3. BOQUILLA

3.1 Tipos de boquillas

La boquilla de una presa es el lugar seleccionado para desplantar a la cortina, incluyendo en ella el cauce del río y sus laderas o márgenes.

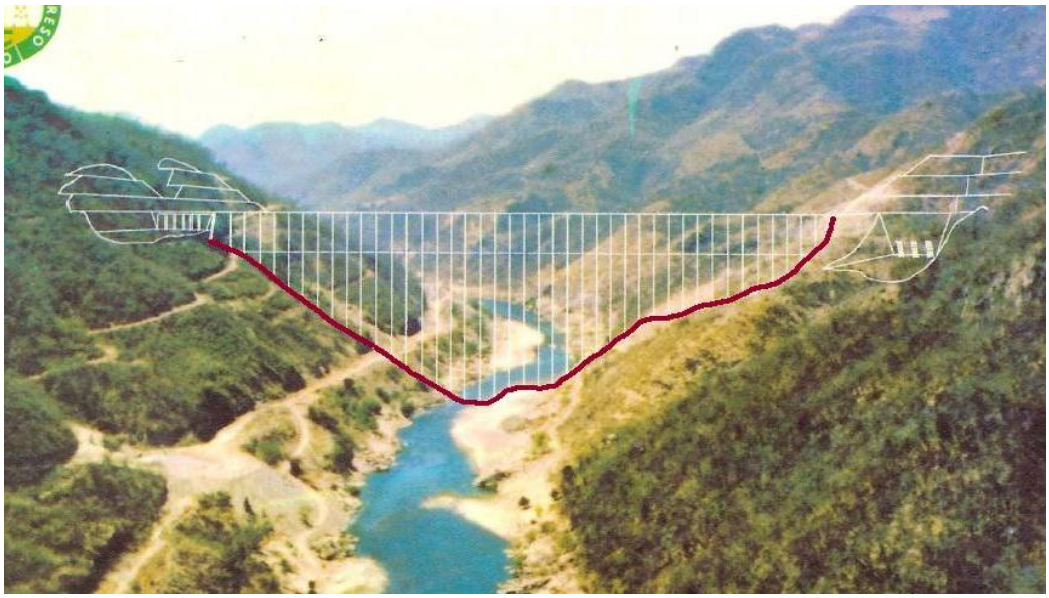

Figura 3.1 Boquilla de la cortina Aguamilpa, Referencia CFE

La clasificación de las boquillas se hace en relación de su arco-altura (a/h):

- Cañón (a/h < 3)
- Estrecha (3< a/h <6)
- Ancha (6< a/h <7)

La forma de la boquilla es uno de los parámetros principales para la selección del tipo de cortina. Las cortinas de arco delgado o arco-bóveda, son seleccionadas para sitios donde la boquilla tiene una relación a/h < 3, es decir en cañones. Las cortinas de arco delgado, son económicamente factibles en los sitios donde la boquilla es extremadamente estrecha, sin embargo este hecho no es decisivo puesto que las rocas de la zona también deben tener una buena capacidad a compresión, puesto que todas las fuerzas actuantes en la cortina serán transmitidas a ella. El perímetro de la cimentación utilizada para desplantar cortinas de arco es conocida como pulvino.

En los sitios donde la boquilla tiene una relación a/h menor a seis pero mayor a 3, se tiene una boquilla estrecha, sin embargo ésta no es lo suficientemente estrecha como para garantizar la estabilidad de una cortina de arco delgado, en estos sitios resulta más viable construir cortinas de arco-gravedad, para las cuales el material de construcción trabajara aportando estabilidad por peso propio, sin la necesidad de utilizar el volumen de concreto de las cortinas tipo gravedad, y a

la vez se aprovechara el arreglo estructural de la cortina para transmitir el resto de sus fuerzas actuantes a la cimentación y cumplir con su estabilidad.

