entre ellas de 10 metros.

Conforme se vaya avanzando, los tratamientos a la roca se harán dentro del ciclo de excavación. El material producto de la excavación se retirará utilizando un cargador frontal sobre neumáticos y camiones volteo con caja roquera.

La plantilla de barrenación se definirá en campo.

GALERIA DE OSCILACION.

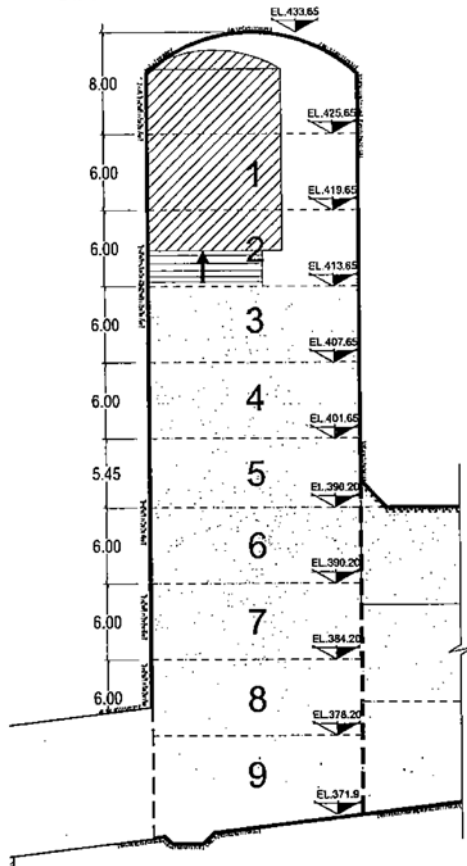


Primer banqueo.

El primer banqueo se realizará a partir de la elevación 425.65 a la elevación 419.65.

En esta etapa el rezagado será por el túnel de acceso a la Galería de Oscilación. Los avances de excavación serán de 5 m de longitud, la altura del banco para este caso será de 6.00 m, el equipo para la barrenación será una perforadora hidráulica de un brazo (Hidrotrack RAGER 500). Los tratamientos a la roca se llevarán atrás del ciclo de excavación y deberán estar concluidos antes de iniciar la excavación del segundo banqueo.

GALERIA DE OSCILACION



Segundo banqueo

Estará comprendido entre las elevaciones 419.65 y 413.65, en esta etapa el rezagado del material producto de la excavación será igual que en el primer banqueo se retirará por el túnel de acceso a la Galería de Oscilación. Los avances de excavación serán de 5 m de longitud, la altura del banco para este caso será de 6.00 m, el equipo para la barrenación será una perforadora hidráulica de un brazo (Hidrotrack RAGER 500).

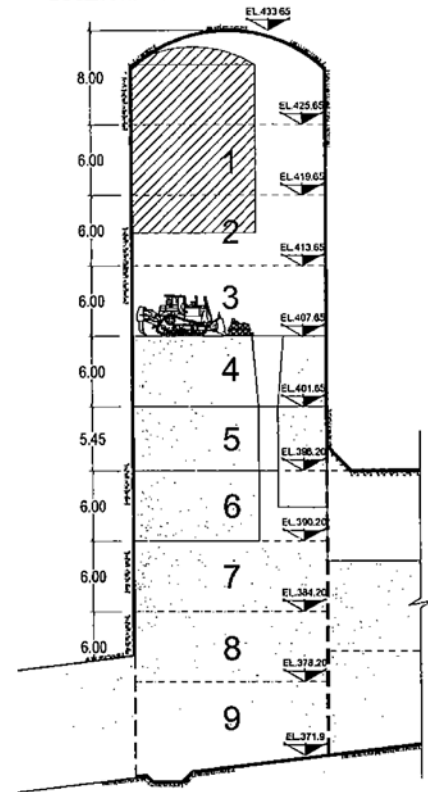
Para excavar esta etapa será necesario hacer una rampa de 4.5 m metros de ancho y llegar a la elevación 413.65, de ahí se procede a ampliar el banqueo a todo lo ancho de la caverna, las paredes se precortarán con barrenación horizontal, utilizando un jumbo electrohidráulico y/o perforadora hidráulica de un brazo.

Tercer banqueo

Estará comprendido entre las elevaciones 413.65 y 407.65, en esta etapa se continúa utilizando el túnel de acceso a la Galería de Oscilación y por medio de una rampa se retira el material producto de la excavación, adicionalmente se empleará un pozo auxiliar (Lumbrera de Servicio) el cual se irá ampliando a una sección de 5.00 x 3.00 m para terminar de retirar el material producto de la excavación.

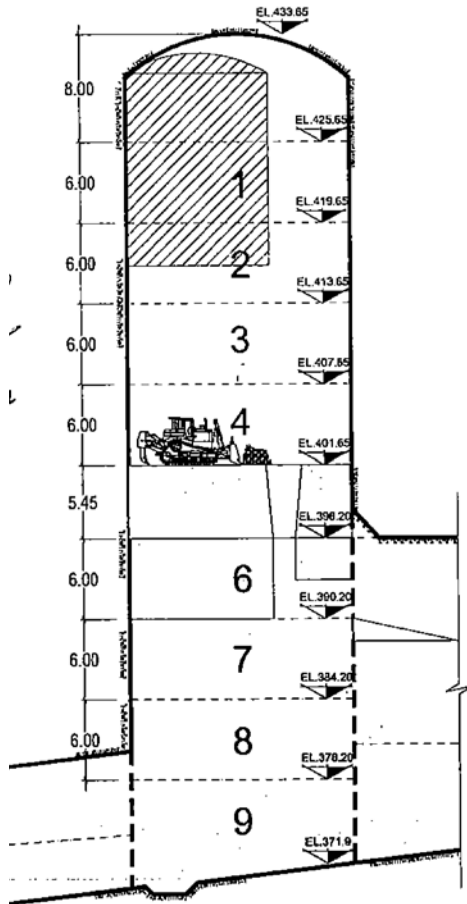
De este banqueo se inicia a barrenar el precorte, este tendrá longitudes de 13.40 a 15.30 metros en la pared de aguas arriba y la de aguas abajo respectivamente, para ello se utilizará un Track Drill o un hidrotrack RANGER 500 o similar.

GALERIA DE OSCILACION



A partir de esta etapa de excavación se dejan cautivos el equipo de barrenación y un tractor el cual se utilizará para retirar el material producto de las voladuras por la lumbrera de servicio. El material desalojado a partir de esta etapa saldrá por el túnel de desfogue.

