

ENTREGABLE 2. LA INSTRUMENTACIÓN DEL MODELO CON RESPECTO DE LA REHABILITACIÓN HIDROECOLÓGICA Y CONSERVACIÓN DE LOS RELICTOS AMBIENTALES DE VEGETACIÓN EXISTENTE EN LA BARRANCA DE DOLORES.



Contrato No.

SEDEMA/DGAF/JUDAS/011/2020-FC

Enero 2021



MÉXICO, CDMX A 05 DE ENERO DE 2021

# MTRO. RAFAEL OBREGÓN VILORIA ENCARGADO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SISTEMAS DE ÁREAS NATURALESPROTEGIDAS Y ÁREAS DE VALOR AMBIENTAL

#### PRESENTE:

Quien suscribe Grupo de Arquitectos, Construcción y Supervisión S.A de C.V.a través del NANCY MIREYA QUINTANA SALGADO en su carácter de ADMINISTRADOR ÚNICO en relación con Servicios relacionados con Estudios del Plan Maestro "Proyecto Complejo Cultural Bosque de Chapultepec", derivados del Convenio de Coordinación en Materia de Reasignación de recursos celebrado con la Secretaría de Cultura Federal y el Gobierno de la Ciudad de México, y otorgados a la Secretaría del Medio Ambiente. ANEXO UNO "Anexo Técnico" Partida 1: Servicio para la realización del "Estudio Hídrico". Se hace el envió del Entregable 1 (PARCIAL) conforme al cronograma y el plan de trabajo.

**ATENTAMENTE** 

NANCY MIREYA QUINTANA SALGADO



### Índice

1	PRESA DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA BRAZA.	3
2 DEA	REPRESA MURO ZAMPEADO DE PIEDRA BRAZA Y MATERIAL PRODUCTO DE LA MOLICIÓN EN PROPORCIÓN 80-20%	
	PRESAS DE MORILLOS, SUMINISTROS E INSTALACIÓN DE MADEROS DE 1.85 A N UN DIÁMETRO MÍNIMO DE 0.10 M1	
4	BORDOS EN CURVA NIVEL (KEY LINE)	4
	TALUD LATERAL DE GAVIÓN CON PIEDRA BRAZA Y MATERIAL PRODUCTO DE LA MOLICIÓN EN PROPORCIÓN 80-20%1	
6	TERRACEO ALTA PENDIENTE	8
7	ZONA DE VERTEDORES/CONEXIÓN ALBAÑAL SISTEMA2	5
8	GAVIÓN LATERAL2	7
9	HUMEDAL RIPARIO.	2
10	HUMEDAL DE RETENCIÓN LATERAL3	4
	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN REACTORES OFILTROS ANAEROBIOS4	
12	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN HUMEDALES 43	<b>.</b>
13	JUSTIFICACIÓN DE CADA PROPUESTA4	6
14	CONCLUSIONES5	0



#### 1 PRESA DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRA BRAZA.

Es una estructura de piedra, arena y cemento que se construye transversalmente a la dirección de flujo, disminuye la escorrentía superficial y almacenamiento de agua, además de la retención de azolve, véase Figura 1.1.



Figura 1.1. Presa de mampostería.

Es una estructura de piedra, arena y cemento que se construye perpendicular a las cárcavas; su objetivo principal es la disminución de la escorrentía superficial y almacenamiento de agua, además de la retención de azolves.

Debido a su alto costo, no es recomendable su construcción si no se acompaña con una serie de presas filtrantes aguas arriba, las cuales eviten su rápido azolvamiento y la disminución de su vida útil.

Esta presa es considerada como presa de gravedad, la única fuerza que se opone a la escorrentía es el peso de la estructura, por lo cual el diseño se basa en el cálculo de la base de la presa que combinado con su sección trapezoidal, le dará el peso adecuado a la misma, para que sea resistente al embate de la escorrentía.

Para asegurar el éxito de la presa de mampostería los factores fundamentales a considerar son el espaciamiento, el empotramiento y el tamaño de la base,

por lo que es más recomendable el diseño del espaciamiento con el criterio doble cabeza pie, mientras que la profundidad del empotramiento



recomendable es de 60 centímetros en terrenos sueltos y de 20 a 60 centímetros en terrenos consolidados.

Durante el empotramiento, se recomienda anclar dos dentellones o zapatas a los extremos de la base, colocadas al inicio y al final de la misma. La profundidad del primero puede variar desde 60 centímetros hasta un metro, dependiendo del tamaño de la presa; la del segundo, debe ser la mitad de la profundidad del primero.