Las boquillas anchas permiten la construcción de varios tipos de cortinas, entre ellas:

- Cortinas de tipo gravedad
- Cortinas de contrafuertes
- Cortinas de arcos múltiples
- Cortinas de materiales naturales
- Enrocamiento con cara de concreto

Las cortinas tipo gravedad son seleccionadas cuando la boquilla está formada por rocas sedimentarias, areniscas y limos y que tienen una resistencia de entre 8 y 10 ton/ft^2. En boquillas que tienen una resistencia a la compresión mayor a la mencionada, es admisible la colocación de una cortina de concreto pre tensado o cortinas de machones, para reducir los costos por volumen de material además tienen la ventaja de reducir la supresión al ocupar un área pequeña para su desplante.

Las cortinas de contrafuertes son una buena alternativa en ese tipo de boquillas, únicamente debe cuidarse que el apoyo de sus contrafuertes esté colocado sobre roca de buena calidad, con una resistencia a la compresión mínima de 20 a 30 ton/ft^2 en las que no exista la posibilidad de asentamientos, representan una buena alternativa para reducción de material respecto a las cortinas de gravedad, sin embargo presenta características similares en costos, supresión y corrosión.

Las cortinas de materiales naturales y las de materiales mixtos como las de enrocamiento con cara de concreto, son una elección conservadora de cortinas para los casos donde no se cuenta con información detallada de la geología de la boquilla. Se selecciona este tipo de cortinas cuando se tienen las características siguientes:

- El material de la boquilla no tiene una buena resistencia a la compresión
- Existen bancos de materiales con buenas características en zonas cercanas a la obra
- Se cuenta con arcillas disponibles para la colocación de una sección impermeable en la cortina
- La zona de construcción resulta lo suficientemente accesible para la manipulación del material por medio de maquinaria pesada
- Es posible aplicar un tratamiento para que la roca sea capaz de soportar esfuerzos de compresión en la cimentación (plinto) de la losa de concreto en el caso de cortinas de enrocamiento con cara de concreto

De acuerdo al tipo de boquilla que se tenga es posible proponer un tipo de cortina, sin embargo la decisión de construir o no un tipo determinado de cortina se analiza conociendo a fondo las características geológicas de la boquilla.

3.2 Geología de la boquilla

El sitio de construcción de la boquilla requiere rigurosos estudios para conocer las propiedades de las rocas de la zona y características del suelo.

Los análisis que se realizan para la boquilla son prácticamente los mismos que los realizados en todo el sitio de la obra, con la diferencia de que ambas deben ser estudiados con mayor detalle, ya que en ella se colocará la cimentación o el tratamiento necesario para la colocación de la cortina y una falla en la cimentación de esta representa un riesgo muy alto en caso de falla.

Como se mencionó en el capítulo 2, la estratigrafía se encarga de estudiar el acomodo de las capas de los suelos según su tiempo de colocación, en este análisis se incluye la descripción de la secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en la boquilla. Se describen los tipos de rocas que contiene y sus características.

El estudio geológico para la boquilla también incluye el análisis histórico de las rocas que indica su origen, evolución, edad y analiza los procesos termodinámicos a los que han sido expuestas y que pudieron causarle alteraciones. En el material son analizadas las fallas estructurales, identificando para ellas su rumbo, posición y causa de formación.

En el área de la boquilla es analizada la distribución de las rocas y se señala en esquemas en donde también son representadas fallas y localizadas de acuerdo a sus elevaciones. (Ver figura 3.2)

