

4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

4.1 Generalidades

El proceso de diseño principia con la formulación de los objetivos que se pretenden alcanzar y de las restricciones que deben tenerse en cuenta. En el diseño estructural, es necesario ensayar diversas propuestas para resolver el problema. La elección del tipo de estructuración, sin duda es uno de los factores que más afecta el costo de un proyecto.

Al hacer esta elección, el proyectista debe tener en cuenta las características de la mano de obra y equipo disponible, así como también el procedimiento de construcción mas adecuado para el caso. Después de elegir provisionalmente una estructuración, se le idealiza para estudiar los efectos de las acciones a las que pueda estar sometida.

El diseño estructural de una cubeta de lanzamiento deberá tomar en cuenta las características de la cimentación, características de asentamiento, cambios volumétricos del concreto por temperatura, permeabilidad de la zona, filtración, empuje hidrostático, empuje de tierras, asentamientos diferenciales, etc.

Sin embargo, debido al funcionamiento propio de la cubeta, debe tomarse en cuenta la tendencia de la estructura a deslizar y la socavación en la losa de fondo, esto debido a la magnitud del volumen de agua que se estará desalojando.

El material a emplear para la construcción es el concreto reforzado debido a sus ventajas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

- la impermeabilidad, que por si misma contiene el concreto bien dosificado y compactado. Sin embargo en este apartado es conveniente mencionar que la impermeabilidad puede verse afectada por la secuencia de construcción, así como ubicación y detallado de juntas.
- el concreto requiere un mantenimiento mínimo
- posee una gran resistencia a los ataques químicos y al intemperismo
- y se puede establecer el grado de resistencia mediante la correcta dosificación de sus elementos: arena, grava, cemento y aditivos.

En este capítulo se analizara la estructuración de una cubeta de lanzamiento, del tipo liso tomando en consideración un estudio, geotécnico, hidráulico y estructural previo de las estructuras aguas arriba de la cubeta.

4.2 Análisis de estabilidad

Los efectos que tienen incidencia en la estructura son:

1.- Deslizamiento.- La fuerza horizontal del agua tiende a desplazar la estructura terminal, por lo que la fuerza resistente a este fenómeno será la cimentación existente.

2.- Esfuerzos excesivos.- la estabilidad de la estructura estará siempre asociada a la ruptura de sus materiales por esfuerzos superiores a los permitidos, por lo que la atención debe enfocarse a mantenerlos dentro de los límites establecidos.

4.2.1 Acciones

En el diseño se considerara la necesidad de tomar en cuenta las acciones siguientes:

- Su peso propio.
- Presión interior de líquido que se ha de transportar. Cuando se considere simultáneamente con este empuje el efecto del sismo o del viento, se supondrá que el conducto esta trabajando al 80% de su capacidad.
- Subpresión en losas de fondo y empuje de los rellenos y del agua del subsuelo sobre las paredes.
- Efectos de los cambios de temperatura y contracciones.

4.2.2 Muros laterales

Estos muros se diseñan de acuerdo a las recomendaciones del ACI-Bureau of Reclamation y Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE. Cuando la altura es considerable, comúnmente en estos casos, la losa de muro se considera libre en el extremo superior y empotrada en el fondo.

Comúnmente el espesor de estos muros se encuentra entre 50 y 70 cm , y el acero de refuerzo se coloca en ambas caras, considerando para las caras interiores el empuje hidrostático, y el empuje de tierras donde se decida construir esta obra.

El patrón de anclaje que ha de considerarse para los muros laterales, tiene la función de proporcionar estabilidad entre el muro y la pared donde ha de apoyarse éste, disminuyendo el efecto de deslizamiento.

4.2.3 Revestimiento

La plantilla y paredes del canal que forman la rápida se revisten para formar una superficie protectora razonablemente impermeable para evitar la erosión. Durante la descarga de la estructura de control, el revestimiento queda sujeto a fuerzas hidrostáticas debidas al peso del agua contenida en el canal, a las fuerzas de arrastre debida a la resistencia producida por el rozamiento entre el agua y la superficie de concreto, a las fuerzas dinámicas debidas al choque del agua y a las fuerzas de subpresión producidas por la infiltración que ocurre bajo la plantilla del canal.