#### Proceso de construcción

Para diseñar una presa de mampostería, es necesario determinar el área de la cuenca que lo alimenta, estimar o cuantificar el escurrimiento máximo, así como caracterizar la cárcava tomando en cuenta lo siguiente

- 1. Localizar la boquilla para la ubicación de la presa.
- 2. Obtener la sección transversal del sitio donde se construirá la obra.
- 3. Empotrar adecuadamente la estructura en el fondo y a los lados de la cárcava.

La sección normal y más rentable de diseño de una presa de mampostería, es la de un semitrapecio, con el lado recto (inclinado a 90°) aguas arriba de la estructura, este tipo de sección permite tener una mayor capacidad para retener agua y azolves, no obstante, se pueden usar secciones en trapezoidal o semicirculares. Por lo anterior, se calcula el área y el peso de la estructura para evaluar si el peso y su diseño son capaces de soportar la fuerza de empuje a la que se va someter la obra, véase Figura 1.2.



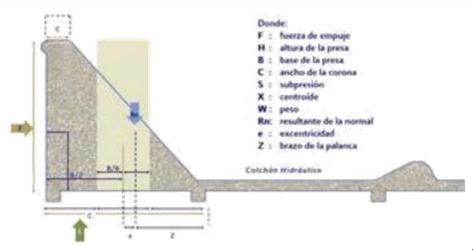


Figura 1.2. Factores a considerar en el diseño de una presa de mampostería.

#### Donde:

F: fuerza de empuje.

H: altura de presa.

B: base de la presa.

C: ancho de la corona.

S: subpresión.

X: centroide.

W: peso.

*Rn*: resultante normal.

e: excentricidad.

Z: brazo de palanca.

Con base en la figura 1.2, se divide la presa en dos secciones, un cuadrado y un triángulo, que en conjunto forman el semitrapecio, a partir de esas figuras se realiza el cálculo del centro de gravedad de la estructura, para proceder con las operaciones (Figura 1.3).

Figura	Centro de gravedad ( X )	Área (A)	XA
	$\frac{c}{2}$	C.H	$\frac{C^2H}{2}$
	$\frac{(B-C)}{3}+C$	$(B-C)\frac{H}{2}$	$\frac{[H(B-C)(B+2C)]}{6}$
	$\sum X$	$\sum A$	$\sum XA$

Figura 1.3. Centros de gravedad y cálculo del área de la sección.



A partir de este cuadro, se obtiene el centro de gravedad utilizando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{\sum XA}{\sum A} \tag{1}$$

Donde:

X: centro de gravedad.

 $\sum XA$ : sumatoria del centro de gravedad por el área.

 $\sum A$ : sumatoria del área,

Con estos datos se calcula el peso de la presa (W) con la siguiente fórmula:

$$W = \gamma_m \sum A \tag{2}$$

Donde:

 $\gamma_m$ : densidad de la mampostería.

 $\sum A$ : sumatoria del área.

La densidad de la mampostería depende en gran medida del tipo de roca con la que se construya la presa, por lo que es necesario saber la densidad de la roca.

El rango de variación va de 2,300 a 2,900 kilogramos por metro cúbico (basaltos vesiculares o tobas, a granito o basalto); el valor preciso se puede determinar de tablas de densidad de rocas, disminuyendo dicho valor, ya que el mortero es menos denso que la roca.

Luego se calcula la fuerza de empuje (F) del agua, más los sedimentos:

$$F = \gamma_{az} \frac{H^2}{2} \tag{3}$$

Donde:

 $\gamma_{az}$ : densidad de los sedimentos, (se considera que la densidad de los sedimentos puede variar desde 1,100 a 1,400 kilogramos por metro cúbico).

H: altura de la presa (m).



Una vez calculada la fuerza de empuje, se procede a calcular la otra fuerza del agua, denominada subpresión (S), que se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{k\gamma_W HB}{2} \tag{3}$$

Donde:

k: coeficiente de subpresión

 $\gamma_w$ : peso específico del agua.

B: tamaño de la base.

H: altura de la cortina de la presa.

A partir de estos resultados se obtiene la resultante normal (Rn), con la siguiente fórmula:

$$R_n = W - S \tag{4}$$

Donde:

W: peso.