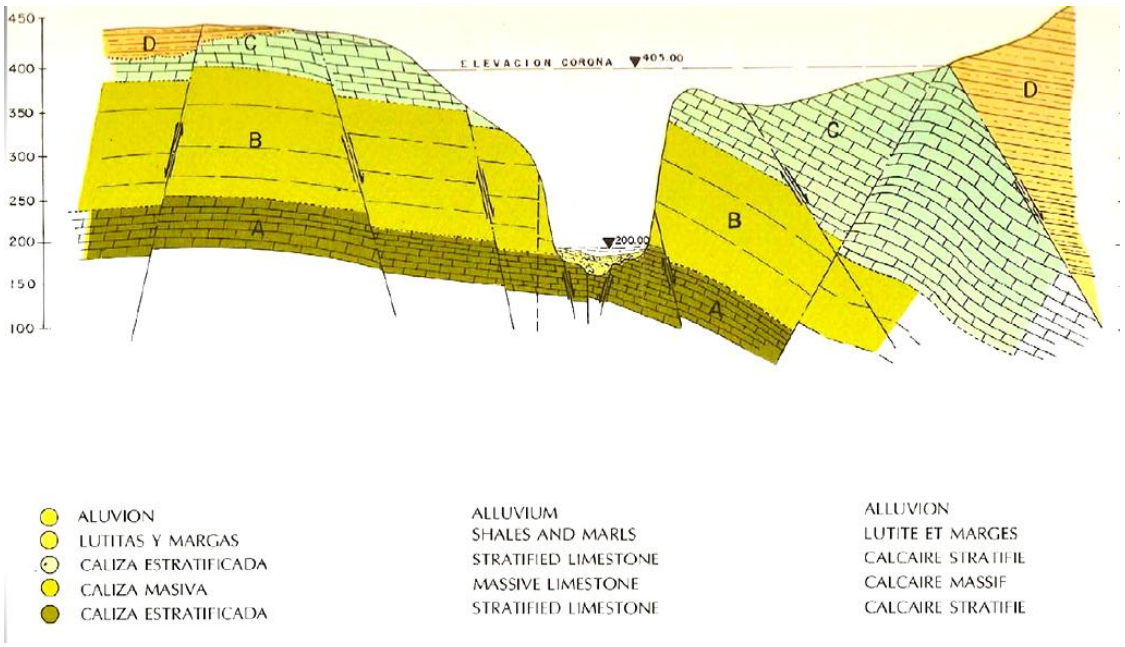

Figura 3.2 Identificación de material y fallas en la boquilla de la presa Chicoasen, Referencia CFE

Los riesgos sísmicos que son analizados para la boquilla deben identificar zonas inestables de la roca, el material no consolidado y cualquier efecto que pueda causar grandes derrumbes dañando la cortina. La erosión de las rocas es otro factor de riesgo que también genera deslizamiento de las masas que llegan a desprenderse durante el proceso de excavación para la colocación de los cimientos.

Las zonas consideradas de alto riesgos son clasificadas, se identifica su lugar respecto al cauce y se describe la condición de falla que podría esperarse así como la parte de obra que quedaría dañada al presentarse.

3.3 Geología estructural de la boquilla

La geología estructural de la boquilla es uno de los estudios de mayor importancia en toda la obra, en ella se identifican las fallas de mayor importancia, sus limitantes y los efectos que llegaría a tener, con ello se proponen alternativas de saneamiento. El análisis se lleva a cabo por tres secciones; la margen izquierda, la margen derecha y el cauce.

3.4 Selección del eje de la boquilla

De acuerdo al los estudios preliminares, se hizo una pre-selección del eje de la boquilla, que consideraba únicamente topografía y geología regional. Para la selección definitiva del eje, así como su orientación, se analizan a fondo los estudios geológicos y geotécnicos.

Para un análisis más detallado, la zona de la boquilla es dividida por zonas para poder estudiarla a mayor detalle. El estudio de cada zona identificará las características probables de inestabilidad de acuerdo a fallas o propiedades de los materiales de la zona.

De existir fallas de gran magnitud en la zona, o materiales poco deseables, se selecciona una nueva orientación según convenga para el eje o se desplaza aguas arriba o aguas abajo.

La selección definitiva del eje queda perfectamente definida, al librar la mayor cantidad de fallas geológicas, logrando la mejor ubicación de las estructuras auxiliares, evitando excavaciones excesivas y localizando la zona con mejores características de cimentación.

3.5 Tipos de tratamiento de la boquilla

Los tratamientos que requiere una cimentación van ligados al tipo de problema que se tenga en las rocas, sus características y al tipo de cortina que se esté proyectando. La boquilla está compuesta por la sección del cauce y las laderas sobre las cuales se empotrará la cortina.