GALERIA DE OSCILACION



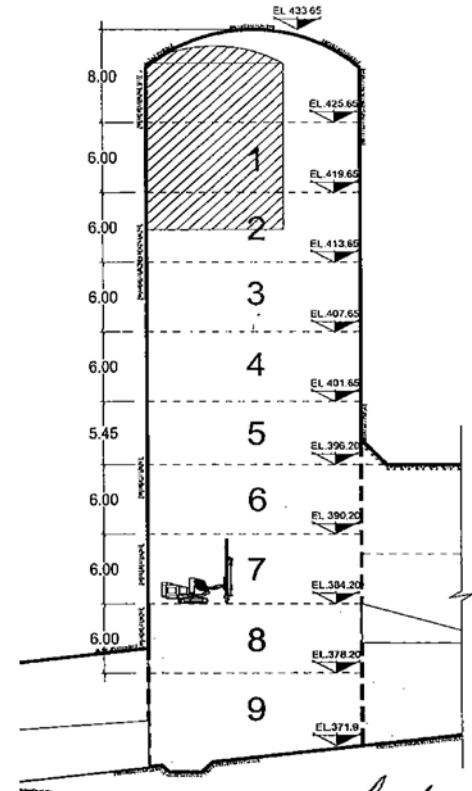
Cuarto banqueo y quinto banqueo

Estará comprendido entre las elevaciones 407.65 y 401.65; y de la 401.65 a 396.20 respectivamente, el material producto de la excavación se continuará retirando por la lumbrera de servicio que comunica este banco con el túnel de desfogue, esta se ampliará hasta tener un acceso franco al túnel de desfogue.

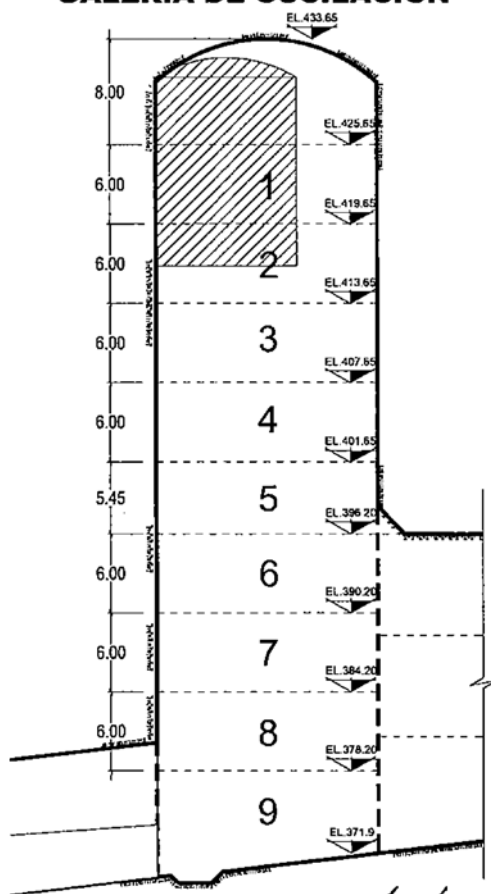
Sexto banqueo y séptimo banqueo

Estos banqueos serán realizados desde el túnel de desfogue; la barrenación se realizará con Hidro Track, la altura del banco será de 6.00 m. De la misma manera que en las etapas anteriores los tratamientos a la roca se ejecutaran conforme vaya avanzando la excavación.

GALERIA DE OSCILACION



GALERIA DE OSCILACION



Octavo y Noveno banqueo

Para el octavo y noveno banqueo la excavación se realizará de la misma manera que los anteriores, tomando en cuenta que conforme se vaya llegando al piso definitivo se irá conformando la rampa definitiva del desfogue hasta los túneles de aspiración.

Soporte

En la galería de oscilación se colocará anclaje de fricción, con las características que se indican a continuación:

Anclas de 38,1 mm de diámetro, de 6 y 9, 12, 15 y 18 m de longitud en la bóveda y en las paredes.

Anclas de 25,4 mm de diámetro, de 3, 6 y 9 m de longitud en las paredes, las anclas tendrán una placa metálica de apoyo.

Se coloca concreto lanzado con fibra metálica de 15 centímetros de espesor y un lienzo de malla electrosoldada, si así lo estableciera el diseño de detalle.

Si durante el proceso de excavación se presentara algún caído, se retirará dicho material y se procederá a restituir la geometría de la excavación conforme al proyecto mediante concreto lanzado o hidráulico, dependiendo de la magnitud del caído y lo indicado por la CFE.



En la bóveda de la Galería de Oscilación se perforarán barrenos para drenaje de 76,2 mm de diámetro, de 3 m de longitud.

3.5.3.3. PROCEDIMIENTO: DETALLADO PARA LAS EXCAVACIONES EN LAS LUMBRERAS DE BUSES, VENTILACIÓN Y CABLES.

OBJETIVO

Establecer la metodología que debe seguirse para la excavación de lumbreras.

ALCANCE

Este procedimiento aplica a los trabajos de excavación de las Lumbreras del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Descripción General

Las obras de generación se ubicarán en la margen derecha y comprenden: túnel de acceso a casa de máquinas y galería de oscilación, túnel de desfogue, la caverna de casa de máquinas, la galería de oscilación, túneles de aspiración, obra de toma y la conducción o tuberías a presión, subestación, como estructuras principales. Además, se incluyen en el proyecto túneles auxiliares de construcción, galerías, lumbreras de buses, cables, ventilación, lumbrera para el elevador y las de construcción.

A continuación se describe la planeación de cómo se excavarán las Lumbreras.

Lumbreras

Se deberán construir las lumbreras que se conectarán con la Casa de máquinas y la galería de oscilación:

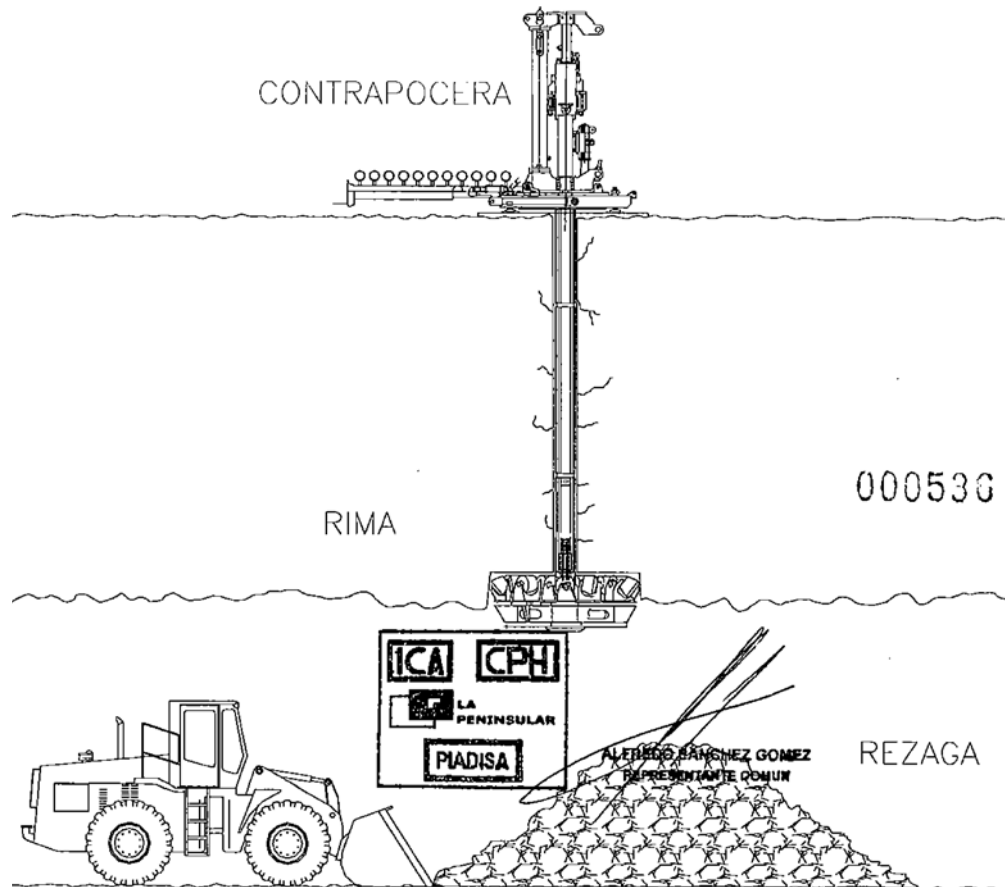
- a) Lumbreras de buses
- b) Lumbreras de ventilación
- c) Lumbreras de construcción
- d) Lumbrera de cables
- e) Lumbrera para el elevador

Excavación

Lumbreras de buses.