S: subpresión.

$$Z = \frac{\left[W(B-X)\left(F - \frac{H}{3}\right) - S\left(2\frac{B}{3}\right)\right]}{R_n} \tag{5}$$

Donde:

X: centroide de la presa.

W: peso.

F: fuerza de empuje.

H: altura de la presa.

S: subpresión.

 $R_n$ : resultante normal.

A partir de calcular Z, se calcula la excentricidad de la presa (e), utilizando la siguiente fórmula:

$$e = \frac{B}{2} - Z \tag{6}$$



Donde:

B: tamaño de la base.

Z: espaciamiento.

Finalmente se calcula R a través de la siguiente fórmula:

$$R = 600 \frac{e}{B} \tag{6}$$

Donde:

B: tamaño de la base.

e = excentricidad de la presa.

A este procedimiento también se le conoce como cálculo por tanteo, ya que en él se supone una base inicial y se desarrolla el procedimiento hasta obtener una R que se aproxime a 90%.

Si la R es mayor a 90%, es necesario aumentar el tamaño de la base y desarrollar nuevamente los cálculos anteriores; si la R es menor de 90%, hay que reducir el tamaño de la base, así sucesivamente hasta que se obtenga el valor más cercano a 90%.

Para facilitar el cálculo, se ha observado de manera empírica que la base debe ser aproximadamente igual de ancha, al 70% de la altura de la cortina, por lo que se recomienda iniciar el tanteo con una base de ese tamaño.

Su fase constructiva está dada de la siguiente manera:

- Trazo y nivelación de perfil en su sitio de propuesta.
- Maniobras de limpieza y retiro de capa de vegetación.
- Excavación para zanjas de empotramiento lateral y sobre la superficie del terreno.
- Tratamiento de mejoramiento de suelo sobre la superficie de desplante.
- Colocación de firme de nivelación en superficie de desplante de muros laterales y cortina.
- Colocación de plantilla de concreto pobre sobre el cimiento del desplante del muro de la cortina.
- Colocación de malla electrosoldada como estructura de refuerzo en la estructura de cimentación.
- Suministro y colocación de piedra de mampostería con mortero cemento-arena en proporción 1:3, se empezará con la colocación de las piezas



de mampostería desde el tanque de amortiguamiento, posteriormente los dentellones, la base de la cortina, el muro de la presa y el vertedor.

## 2 REPRESA MURO ZAMPEADO DE PIEDRA BRAZA Y MATERIAL PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN EN PROPORCIÓN 80-20%.

Es una estructura construida con piedras acomodadas, que se coloca transversalmente a la dirección del flujo de la corriente, provista de un recubrimiento de un zampeado y se utiliza para el control de la erosión en cárcavas. Es una de las obras que principalmente se han usado para el control de cárcavas, ya que son relativamente fáciles de construir y tienen un bajo costo.

Las dimensiones de una presa de piedra acomodada dependen de la pendiente o grado de inclinación de la cárcava, así como de la profundidad y cantidad de escurrimientos superficiales. Al elegir este tipo de presas se debe considerar la disponibilidad de piedra en la zona.

#### Proceso de construcción

Primer paso: Identificar los sitios donde se ubicará cada presa, definir la altura de la presa, seleccionar las piedras y acarrearlas. cerca de la cárcava a restaurar. Se recomienda su construcción donde el tamaño de la cárcava sea más angosto, respetando el procedimiento para calcular el distanciamiento.

Cuando las piedras disponibles son tipo "laja" o planas sólo se acomodan unas sobre otras para formar una barrera con paredes rectas y estables (Foto 1.4).



Figura 1.4. Presa de muro de piedra con zampeado.

Segundo paso. Excavación de la zanja de empotramiento. Dependiendo de la altura a la corona de la presa se establece la profundidad de la zanja. Es



conveniente asegurar que la estructura sea lo más resistente a volcaduras provocadas por las corrientes de agua que impactan las paredes, por lo que se recomienda que el empotramiento esté bien nivelado para evitar deslizamientos del material y empotrar bien la estructura durante el acomodo de piedras.

Tercer paso. Construcción del muro base. El muro de la presa se construye de acuerdo a la altura determinada de la presa, y al ancho de la corona determinado en el paso anterior, el cual se extiende a lo ancho de la cárcava abarcando los taludes laterales excavados para el empotramiento (Figura 1.5).



Figura 1.5. Muro base de una presa de piedra.