Cuando no hay escurrimiento, el revestimiento esta sujeto a la acción de los elementos naturales, incluyendo la dilatación y contracción debido a las variaciones de temperatura, al intemperismo, efectos de asentamiento y pandeo y subpresiones por consecuencia de niveles freáticos altos o filtraciones.

Normalmente, no es posible evaluar las diferentes fuerzas que pueden estar presentes, ni construir un revestimiento lo suficientemente grueso para que las resista, generalmente su espesor se determina de manera arbitraria y se utilizan drenes subterráneos, anclas y dentellones para contrarrestar los efectos de la infiltración.

Para obtener un revestimiento relativamente impermeable que soporte bien el intemperismo, el desgaste, la contracción, asentamientos, etc, se recomienda un espesor nominal mínimo de 8 pulgadas cuando el revestimiento se va a colocar directamente sobre la roca. Cuando el revestimiento ha de colocarse sobre tierra o sobre una capa intermedia de grava, debe construirse una losa gruesa que soporte el agrietamiento o el pandeo.

El recubrimiento para proteger el acero en superficies sujetas a la erosión por flujo del agua, será de 13 mm para velocidades de hasta 3.05 m/s, y se aumentará éste en 13 mm por cada 3.05 m/s que aumente la velocidad.

4.2.4 Losa de fondo

Debe llevarse a cabo una revisión de la estabilidad de la plantilla, para ello debe tomarse en cuenta que cuando el canal descarga, la subpresión es anulada por la presión que la columna de agua ejerce a su paso. Esto nos lleva a decir que el caso mas desfavorable en que se encontraría la estructura es cuando ésta no este en funcionamiento. Entonces, las cargas que estarán actuando en la estructura serán básicamente su peso propio y la subpresión.

Los muros laterales y el fondo de la estructura deberán soportar la combinación de las presiones laterales y verticales del agua y del suelo, sin que el efecto de una de las acciones reduzca los efectos de la otra.

La forma de analizar la estructura será por unidad de área, proponiéndose un espesor arbitrario. Se conoce de esta manera el peso propio del elemento fijado arbitrariamente, el cual esta determinado por la expresión:

$$W_1 = \gamma_c e \quad (4.1)$$

donde

W_1 peso de la losa por unidad de área

γ_c el peso específico del concreto

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

e el espesor de la losa

Para obtener el valor de la subpresión es necesario conocer el perfil del agua en condiciones extremas de descarga, es decir cuando en el vaso se presente el nivel de aguas máximo extraordinario (NAME), a lo largo del todo el canal. Con estos datos se obtiene una carga promedio h. La subpresión puede evaluarse de la siguiente manera:

$$\text{Sub} = 1/3 \gamma_a (h+e) \quad (4.2)$$

donde

γ_a peso específico del agua
h carga promedio del perfil a lo largo del canal
e espesor de la losa del canal

Como resultado de comparar ambas cargas, la de subpresión y la del peso propio, se observará que será necesario tener unas losas de gran peralte para descartar el efecto de la subpresión, y la diferencia negativa que exista será contrarestanda por los anclajes necesarios en la losa de piso.

Para conocer la resistencia que aporta cada ancla en la roca, se calcula mediante el uso de la expresión siguiente

$$\text{Ra} = A_s f_y \text{FS} \quad (4.3)$$

donde

Ra resistencia del ancla, en kg
 A_s área transversal de la varilla de anclaje, en cm^2
 f_y esfuerzo de fluencia del acero, en kg/cm^2
FS factor de seguridad y se considera igual a 0.8

Posteriormente, el valor de esta resistencia se divide entre su área de influencia, la cual queda determinada por la separación que tenga entre cada ancla en cuadrícula, y se obtienen una carga máxima $W_{\text{máx}}$ por unidad de área. La seguridad del elemento quedará determinada por la expresión:

$$\text{W}_{\text{máx}} (\text{carga máxima}) > \text{Peso de la losa} - \text{Subpresión}$$

Esta carga máxima puede ser aumentada, según sea la necesidad, disminuyendo la distancia de separación entre anclas, o cambiando la distribución a la llamada "tres bolillo".