Las lumbreras de buses tendrán una sección de excavación de 6.60 metros de diámetro y una longitud de proyecto de 184.65 metros de longitud hasta la clave de la galería de buses, es decir, de la elev. 580.00 a 395.35, la lumbrera se excavarán en dos etapas, en la primera se utilizará una contrapocera de 2,40 metros de diámetro, y la

segunda para su ampliación a sección de proyecto, se hará utilizando el método de barrenación – voladura.



La primera etapa servirá para desalojar el material producto de las voladuras durante la segunda etapa.

Previo al inicio de excavación de la primera etapa, en la plataforma de la Subestación, la cual deberá estar a la elevación 580.00, se deberá contar con las instalaciones provisionales como son: energía eléctrica, para agua con la cual se alimentará a la contrapocera durante la excavación y la base donde se instalará la contrapocera.

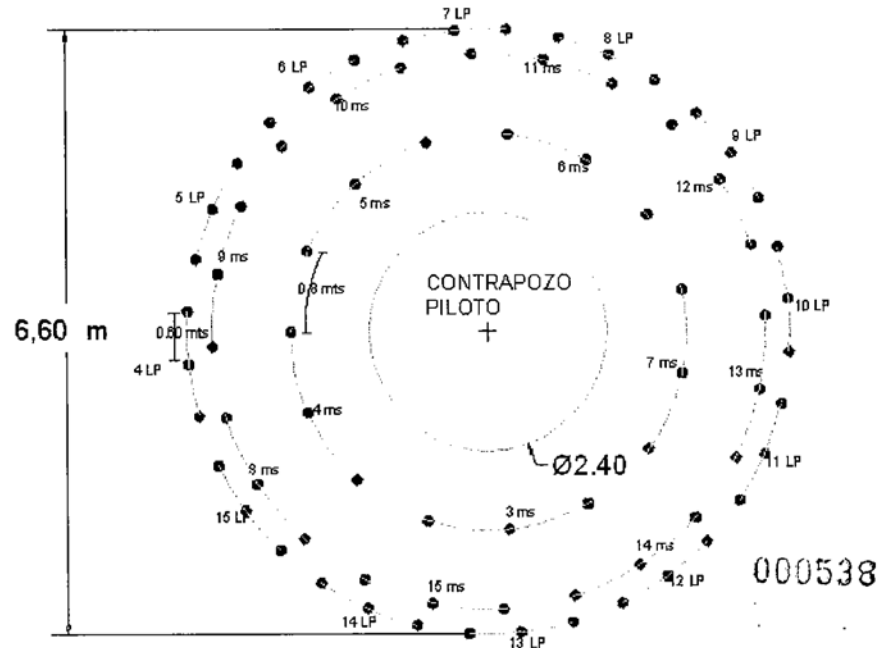


Cuando la plataforma donde se instalará la contrapocera esté terminada, el área de topografía trazará nuevamente los ejes para el inicio de la barrenación. Colocado el equipo se procede a anclarlo en sus extremos para evitar movimientos por efecto de la perforación, Antes de dar inicio con la perforación se verificará que exista el cárcamo para reciclaje del agua del sistema de barrenación del equipo, una vez verificadas las instalaciones y el equipo se procede a perforar, en tramos de 1.52 m, que es lo que miden las barras de perforación y así ir agregando éstas hasta llegar a la profundidad requerida. Durante las etapas de perforación se llevarán los registros correspondientes, verificando constantemente la profundidad.

Una vez concluido el barreno se traslada la rima (diámetro de 2.40 m,) al sitio donde salió el barreno, en este caso debido al programa de excavación de la Casa de Máquinas y no interferir con las excavaciones de la caverna el barreno piloto se prolongará hasta el túnel de aspiración, en esa área con anticipación se ha nivelado la superficie y se ha llevado la rima para acoplarse a las barras de perforación, haciendo los cambios necesarios al equipo. Durante el rimado se procurará estar retirando el material producto la perforación, para evitar que se forme un tapón que afecte al equipo y a la construcción de la lumbrera, en forma alterna se estará agregando agua desde la superficie para evitar el alto índice de producción de polvos producto de la fricción que se presenta durante el corte de la roca. Adicionalmente se colocarán mamparas de lonas en la zona de arranque del rimado, para evitar el paso de polvo a las zonas de trabajo de otras áreas, el rimado al igual que la perforación será en tramos de 1.52 m ya que se va ir retirando los tubos del equipo de rimado, en la plataforma de la subestación, hasta concluir la excavación.

Los trabajos de la segunda etapa consisten en la ampliación a sección de proyecto, e inician con la excavación para alojar un brocal de concreto hidráulico en la parte superior de la lumbrera y servirá para evitar que el material se desborde caiga hacia la lumbrera durante el proceso de excavación. Terminado el brocal se continuará con la ampliación siguiendo el ciclo de excavación: trazo topográfico, barrenación en el frente, carga, voladura, ventilación, rezagado, amacice, levantamiento geológico y colocación de tratamiento de soporte.

La ampliación se realizará con voladuras convencionales al diámetro de proyecto, y la rezaga se retirará por medio de una retroexcavadora CAT 416 ó similar, la cual se bajará a la zona de la voladura, además del personal destinado para este fin. El material se manda hacia abajo por el barreno del rimado y se sacará por la zona de los túneles de aspiración en donde se cargará y retirará por los túneles de casa de maquinas. Para la barrenación se contará con perforadoras neumáticas de piso y/o de pierna.



El tratamiento de estas lumbreras será mediante anclaje, concreto lanzado y drenes cortos y/o largos de acuerdo a lo indicado en los planos de ingeniería de detalle. En las zonas que se requiera de concreto lanzado, este se realizará con un equipo manual Aliva o similar para vía húmeda, colocando línea de conducción de concreto hasta los puntos de lanzado

En las dos actividades de barrenación, para anclas y drenes sobre la superficie ampliada de la lumbrera, tenemos la alternativa de realizarla con perforadora de pierna o con un track-drill.