Las características de estas secciones no llegan a ser iguales, debido a la composición y formación de sus materiales, ya que mientras en el cauce se encuentra material aluvial, las laderas pueden estar formadas por rocas estratificadas o con cualquier otra característica. Debido a la variación de material el tratamiento no resulta ser siempre el mismo.

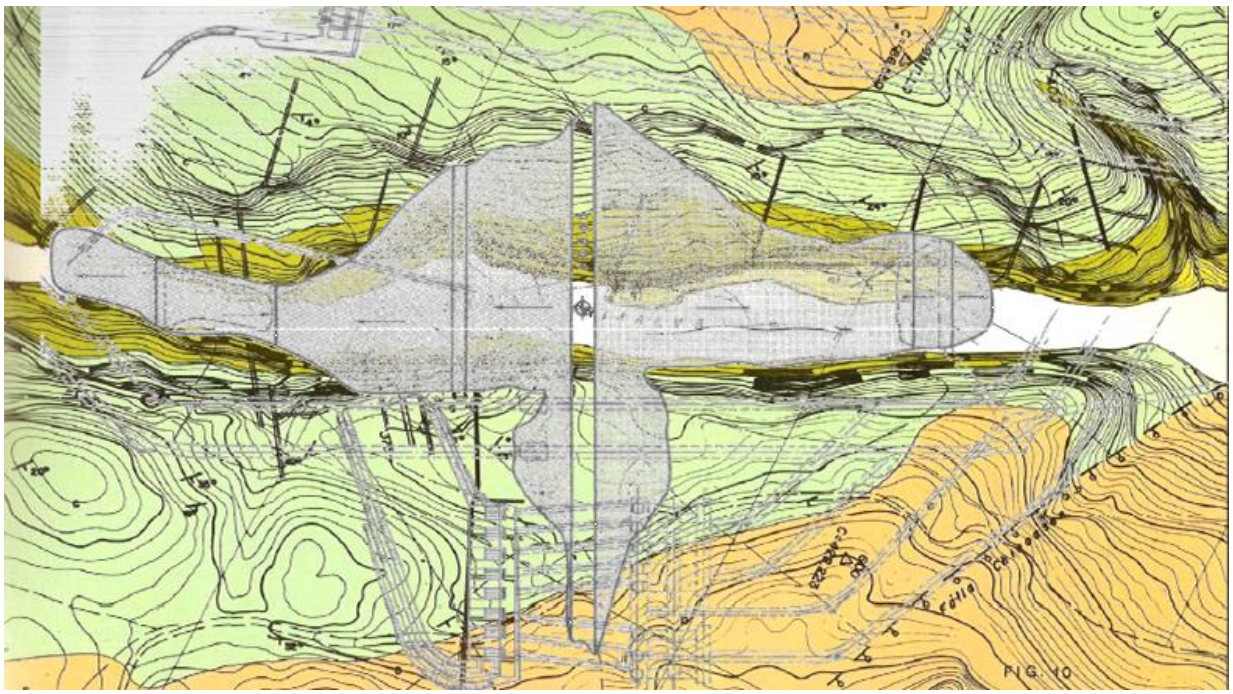

Figura 3.5 a) Localización ficticia de la cortina de Chicoasen sobre la topografía, Referencia CFE

Algunos tratamientos de cimentación que contrarrestan filtraciones se muestran a continuación:

- Dentellones de tierra del mismo material del núcleo impermeable de la presa que llegue hasta le estrato impermeable.
- Dentellones parciales ubicados a una profundidad suficiente para reducir aproximadamente las filtraciones,
- Dentellones de concreto in situ (diafragmas) o pantallas impermeables; en los que se bombea concreto en el material de cimentación, Inyecciones de material impermeable que al combinarse con el material de cimentación forma una pasta solida
- Colchones aguas arriba que forman una capa extra de la presa en el cauce,
- Filtros y colchones horizontales de drenaje que disipan la presión y guiando el agua aguas debajo de la cortina.
- Drenes al pie de la presa y zanjas de drenaje. Son utilizados en combinación con los colchones y conducen el agua a un tubo de descarga exterior.
- Pozos de drenaje, Se colocan cuando un estrato permeable está confinado por estratos impermeables.
- Dentellones con tablestacas de acero. En ellos se hincan tablestacas unidas a los dentellones, como esta unión pueden presentarse filtraciones deben colocarse en cimentaciones de limos, arenas y gravas finas.
- Tratamiento dental. Se aplica a la superficie de cimentación con el propósito de limpiar, rellenar oquedades y retirar picos para que la cimentación quede bien apoyada.