El diseño estructural, tanto de la losa de fondo como de los muros, puede ser hecho como una viga con empotramiento, siendo estos la parte inferior del muro que va unida a la losa de fondo, con extremos en voladizo como se muestra en el diagrama siguiente:

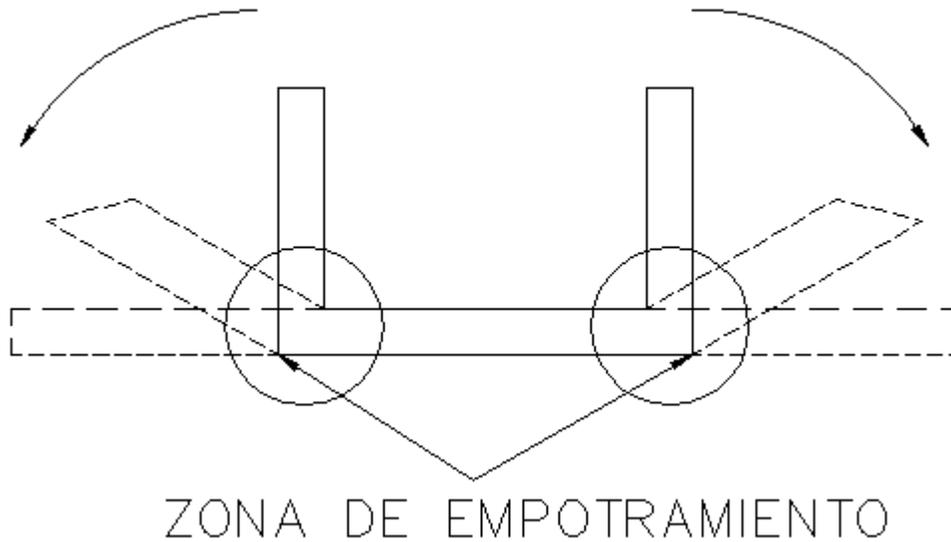


Figura 4.1 Idealización de la estructura

Por otro lado, debe tomarse en cuenta que en cada una de las anclas que se emplearan para evitar la subpresión en la losa de fondo, se colocarán varillas en cada dirección con forma de columpio, de esta manera se ayuda a fijar el ancla como se muestra en la figura siguiente:

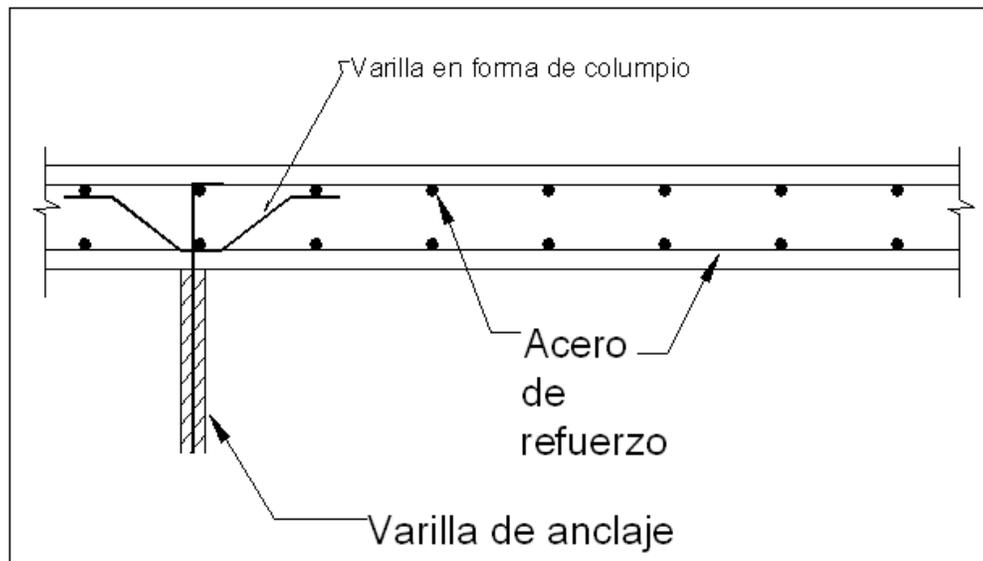


Figura 4.2 Configuración de anclaje

4.3 Anclas

Se pueden utilizar barras de anclaje en barrenos llenos de lechada de cemento para unir el revestimiento de la cimentación, evitando el movimiento mediante la contracción y dilatación. Sin embargo, al evitar el movimiento se forman grietas, que dividen la losa en bloques individuales.

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

Deberá entonces colocarse refuerzo que mantenga unidos estos bloques, de esta manera se distribuye el agrietamiento y se disminuye la abertura de las grietas.

La profundidad y la separación de las anclas dependen de la naturaleza de la roca, de su estratificación, fisuración, intemperismo. Las anclas deben tener tamaño suficiente para soportar el peso de la cimentación.

De acuerdo a la cimentación que se tenga, la existencia de buena roca o donde se presenten taludes mayores de 0.5:1, las anclas se podrán reducir en número, longitud o definitivamente suprimirse. En el caso en donde se presente taludes de 1.5:1 se evita el uso de anclas.

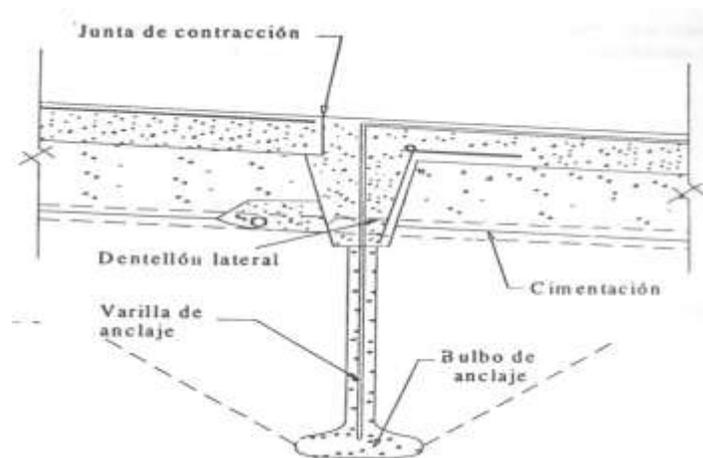


Figura 4.3 Ejemplo de anclaje

La capacidad admisible al cortante, en kg, para todo tipo de anclas se muestra en la tabla siguiente:

DIAMETRO	f'c=200 kg/cm²	f'c=250 kg/cm²	f'c=300 kg/cm²
3/8	204	255	306
1/2	363	453	544
5/8	567	709	850
3/4	816	1020	1224
7/8	1111	1389	1667
1	1451	1814	2177
1 1/4	2268	2835	3402
1 1/2	3266	4082	4899
1 3/4	4440	5557	6668
2	5806	7258	8709
2 1/4	7349	9186	11023
2 1/2	9072	11340	13608
3	13064	16330	19596

Tabla 4.1 capacidad admisible al cortante³

³ Texto "Diseño de anclaje" de la Empresa Bufete Industrial

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

La carga admisible al cortante para todo tipo de anclas, es función del valor del esfuerzo del concreto y es igual a $0.45 f'c$, que disminuye literalmente desde el tope del concreto, hasta una profundidad de cinco veces el diámetro del ancla en cuestión, donde el esfuerzo se anula.