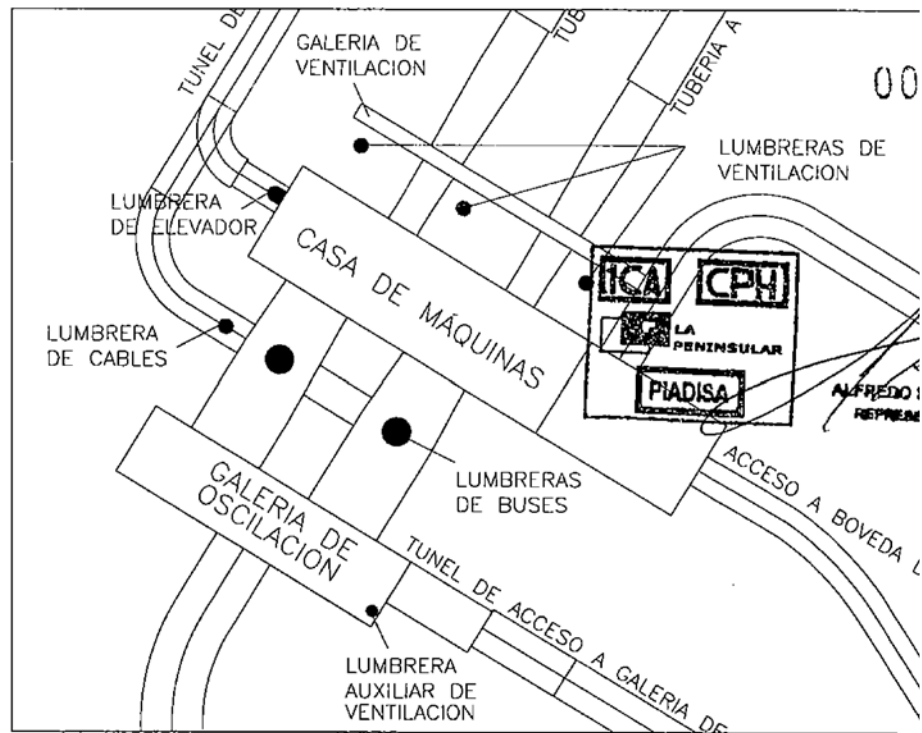
Lumbreras de ventilación.

Las lumbreras de ventilación que son 3, al igual que las de buses se excavarán utilizando una contrapocera pero con la diferencia que estas se harán en una sola etapa ya que su sección de excavación es de 3.10 metros y una longitud de 181.70 metros, de la elevación 580.00 en subestación a la 398.30 de la bóveda de la galería de ventilación.

Para poder efectuar la excavación, se procederá con el método de contrapozo con barreno piloto y rimado.

Para la excavación de las lumbreras será necesario la construcción de una galería que conecte con las tres lumbreras para poder acceder con la rima de la contrapocera para su excavación y rezaga, la cual ha de realizarse por el túnel de acceso a la casa de máquinas.

Para el soporte se colocarán anclas, concreto lanzado y drenes según proyecto.



Lumbrera de cables.

La lumbrera de cables tendrá un diámetro de excavación de 3.10 metros y un longitud de la El.580.00 a la El.380.65 (199.35 m de altura) y para su excavación será necesario tener liberada la zona de la subestación y la casa de Maquinas a la elev. 380,65 ya que a esa elevación se recibirá el barreno piloto, para ello se construirá la galería de cables de casa de maquinas. La excavación será en una sola etapa y se procederá de acuerdo al método de contrapozo con barreno piloto y rimado.

Lumbrera para el elevador

La lumbrera del elevador tendrá un diámetro de excavación de 3.20 metros y una longitud de la El.580.00 a la El.413.50 (166.50 m de altura) y para su excavación será necesario tener liberada la zona de la subestación y la casa de Máquinas a la elev. 405.50, en paralelo se estarán realizando los banqueos de la Casa de Máquinas. La excavación será en una sola etapa y se procederá de acuerdo al método de contrapozo con barreno piloto y rimado. Esta lumbrera servirá para ventilar la caverna de la Casa de Máquinas durante la etapa de excavación.

Lumbrera auxiliar de construcción

La lumbrera de construcción servirá para ventilar la caverna de Galería de Oscilación tendrá un diámetro de 2.40 metros y una longitud de 146.50 metros, de la elevación 580.00 a la 433.50. La excavación será en una sola etapa y se procederá de acuerdo al método de contrapozo con barreno piloto y rimado. Esta lumbrera servirá para ventilar la caverna de la Galería de Oscilación durante la excavación y colocación de los concretos. Al finalizar los concretos en la Galería de Oscilación la CEE indicará que tratamiento procede.



CAPÍTULO IV. MEDIDAS DE SEGURIDAD.



IV. MEDIDAS DE SEGURIDAD.

1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD.

Dentro del proyecto, el personal tanto activo como pasivo son vitales, es decir, el personal es el recurso más importante dentro del mismo. De ahí que la seguridad no es únicamente responsabilidad de una sola persona o de un equipo, sino que es una actitud de prevención a la cual se le llama conciencia de seguridad.

La conciencia de seguridad, es una responsabilidad individual del personal que trabaja solo o en equipo: es salud mental con actitud positiva a realizar actividades bien hechas desde la primera vez, conscientes del riesgo en material que se maneja.

Los accidentes suceden cuando no existe el control total sobre los materiales del explosivo. Por esta razón es importante que se tenga en cuenta que, por el tipo de material con el que se trabaja, toda persona relacionada con él, así también el personal que no esté directamente relacionado con esa área, pero que forman parte del proyecto, consideren el riesgo que implica esta actividad ya que unas personas dependen de las otras.

Un punto importante que se debe tener en consideración es la adecuada y constante capacitación al personal involucrado en el uso y manejo de los explosivos.

Los accidentes son las situaciones más comunes que suelen suceder dentro de este ramo y las principales causas se mencionan a continuación:

1. Humanas
2. Rocas en vuelo
3. Climáticas

1. Humanas:

- Falta de planificación para realizar la actividad.
- Mantenimiento de barrenos.
- Detonación accidental (choque de metales)
- Almacenamiento inadecuado, inseguro o falta de rotación del material explosivo.
- Transporte de explosivos en vehículos inadecuados o no especializados.
- Transporte de explosivos y accesorios conjuntamente.
- Limpieza inadecuada del transporte y área de trabajo.
- Procedimientos inadecuados, actos inseguros como fumar en el área de peligro latente.
- Falta de empaque seguro, en el material de alto riesgo.
- Falta de estrategias en el manejo adecuado de los materiales utilizados.



2. Rocas en vuelo.

Se determina roca en vuelo a cualquier roca proveniente de la voladura que lleva una trayectoria peligrosa. Las principales causas de roca en vuelo son:

- Taco insuficiente.
- Taco pobre (fino).
- Alto factor de carga.
- Corto tiempo entre barrenos.
- Barrenos fuera de tiempo.

3. Climáticas

Estos eventos se encuentran fuera de la ejecución del evento ya que son impredecibles como es el caso de las lluvias, temblores o incluso deslizamientos, pero que se puede contar con la preparación para sobrellevar o actuar en caso de una contingencia en el sitio de la voladura.

Para la realización de las voladuras con una máxima seguridad en todos los aspectos que esto involucra se pueden mencionar algunos puntos:

Áreas de la voladura.

Este punto se divide en tres zonas:

a) Lugar de la voladura.

Se considera como el lugar de voladura al área en donde se aplican los explosivos y el perímetro que abarca a partir de la plantilla, hasta 16 metros a la redonda partiendo del punto cero, es decir el sitio cargado, esta área se determina extremadamente peligrosa.

b) Área de voladura.