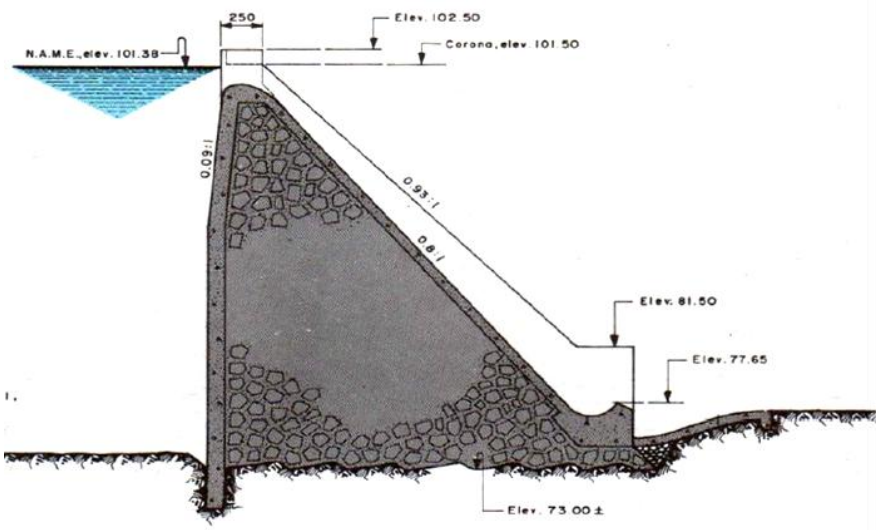

Figura 3.5 b) Cortina tipo gravedad con dentellón en el talón, Referencia CONAGUA

3.6 Análisis de la información y selección del tratamiento

Los problemas que se llegan a presentar en cimentaciones permeables son variados y el tipo de cimentación que se utilice depende de la necesidad que se desea cubrir. La composición de materiales en la boquilla da una pauta para conocer el tipo de tratamiento que debe darse y éste depende de las tendencias de falla que tenga el material.

Cuando una boquilla cuenta con una roca lo suficientemente fuerte, el tratamiento que debe darse a esta es mínimo, por lo que únicamente se cuidaría su impermeabilidad y se rellenarían las fallas en caso de presentarlas.

Cuando el sitio está compuesto principalmente de limos y arcillas, el problema que se tiene depende de la inestabilidad de los materiales y la tendencia a deformarse, en este caso las filtraciones no son gran problema puesto que este material es plástico.

Si el suelo presenta gran contenido de agua saturando su material, es recomendable instalar drenes y proyectar taludes de poca inclinación para evitar los deslizamientos, si por el contrario el sitio presenta una saturación mínima o está completamente seco llegan a presentarse deformaciones cuando es expulsado el aire o cuando sus vacíos que contiene se saturan, por lo que en estos suelos se colocan dentellones, filtros o se reemplaza esta porción de suelo.

Cuando se tienen unos depósitos aluviales o zona de alto contenido de grava y arena, se esperan filtraciones de agua ya sea dentro del material o subterráneamente. En estos casos no se tiene una buena cimentación y es muy importante colocar algún tipo de dren o tratamiento de los mencionados en la sección 3.5.

La selección del tipo de tratamiento depende también de la cimentación que requerirá la cortina, a continuación se mencionan los tratamientos utilizados en ellas.