El cortante sobre todas las anclas podrá ser reducido o eliminado, tomando en cuenta la fricción entre el elemento soportado y su base de sustentación.

4.4 Juntas de construcción

Las juntas en el concreto son discontinuidades, que tienen por objeto la liberación de esfuerzos, como los ocasionados por los cambios de temperatura, esfuerzos que son una consecuencia de la contracción o la dilatación que experimenta la estructura.

Básicamente se consideran dos tipos de juntas en el concreto: de construcción y de movimiento.

Las juntas de construcción se proporcionan en la estructura con el objeto de segmentarla en unidades mas pequeñas. Su función es la de separar una etapa de colocación del concreto respecto a la subsecuente. Antes de colocar el concreto nuevo sobre la superficie de una junta , es necesario prepararla para propiciar una buena adherencia.

Se procura que las juntas de construcción se localicen donde el cortante al igual que el momento flexionante tengan magnitudes pequeñas, con el fin de evitar que afecten la resistencia de la estructura.

En lo que respecta al acero de refuerzo, éste se debe continuar a lo largo o a través de las juntas de construcción.

Las juntas de movimiento tienen por objeto dar libertad a los movimientos relativos en la estructura y que tienen lugar a ambos lados de la junta. En este rubro se consideran dos tipos de juntas de movimiento: las de expansión o dilatación y juntas estructurales.

Las juntas de expansión tienen por objeto permitir cambios en las dimensiones del concreto debido a los incrementos o decrementos en la temperatura, durante los periodos de construcción y de servicio. En este tipo de junta existe una completa discontinuidad tanto en el concreto como en el acero.

La separación de las juntas, dependerá del grado de exposición de la estructura, la posición de los elementos estructurales en relación con otras partes de la estructura y por las variaciones de temperatura. Estas juntas también podrán funcionar como juntas de contracción o de construcción.

Las juntas de contracción tiene por objeto absorber los movimientos que provoca la contracción entre dos secciones del concreto.

4.4.1 Materiales de relleno para las juntas

Los materiales que se usaran para lograr el hermetismo en las juntas se dividen en las siguientes categorías:

1.- TAPAJUNTA.- es una barrera que se coloca en la sección de la junta durante el proceso de construcción para constituir un diafragma resistente al paso del agua. Pueden ser de hule natural o de cloruro de polivinilo, aun cuando también llegan a usarse de cobre o de acero. Los tapajuntas se usan en las juntas de construcción y de expansión.

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

2.- RELLENO COMPRESIBLE.- es una tira de material compresible para rellenar y tapar el espacio en una junta de expansión y proporcionar una base para el sellado de la junta y permitir el movimiento de expansión del concreto.

3.- SELLADOR DE LA JUNTA.- se usa para evitar el paso del agua o de algún material extraño a través de la junta. Deberá ser impermeable y deformable para permitir los movimientos, así como el de recuperar su forma y propiedades originales.

En la actualidad el uso de bandas hechas con materiales como el hule, butilo, neopreno, estireno, poliuretano y PVC ha aumentado de forma notable, y el mas aceptable ha sido el PVC, debido a que absorbe los movimientos de la junta y completamente impermeable, es fácil de manipular (cortar y unir), aún cuando ésta ultima característica represente un problema , pues cambia de posición con frecuencia al impacto y presión del concreto al realizarse el vaciado, que puede traer como consecuencia la mala colocación y la posibilidad de que se presentes filtraciones.

Las orillas de las juntas en movimiento, especialmente las juntas de expansión, deberá estar reforzada para resistir el descascaramiento y cuarteaduras, debido al contacto accidental con el concreto en el otra lado de la junta. El refuerzo consistirá de varillas no menores al #3, con separación entre ellas 30 cm en el centro, a lo largo de cada cara de la junta y se anclarán a lo largo del acero de refuerzo normal del concreto.