Es donde el efecto de la onda de choque aun produce riesgo por los fragmentos de roca en vuelo, la emisión de gases, las afectaciones al personal, equipo e instalaciones.

c) Zona de seguridad.

Es el lugar donde existe una mínima probabilidad de daño, en caso de producirse una roca en vuelo, o algún evento sin mayor riesgo. En cuestión de Medio Ambiente se debe tomar en cuenta que existen afectaciones nocivas ya que al realizar una voladura es causa de la liberación de energía, la cual provoca perturbación al medio en que se ejecuta. Por esta razón se producen los siguientes efectos:

- Ruido.
- Vibración.
- Emisión de gases.
- Grietas.
- Deslizamientos.



Alrededor del 80% del ruido producido en las voladuras normales proviene de la ignición del cordón detonante.

Otro aspecto importante para la seguridad dentro del evento, es conocer el terreno y saber de la existencia de cavernas, ya que esto implica modificar las plantillas, de manera que queden rodeadas con barrenos bien distribuidos y alineados de tal manera que se evite una sobrecarga o conectar explosivo en exceso en un solo barreno, y se fugue la energía, para evitar esto se pueden usar aditamentos para no sobrecargar el barreno.

A demás de contar con la información geológica del terreno, para saber si es terreno quebrado con oquedades o cavernas; se debe conocer los Controles de información del perforista ya que él conoce las condiciones del área a perforar.

Para evitar accidentes a la hora de la carga de los barrenos es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Disparos simultáneos (sin retardos)
- Tacos intermedios
- Desvíos de barrenos
- Controles de información directa del perforista para determinar el contacto y las condiciones.
- Disparar primero esa sección, y seguidamente de otra, es decir, en banqueo.

Y verificar la existencia de:

- Cavernas
- Vetas de lodo

Acciones preventivas.

Humanas.

- Evitar la sobre excavación terminando de recoger toda la rezaga y rebasar el corte debilitando las paredes de los barrenos.

Acciones Controladas.

- Delimitar con conos o banderolas en la parte superior y accesos al sitio, para evitar el avance de la maquinaria.
- Emparejar primero frentes, barrenos de costilla (laterales)
- Regular la carga
- Cubrir el cordón detonante con una capa mínima de arena de 30 cm, arcilla o lodo sin que lleve piedras o fragmentos grandes.
- Excesiva carga explosiva
- Evitar grietas y cavidades
- Barrenos desviados a la cara libre
- Bordos irregulares



- Verificar que después de cada voladura no existan barrenos quedados, en caso de ser así, realizar el corte de la señal hacia el cebo ya que no existe control sobre ellos.
- Extraer todo el explosivo
- Tratar de diluirlo o iniciarlo
- Taparlo con material fino (si es posible)

1.2. ALMACENAJE.

El almacenaje de materiales explosivos está reglamentado por la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, la cual informa sobre los requerimientos de almacenamiento, permisos de comerciantes y fabricantes, expedición de permisos a usuarios, de informes a la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), tabla de compatibilidad de materiales explosivos, etc. Los polvorines deben mantenerse secos, frescos y bien ventilados y deben estar autorizados por la SEDENA para ser usados, estos se clasifican de acuerdo al uso que se le tenga destinado.

1. Edificio permanente, a prueba de balas, resistente a las condiciones atmosféricas adversas y a prueba de fuego y robo.
2. Polvorín portátil o móvil usado interiormente o exteriormente, siendo el interno no resistente a las balas, debe ser a prueba de fuego y robo.
3. Polvorín portátil, usado como transferencia al lugar de la voladura, a prueba de balas, fuego, robo y condiciones climatológicas.
4. Polvorín portátil o móvil usado para materiales no sensibles al impacto de una bala (pólvora negra, estopines 4ft, etc.) a prueba de balas, fuego, robos y condiciones atmosféricas adversas.
5. Polvorín portátil para productos que no son sensibles al impacto de una bala, tanque, tráiler, carro-tanque, tolva la cual sirve para almacenar anfo o nitrato.

La localización de los polvorines, es regulada por la tabla de distancias, que determina de acuerdo a la cantidad de explosivo almacenado la ubicación adecuada a líneas eléctricas, ferrocarril, carreteras, lugares habitados y otros polvorines.

Se debe tener acceso limitado, sólo personal autorizado por la SEDENA, delimitando el sitio con doble malla ciclónica, conteniendo ésta letreros alusivos como "peligro explosivos", "no fumar" etc.

Debe tener vigilancia las 24 horas del día, los techos deben ser a prueba de balas, debe tener una adecuada ventilación a manera que no se caliente o contenga humedad en exceso, las puertas deben ser a prueba de balas y tener un interior que no provoque chispas. Si son portátiles o no, deben ser a prueba de robos, al estibar en su interior se debe dejar un espacio entre la pared y la estiba para la libre ventilación. En un lugar visible debe de tenerse una copia del permiso general y reglas de seguridad básicas tales como: no portar cerillos, encendedores, armas de fuego, etc. Así como de las firmas autorizadas para el retiro de material.

Como regla general deben de estar separados hasta sus últimos momentos iniciadores y explosivos. A demás que no deben aventarse ni dejarse caer.



1.3. TRANSPORTE.

Los vehículos destinados para el transporte de explosivos, deben reunir los requisitos que establece la Secretaría de la Defensa Nacional.

- Caja cerrada y el interior recubierto con material antichispas.
- Letreros externos con leyenda "peligro explosivos" en ambos lados y parte trasera de la caja.
- Portacandados
- Sirena
- Banderolas en extremos de las dos defensas
- Caja especial para artificios
- Extinguidores (cabina y caja)

En general se deben mantener limpios y en buenas condiciones mecánicas, cualquier falla debe ser reparada inmediatamente, antes de volver a transportar cualquier material explosivo. No deberá transportar otros materiales o sustancias que puedan dañar o alterar el aislante del contenedor (tambos con diesel, carretillas, barras). Si se tienen camiones para la elaboración del anfo, deben tener letrero de explosivos y de igual manera mantenerse limpios y en buenas condiciones mecánicas.

En la ejecución del proyecto se debe tener la responsabilidad de estar completamente informado de todas las leyes, códigos, ordenanzas, reglamentos, ordenes y decretos de cuerpos o tribunales que tengan cualquier jurisdicción o autoridad, que en cualquier forma afecten el manejo de la obra.

Se debe observar y cumplir en todo momento con dichas leyes, códigos, ordenanzas, reglamentos, ordenes y decretos, debiendo dejar a representantes legales contra cualquier juicio, reclamo o demanda por cualquier daño o perjuicio que ocasione cualquier persona o propiedad durante la ejecución de la obra por responsabilidad original o basada en la violación de cualquiera de tales leyes, códigos, ordenanzas, reglamentos, ordenes y decretos.

Se debe obtener todos los permisos y licencias para el desarrollo de sus trabajos y pagar todos los derechos e impuestos.

Para el caso de aplicación del uso de explosivos a través de su representación legal se gestionan los permisos para uso de los mismos, con anticipación a fin de que el proyecto pueda realizarse con estos materiales.