En las cortinas de materiales naturales, el tratamiento de la cimentación depende en gran medida del tipo de cortina que se seleccione. Su cimentación debe proporcionar un apoyo estable a la cortina y evitar una pérdida de agua excesiva.

Si la boquilla está formada principalmente por arenas y gravas los problemas principales que llegan a presentarse son la existencia de filtraciones subterráneas, presiones producidas por las filtraciones, tubificaciones y licuefacción.

La aplicación de un tratamiento para estos problemas debe incluir también un análisis económico que defina si la aplicación en dicho tratamiento es viable o no; por ejemplo, la existencia de filtraciones subterráneas, es problema cuando se desea aprovechar el agua, para estos casos se realiza un estudio económico considerando los costos del tratamiento que se necesitaría y el valor del almacenamiento del agua, en presas de regulación, las filtraciones subterráneas no son gran problema puesto que estas no representan un gran riesgo para las poblaciones aguas abajo. Las filtraciones producidas por agua ocasionan tubificación en la cimentación y esto llega a producir su inestabilidad teniendo el riesgo de que se presente un colapso de la cortina. Cuando la presión de agua es muy fuerte comienza a circular agua a través del material y se genera la falla por tubificación. En estos casos, debe necesariamente colocarse algún tratamiento que mantenga controlado el flujo de aguas subterráneas

El diseño teórico de la cimentación, se hace considerando los principios de la Mecánica de Suelos, pruebas de campo y laboratorio, sin embargo el tratamiento para estas cortinas se selecciona de acuerdo a las características de la roca de cimentación, mencionadas en el subcapítulo 3.5.

Para desplantar cortinas de materiales cementados y para la losa de concreto de las cortinas de enrocamiento, los principales tratamientos usados para en la boquilla, es la inyección de lechadas de cemento que formen una pantalla impermeable. La principal función de dicha pantalla consiste en abatir el flujo de agua en el suelo reduciendo las fuerzas de supresión que se generan en el talón de la cortina, asegurando con ello tener un buen funcionamiento de su cimentación y evitar una pérdida de agua excesiva.

En las cortinas de materiales cementados, resaltan 3 etapas de su tratamiento:

- Formación de un tapete de consolidación
- Pantalla impermeable
- Inyecciones finales

El tapete de consolidación se forma por la inyección de mezclas agua-cemento-bentonita, en barrenos perforados a una profundidad ligeramente mayor que la de desplante de la cortina. El espaciamiento entre barrenos para esta etapa es de alrededor de 10 metros medidos

horizontalmente entre uno y otro. La pantalla impermeable se forma al inyectar estas mezclas por las galerías inferiores y en una línea de barrenos perforados a lo largo del eje de la cortina, en esta etapa las perforaciones de los barrenos se hacen a distancias horizontales menores a 10 metros y en caso de necesitarse poco consumo en ellas se realizan inyecciones finales entre cada uno admitiendo en ellas espaciamientos de hasta 1.5 m.

El diseño y control del inyectado se lleva a cabo por algún método seleccionado, actualmente es muy utilizado el método de GIN en el cual se selecciona una mezcla de inyectado, que es densa con buena resistencia, puede decidirse utilizar en ella o no algún aditivo plastificante que reduzca la cohesión y viscosidad para su colocación; la elección de ésta depende de las características que presente el suelo. Con esta mezcla se llenan las fisuras de mayor tamaño con una presión relativamente baja. Para las fisuras finas es necesario aplicar una presión mayor para tener un inyectado más eficiente. La selección de la presión de inyectado se hace a través de las envolventes de GIN seleccionando de ellas la presión de inyectado de acuerdo a las diferentes características de la roca.

Para finalizar con el trabajo de inyectado se hacen pruebas de impermeabilidad, con las cuales se califica la calidad de los trabajos realizados y se garantiza su permeabilidad.

Las cortinas de enrocamiento llevan un tratamiento parecido al de las cortinas de materiales cementados, en ellas se forma una pantalla impermeable de inyecciones que permite la unión de sus estructuras de cimentación (Plinto) generando con esta unión lo que se conoce como plano de estanqueidad.