4.4.2 Aspectos a considerar en diseño de juntas

En el diseño de las juntas deberán considerarse los aspectos siguientes:

- a) Las juntas en movimiento se construirán como cortes continuos en la estructura. Cada parte de ella se diseñará de manera independiente.
- b) Se consideraran los movimientos transversales de los elementos estructurales bajo las condiciones de carga previstas y se suministrarán los detalles apropiados. Se dará consideración a los cambios volumétricos y de temperatura.
- c) Las juntas se localizarán en los sitios donde sea práctica y factible su construcción.

4.5 Drenaje

Los métodos de estabilización de deslizamientos que contemplan el control del agua, tanto superficial como subterránea son muy efectivos y generalmente , más económicos que la construcción de grandes obras de contención , en cuanto tienden a abatir la presión de poro.

El drenaje en el canal tiene dos objetivos primordiales:

1.- Para controlar el volumen de filtraciones por debajo de la plantilla y para reducir los efectos de la subpresión.

2.- Por los niveles freáticos, que en algunos casos pueden tener niveles altos, lo cual pone en riesgo la estabilidad de la estructura cuando esta no se encuentra en funcionamiento.. Estos niveles son resultado de las filtraciones de lluvia a través del terreno o filtraciones que se originan a través del revestimiento del canal, lo cual lleva a pensar que no solo existe drenaje en la plantilla del canal, también en las paredes del mismo.

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

En cualquier sistema de drenaje el monitoreo posterior a su construcción es muy importante, deben instalarse piezómetros que permitan observar el efecto y eficiencia del drenaje

4.5.1 Tipos de drenaje

Drenajes exteriores.- Son empleados para el transporte de aguas superficiales. Son económicos y fáciles de conservar.

Drenes superficiales.- Formados por cunetas, que pueden estar situadas en las laderas, donde esta ubicado el canal y a mayor altura que éste, o bien, pueden estar colocados a la altura del canal o incluso a cotas inferiores para eliminar las filtraciones de éste. El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión.

Drenes enterrados .- Se destinan a la protección del revestimiento del canal, fundamentalmente son tubos porosos situados bajo el revestimiento y a lo largo del canal, o bien capas de material filtrante, situadas entre el revestimiento y el terreno de la cimentación.

Un caso especial es este ultimo. Los drenes formados por tubos porosos bajo la plantilla del canal tienen como función recolectar el agua y conducirla a algún punto donde pueda ser desaguada. El mayor caudal que debe ser evacuado normalmente por los drenes longitudinales bajo la plantilla es precisamente el caudal filtrado a través del revestimiento. El caudal de cálculo que debe tomarse en cuenta para este tipo de drenaje es la perdida permisible en un canal, es decir, alrededor de 25 a 50 l/m²/día.

Estos drenes, suelen colocarse en una zanja rellena a su vez con material filtrante, este material es indispensable cuando los tubos admiten el agua a través de las juntas, ya que la trayectoria que esta sigue es la de entrar primero al relleno filtrante y a continuación escurrir a través de el, paralelamente, hasta alcanzar la junta mas próxima.

Este material permeable debe guardar cierta granulometría y deberá estar compactado, para evitar la entrada de material dentro del tubo. La ubicación del dren es debajo del centro de la plantilla, siguiendo el eje del canal, de esta manera se evita que el tubo tenga que soportar los empujes producidos por un posible deslizamiento del revestimiento del talud. Sin embargo, si el canal es ancho y hay que poner mas de un dren, debe colocarse uno a cada lado de la plantilla. También, deben colocarse drenes en la dirección transversal que incrementen la capacidad de desagüe, formándose una cuadrícula bajo la plantilla del canal.