Antes, durante y después de cargada la voladura todo excedente o sobrante por pequeño que este sea debe regresarse al polvorín, no debe extraerse del lugar ningún tipo de material explosivo bajo el riesgo de hacerse acreedor a multas y sanciones por parte de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) según estipula la Ley Federal de Armas de Fuego y su Reglamento, como lo mencionan los siguientes artículos;



Art. 86.- Se impondrán de seis meses a seis años de prisión y de diez a trescientos días de multa a quienes sin permiso respectivo;

- Compren explosivos
- Transporten, organicen, reparen o almacenen los objetos aludidos a esta Ley.

Art. 87.- Se impondrá de un mes a dos años de prisión y de dos a cien días de multa a quien:

- Enajene explosivos, artificios o sustancias químicas relacionadas con explosivos a negociaciones o personas que no tengan el permiso de la SEDENA.

Art. 80.- Quienes tengan permiso o autorizaciones en los términos de la Ley, están obligados a cumplir con las medidas de seguridad que dicten las autoridades competentes, así como rendir los informes técnicos y generales que les soliciten.

Uso de Explosivos

El uso de explosivos es permitido únicamente con la aprobación y supervisión del personal de seguridad, con la previa información técnica y diseño del plan de voladura que éste solicite. Antes de realizar cualquier voladura se deberán tomar todas las precauciones necesarias para la protección de las personas, vehículos, instalaciones y cualquier otra estructura o área de trabajo adyacente al sitio de las voladuras. Es responsabilidad del Jefe de frente así como del personal de Seguridad la prevención y cuidado de la vida de las personas establecer medidas preventivas de seguridad, las cuales serán verificadas por el Supervisor en turno y el Informe posterior a la actividad ejecutada.

Se Considera que:

- (1) La voladura se efectúe siempre que fuera posible a la luz del día y fuera de las horas de trabajo o después de interrumpir éste. Si fuera necesario efectuar voladuras en la oscuridad debe contarse con la iluminación artificial adecuada.
- (2) El personal asignado a estos trabajos esté provisto y use los implementos y equipo de seguridad: casco, zapatos, guantes, lentes y tapones de oídos apropiados para dicha actividad.
- (3) Aislar la zona en un radio mínimo de 500 metros y caminos de acceso al sitio. Para impedir el ingreso de personas a la zona peligrosa mientras se efectúan los trabajos de voladura tomar las siguientes medidas:
 - (a) Apostar personal capacitado alrededor de la zona de operaciones
 - (b) Desplegar banderines de aviso o sirenas preventivas.
 - (c) Fijar avisos visibles en diferentes lugares del perímetro de la zona de operaciones.
 - (d) Cerrar el tráfico de vehículos y maquinaria, verificar que no se encuentren estacionados vehículos en las inmediaciones.
- (4) Cinco minutos antes de la voladura y en secuencia periódica debe darse una señal audible e inconfundible (sirena intermitente) para que las personas se resguarden en lugares seguros previamente fijados.



Después de efectuada la voladura y una vez que el personal de seguridad se haya cerciorado de que no hay peligro se restablecen los accesos.

Es de suma importancia tomar en cuenta el cumplimiento fiel a las disposiciones legales vigentes para la adquisición, transporte, almacenamiento y uso de los explosivos e implementos relacionados. Según lo establecido por el Reglamento de Seguridad

Se debe llevar un registro detallado de la clase de explosivo adquirido, proveedor, existencias y consumo, así como de los accesorios requeridos.

En ocasiones se podrá utilizar explosivos especiales de fracturación si demuestra, a satisfacción que con su empleo no causará daños a estructuras existentes no afectará el terreno que debe permanecer inalterado, en especial los taludes que puedan quedar desestabilizados por efecto de las voladuras.

Los vehículos que se utilicen para transportar los explosivos deben observar las siguientes medidas de seguridad a fin de evitar consecuencias nefastas para la vida de los trabajadores y del público:

- (1) Hallarse en perfectas condiciones de funcionamiento.
- (2) Tener un piso compacto de madera o de un metal que no produzca chispas.
- (3) Tener paredes bastante altas para impedir la caída de los explosivos.
- (4) En el caso de transporte por carretera estar provistos de por lo menos dos extintores de incendios de tetracloruro de carbono.
- (5) Llevar un banderín visible, un aviso u otra indicación que señale la índole de la carga.

Los depósitos donde se guarden explosivos de manera permanente deberán:

- (1) Estar contruidos sólidamente y a prueba de balas y fuego.
- (2) Mantenerse limpios, secos, ventilados y frescos y protegidos contra las heladas.
- (3) Tener cerraduras seguras y permanecer cerrados con llave al cual solo tendrá acceso el personal autorizado y capacitado.
- (4) Solo utilizar material de alumbrado eléctrico de tipo antideflagrante.
- (5) Mantener alrededor del depósito un área de 8 metros de radio de distancia como mínimo que esté limpia, sin materiales de desperdicio, hojas secas o cualquier combustible.

En ningún caso se permitirá que los fulminantes, espoletas y detonadores de cualquier clase se almacenen, transporten o conserven en los mismos sitios que la dinamita u otros explosivos. La localización y el diseño de los polvorines, los métodos de transportar los explosivos y, en general, las precauciones que se tomen para prevenir accidentes, estarán sujetos a la aprobación del Supervisor de seguridad.

El personal que intervenga en la manipulación y empleo de explosivos deberá ser de reconocida práctica y pericia en estos trabajos, y reunirá condiciones adecuadas en relación con la responsabilidad que corresponda a estas operaciones.



Se suministrará y colocará las señales necesarias para advertir al personal de su trabajo con explosivos. Su ubicación y estado de conservación garantizarán, en todo momento, su perfecta visibilidad.

En todo caso, se cuidará especialmente de no poner en peligro vidas o maquinaria y equipo, y procurar evitar daños que se deriven del empleo de explosivos durante la ejecución de las obras.

El almacenamiento, transporte, manejo y uso de explosivos se realizará según lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, en lo que se refiere a la utilización de explosivos, incluyendo además algunas recomendaciones como las que se mencionan a continuación:

- Contar con los mecanismos y procedimientos que garanticen la mínima afectación a los recursos naturales de la zona. Se establecerá un manejo adecuado de los explosivos para prevenir y minimizar los daños que se pueda ocasionar al medio ambiente y al mismo tiempo evitar la remoción innecesaria de material.
- Su uso requerirá la supervisión de personal capacitado, asegurando que no se ponga en peligro las vidas humanas, el medio ambiente, obras, construcciones existentes por riesgo a accidentes.
- Se deberá almacenar el mínimo posible de explosivos que permita realizar normalmente las tareas habituales. El manejo de explosivos debe ser realizado por un experto, a fin de evitar los excesos que puedan desestabilizar los taludes, causando problemas en un futuro.

El proveedor se encargará de entregar los explosivos en el sitio de obra. En caso de que el personal del proyecto se encargue del transporte de los explosivos, se deberá usar un vehículo fuerte y resistente, en perfectas condiciones, provisto de piso de material que no provoque chispas, con los lados y la parte de atrás de altura suficiente para evitar la caída de material, deben llevar extintores de tetracloruro de carbono, y de utilizarse un camión abierto, deben cubrirse con una lona a prueba de agua y fuego.

4.4 ACCIDENTES.

Es importante informar al Supervisor de la ocurrencia de cualquier accidente sucedido durante la ejecución de los trabajos en forma inmediata y en el término de la distancia, debiendo además efectuar el aviso respectivo a la autoridad competente de la zona de trabajos. Así mismo deberá mantener un archivo exacto de todos los accidentes ocurridos que resulten en muerte, enfermedad ocupacional, lesión incapacitante y daño a la propiedad del Estado o Privada. El archivo de accidentes deberá estar disponible en todo momento para ser inspeccionado por el Supervisor.

El Contratista deberá sujetarse a las disposiciones legales vigentes de Seguridad Laboral a fin de controlar los riesgos de accidentes en la obra, y en concordancia con dichas normas diseñar, aplicar y responsabilizarse de un programa de seguridad para sus



trabajadores. Además debe contar con informes actualizados de mantenimiento de los vehículos y equipos que se utilizan en la ejecución de la obra según normas vigentes.

Es responsabilidad del Supervisor programar periódicamente y a intervalos apropiados las respectivas inspecciones de la implementación de los planes de seguridad. El Supervisor debe coordinar y elaborar un Informe de observación con las indicaciones respectivas cuando se verifique la necesidad de prever un ajuste o subsanar un vacío en cuanto medidas de seguridad. La custodia del archivo de accidentes será responsabilidad del área de Seguridad.



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.



1.1. CONCLUSIONES.

Para este y cualquier otro tipo de proyectos civiles de tales dimensiones es necesario planear estudios geológicos y geofísicos que ayuden a determinar la geología estructural de la región en donde se pretenda realizar las obras de construcción, motivo por el cual se deben llevar a cabo análisis de alternativas y estudios de factibilidad para evaluar los puntos o características que afectan o favorecen a la planeación, diseño y ejecución del proyecto tomando en cuenta que dichos estudios se deben realizar en la zona donde se pretende construir, de esta manera se minimiza la posibilidad de complicaciones constructivas posteriores.

Es importante que durante la etapa de los estudios realizados como exploraciones geológicas, geotécnicas y geofísicas del sitio de la boquilla para obtener información del macizo rocoso mediante trabajos de mapeo de superficie y excavaciones subterráneas se cuente con los conocimientos necesarios para poder interpretar la geología estructural del sitio, esto lleva como consecuencia la mejor definición de un esquema de trabajo, para un diseño general de obras y que no sea objeto de constantes modificaciones y que resulte como un proyecto que se va definiendo conforme a las exploraciones programadas según los avances de la obra.

En un tema como el que se aborda en este trabajo de investigación, los métodos utilizados como los conocimientos técnicos para realizar esta actividad, son la base para la ejecución correcta y precisa, proporcionando la mejor seguridad en cuanto a calidad y protección civil se refiere. La información del proyecto sirve como base o guía para realizar trabajos de excavación poco conocidos como lo es el uso de explosivos desde su clasificación y accesorios hasta su aplicación; abarcando la seguridad que se debe tener al utilizarlos, puesto que representan un peligro latente en su uso y manejo, además de que se necesitan permisos según su uso. Esto da como resultado que el personal que interviene cuenta con el conocimiento suficiente para la manipulación y empleo de los explosivos, con la responsabilidad que implica la conservación del área de trabajo como de las vidas humanas que se encuentren laborando en el proyecto.

La investigación previa a la realización de infraestructura, constituye un soporte fundamental para una adecuada definición de los procedimientos constructivos. La investigación documental y las pruebas de campo forman los cimientos para la realización de un proyecto ejecutivo, los cuales respaldados por el conocimiento técnico del Ingeniero así como su experiencia en su área de competencia, generarán lineamientos que permitirán una adecuada planeación y ejecución de las obras.

En este sentido, los estudios geotécnicos constituyen una parte medular del desarrollo de los proyectos de infraestructura, en particular de la construcción de proyectos hidroeléctricos.

La experiencia acumulada a partir de los trabajos de Desarrollo Práctico realizados en el Proyecto Hidroeléctrico "La Yesca", será fundamental en el desarrollo profesional personal, en virtud del amplio conocimiento de la disciplina que la labor en campo permitió recoger. La labor multidisciplinaria e interdisciplinaria que se lleva a cabo en este tipo de proyectos, permite, a quienes tenemos la oportunidad de participar en ellos, adquirir un conocimiento sólido de la Ingeniería, en sus diferentes áreas al cual sería muy difícil acceder en algún otro proyecto.



1.2. RECOMENDACIONES.

- Una eficaz investigación, previa a la realización de estudios de campo, permite una planeación adecuada de los trabajos de prospección.
- Los estudios geotécnicos son parte fundamental para la selección de los procedimientos constructivos, sin embargo la experiencia del personal a cargo del proyecto así como de la construcción serán determinantes en el arreglo final de la infraestructura.
- Se debe contar con una o varias alternativas que cumplan con las condiciones requeridas por el proyecto y que sean lo más adecuadas posibles al mismo, así se evitan atrasos o incluso paro parcial o total de los trabajos.
- Es necesario realizar capacitaciones constantes al personal que interviene en la ejecución de los trabajos de construcción, logrando así una mayor calidad y mejores resultados para el proyecto.



1.1. GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Ancla de fricción ó tensión.- Varilla de acero de refuerzo embebida en toda su longitud con mortero cemento-arena dentro de un barreno, elemento que puede tener un diámetro y longitud variable de 6, 9 y 12, que se utiliza para mejorar la estabilidad y competencia estructural del macizo rocoso.

Amacice.- Actividad relacionada con desprender de las paredes y bóveda todo el material dislocado y en condiciones de inestabilidad potencial, después de cada voladura.

Acarreo.- transporte de materiales desde el frente de trabajo hasta los lugares de utilización, almacenamiento o desperdicio

Acero de Refuerzo.- Varilla de acero corrugada de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " de diámetro, $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$. La varilla de acero corrugada; es el elemento utilizado en el concreto para absorber los esfuerzos de tensión.

Bajo excavación.- toda excavación que no alcanza la línea de proyecto considerada en el diseño y que requiere excavación adicional " o peine"

Bola de esponja.- Es una pelota de goma esponjosa que se utiliza en la limpieza e las tuberías de bombeo de concreto.

Brida.- Son acoplamientos no roscados entre los tubos, para el montaje desmontaje rápido de las tuberías de bombeo de concreto.

Banqueo.- Proceso de excavación vertical entre una elevación y otra.

Barreno.- Perforación realizada de acuerdo al diagrama de voladura, con el diámetro de proyecto.

Barreno para Drenaje.- Perforación con diferentes grados de inclinación con respecto a la horizontal, de diámetros y longitudes variables

Concreto Lanzado.- concreto que sirve para proteger del intemperismo y estabilizar el macizo rocoso.

Cimbra.- Es el sistema total de apoyo para el concreto recién colocado; incluye el apoyo estructural o fijación y apuntalamiento que se requiere, como apoyo temporal mientras se alcanza el fraguado del concreto. Generalmente se realizan moldes de madera o Metálicos.