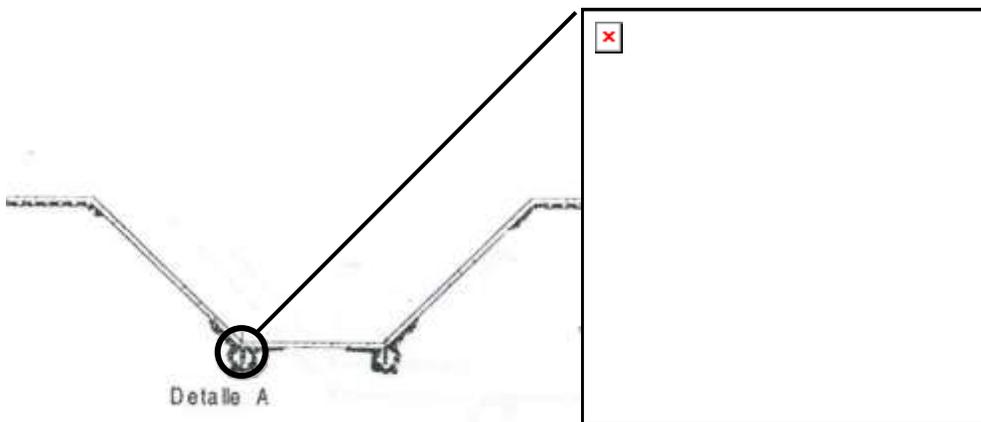


Figura 4.4 Detalle de ubicación del dren en canal

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA CUBETA

4.6 Lloraderos

Consisten en filtros de arena y grava colocados en la parte posterior de los muros, aliviando así el empuje de agua sobre ellos. Su distribución debe ser tal que todos tengan la misma área de captación.

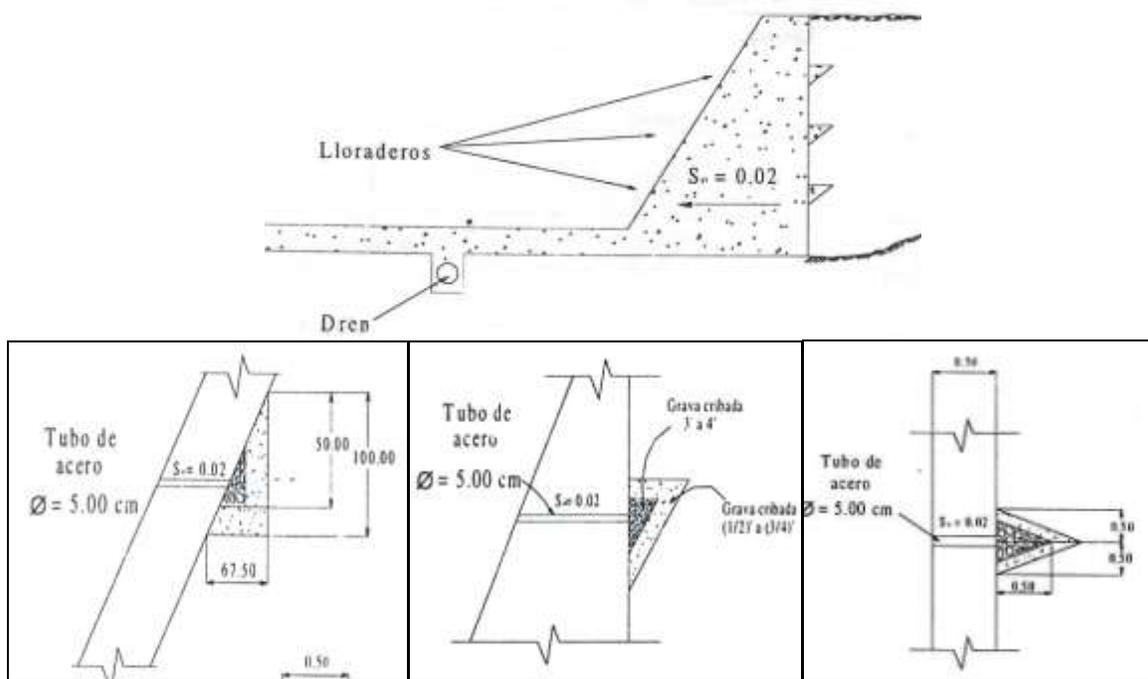


Figura 4.5 Ubicación de lloraderos en pared lateral