Concreto.- Es una mezcla e materiales compuesta por grava, arena, agua, cemento y aditivos; todos estos insumos son dosificados en cantidades determinadas en el laboratorio de control de calidad mediante ensaye de mezclas. En el proyecto, se utilizará un concreto de $f'c = 19.8\text{ MPa}$ (200 kg/cm^2)

Caídos.- derrumbe de bloques o porciones de material no perfilado o amacizado



Concreto Bombeado.- Es concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos y un tramo de manguera para descarga.

Curado.- Consiste en proporcionar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el concreto recién colocado, de modo que éste desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él. Un concreto curado adecuadamente, alcanzará su máxima resistencia y durabilidad, será más impermeable y tendrá menor riesgo de fisuración.

Contrapocera.- Equipo de perforación

Concreto lanzado.- Recubrimiento de las paredes de la excavación mediante concreto proyectado con presión de aire para formar el sostenimiento de la excavación que puede ser provisional o definitivo.

Doblez.- Es la forma que se le da al acero de refuerzo para cumplir con la geometría requerida en el proyecto ejecutivo.

Desencofrante.- Es un desmoldante para cimbra compuesto a base de derivados parafínicos y solventes, para evitar la adherencia entre el concreto y la cimbra.

Diablo.- Se utiliza para lavar la tubería de concreto, una vez terminado el colado. Se utiliza sobre todo cuando existe peligro de que queden restos de material.

Ésteres (ÉSTER).- química, cuerpo que resulta de la acción de un ácido sobre un alcohol con eliminación de agua.

Especificaciones.- conjunto de normas, disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que se estipulan para la construcción de una obra

Habilitado.- Es el proceso para dar las formas requeridas conforme a los planos de proyecto.

Inyección de consolidación. Es un tratamiento cuyo propósito es el de mejorar las propiedades mecánicas de la roca de cimentación, mediante la inyección a presión de lechada de agua/cemento, que sellen grietas y fisuras a través de barrenos distribuidos a cada 3,0 m en ambos ejes del plinto, y a una profundidad promedio de 20,0 m

Junta de construcción.- Son necesarias para dividir la estructura o revestimiento, en segmentos que puedan construirse de una manera lógica y eficaz. De hecho, se debe construir cuando haya necesidad de interrumpir la colocación del concreto por cualquier motivo, incluyendo la finalización de una jornada de trabajo.

Lechada de inyección. La lechada de inyección se emplea para los tratamientos de consolidación e impermeabilización de la roca. Dicha mezcla, está constituida con una relación de agua/cemento (A/C) variable de 0,8/1 a 1,0/1 en peso del cemento, aditivo superfluidificante y estabilizador de volumen, ambos dosificados con relación al peso del cemento.



Marco metálico.- Perfil estructural de sección de IR de 12" que servirá para soportar el macizo rocoso en las zonas determinadas en los planos de proyecto y en las zonas que el departamento de geotecnia establezca y/o los sitios o frentes que determinan las zonas que físicamente establecen su necesidad.

Método GIN. Método de inyección de presión constante. Es el procedimiento específico para realizar la inyección de lechada.

Obturadores. Es un dispositivo generalmente de neopreno que al expandirse contra la pared del barreno permite aislar la zona de trabajo de un barreno de inyección. En el interior tiene un tubo por el cual es transportada la lechada hacia el tramo por inyectar y de aquí al interior de las fisuras o grietas.

Preparativos para los revestimientos.- Revisión visual y topográfica de las secciones por concretar, para ver si hay "peines" que se introduzcan dentro del área del espesor de revestimiento teórico, así como en el piso el desplante para la colocación del acero y de la cimbra.

Pantalla de impermeabilización Profunda. Consiste en la impermeabilización de la roca mediante la inyección a presión de lechada de agua cemento, a través de perforaciones profundas, para sellar fracturas o grietas, para que se cumplan los requisitos de impermeabilidad necesarios y garantizar la estanqueidad de la obra

Pantalla de drenaje. Tiene por objeto captar las filtraciones de la pantalla principal de impermeabilización para de esa manera abatir la presión hidrostática de los macizos rocosos y asegurar su estabilidad, así como evitar su influencia sobre las estructuras subyacentes.

Perforación y/o barrenación. Son huecos que se realizan en la roca por la cual, se introduce la lechada de agua/cemento, dichas perforaciones o barrenos deben realizarse sin interrupción en toda su longitud.

Progresión. Son tramos de perforación, en los cuales se divide una perforación para su inyección.

Rezaga.- Material producto de la excavación después de la voladura.

Revenimiento.- Medida de fluidez y manejabilidad de la mezcla.

Recogebolas.- Son fundamentales en la limpieza a presión, puesto que recogen la bola y/o diablo que sale proyectado a gran velocidad de la tubería de bombeo de concreto.

Rezaga.- Material producto de la excavación después de la voladura.

Sobre excavación.- toda excavación que sobrepase la línea de proyecto considerada en la línea de proyecto.

Traslape.- Es el acoplamiento que se le da a una varilla para que tenga la continuidad que se requiere en una sección de concreto reforzado, de acuerdo al proyecto ejecutivo.



T.M.A.- Tamaño máximo de agregado.

Tubería para bombeo de concreto.- Sistema de tuberías de bombeo concreto a distancias largas. Son completamente estancas y resistentes a altas presiones.

Tapón.- Es la cimbra que se coloca entre la cimbra metálica y la pared de la galería generalmente es a base de tiras de madera o de metal desplegado.

Trazo topográfico.- Marcado de ejes y niveles por medio de instrumentación.

Vibrado.- Es el método de compactación más eficaz, da características al concreto como resistencia, compacidad y buen acabado.

Ventilación.- Suministro de aire a las diferentes estructuras



1.1. BIBLIOGRAFÍA.

Plan de Protección Civil SST-PLN-002 r01 Proyecto Hidroeléctrico "La Yesca" SISTEMA DE GESTION.

Especificaciones de Construcción de Obra Civil del P.H. La Yesca, Jal. Nayarit.

Informe Geológico Final de la Etapa de Preconstrucción del P.H. La Yesca, Jalisco – Nayarit.

Procedimiento para Excavación, Revestimiento y Tratamientos a la Roca en las Galerías de Inspección, Inyección y Drenaje. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca". TES-PRO-004-r01. Sistema de Gestión.

Procedimiento Detallado de Construcción de las Obras de Generación. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca".

Procedimiento Detallado para la Excavación del Túnel de Acceso a la Casa de Máquinas y Galería de Oscilación. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca". OGE-PRO-003 r01. Sistema de Gestión.

Procedimiento Detallado para la Excavación del Túnel de Desfogue. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca". OGE-PRO-004 r01. Sistema de Gestión.

Procedimiento Detallado para el Revestimiento del Túnel de Acceso a la Casa de Máquinas y Galería de Oscilación. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca". OGE-PRO-005 r01. Sistema de Gestión.

Procedimiento Detallado para el Revestimiento del Túnel de Desfogue. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca". OGE-PRO-006 r01. Sistema de Gestión.

Procedimiento Detallado de Construcción de las Obras de Generación. Proyecto Hidroeléctrico 146 CH "La Yesca".

Seguridad en el Almacenaje, Transporte, Uso y Manejo de Explosivos. Proyecto Hidroeléctrico "La Yesca".