Cuarto paso. Construcción de taludes en función al diseño elegido para la presa, que depende de la altura, tipo de piedra y erosividad de la escorrentía, se procede a construir el talud con el fin de dar mayor resistencia a la estructura ante la fuerza de las corrientes que impactan en las paredes de la presa, el talud constituye un contrafuerte que le da mayor estabilidad la longitud de la base del talud.

Los principales aspectos en cuanto a su construcción están dados de la siguiente manera:

- Trazo y nivelación de perfil en su sitio de propuesta.
- Maniobras de limpieza y retiro de capa de vegetación.
- Excavación para zanjas de empotramiento lateral y sobre la superficie del terreno.
- Tratamiento de mejoramiento de suelo sobre la superficie de desplante.
- Colocación de firme de nivelación en superficie de desplante de muros laterales y cortina.



- Colocación del material producto de la demolición en forma continua y acomodado, con junta mortero – cemento 1:3, limpiando cada zona donde se vaya colocando las hileras de materiales.
- Se nivelara con hilo y reventón la sección del ancho del muro antes de ser colocado.
- Posteriormente de la colocación del material, se recubrirá con una capa de zampeado, reforzado con una malla electro soldada, que garantice la suficiente estabilidad y sujeción del material.

### 3 PRESAS DE MORILLOS, SUMINISTROS E INSTALACIÓN DE MADEROS DE 1.85 M CON UN DIÁMETRO MÍNIMO DE 0.10 M.

Los morillos son postes o troncos de diámetros mayores a 10 centímetros, producto de ramas o troncos que resultaron de afectaciones por incendios o plagas. Este tipo de presa se construye en cárcavas pequeñas y angostas en las que es posible detener su crecimiento y estabilizarlas con prácticas sencillas y de bajo costo.

#### • Proceso de construcción

Primer paso. Realizar la zanja de empotramiento de la presa. Para el empotramiento se construye una zanja de 1/4 la altura.

El empotramiento o anclado de morillos en las partes laterales de la cárcava debe quedar asegurado, de tal manera que se evite que los escurrimientos socaven las partes laterales de la presa y afecten su funcionamiento.





Figura 1.6. Empotramiento para una presa de morillos.

Segundo paso. Colocar los postes que darán soporte a la estructura.

Los postes deben tener una altura de 1.4 veces la altura de la corona, los cuales se colocan de manera vertical aguas abajo de la presa y deben estar espaciados entre 50 centímetros y máximo un metro de separación, deben estar enterrados en el suelo a una profundidad de 0.4 veces la altura a la corona. Se recomienda colocar (dependiendo de la cantidad de hileras de morillos) la segunda hilera de postes aguas arriba de la presa, quedando así dos hileras de postes anclados en el suelo de forma vertical, entre las cuales se colocarán los morillos horizontalmente (Figura 1.7).



Figura 1.7. Empotramiento para una presa de morillos.



Tercer paso. Colocar los morillos transversalmente uno sobre otro, amarrándolos con alambre recocido a ambas hileras de postes de acuerdo al ancho de la excavación (Figura 1.8).



Figura 1.8. Formación de hileras de morillos.

Cuarto paso. Formar el vertedor colocando morillos de menor longitud que cubrirán sólo un tercio de la longitud de la presa a ambos lados (Figura 1.9).



Figura 1.9. Vertedor en una presa de morillos.

Los postes del anclado que pudieran haber quedado en el centro del vertedor, se pueden cortar a la altura de éste para darle una vista más estética a la presa.

Quinto paso. Construcción de delantal.

El delantal puede ser un cajón construido de morillo y lleno de piedras colocado aguas abajo del vertedor, o bien morillos, piedras u otros materiales resistentes, que eviten la caída directa del agua sobre el suelo y provoquen la socavación de la estructura.



El delantal deberá estar bien cimentado en el suelo para evitar que la escorrentía lo arrastre, por lo que se recomienda que tenga una longitud de 1.5 veces la altura efectiva de la presa.



Figura 1.10. Delantal formado con morillos.

#### 4 BORDOS EN CURVA NIVEL (KEY LINE).

Es un sistema de bordos que se conforma con el producto de la excavación del suelo o subsuelo, de forma perpendicular a la pendiente del terreno, siguiendo curvas a nivel. Los bordos se pueden realizar con maquinaria o aperos de labranza, en combinación con instrumentos manuales. Sirve para propiciar la intercepción de azolves y escurrimientos, así como aumentar la infiltración y retención de humedad para el establecimiento reforestaciones y vegetación nativa.

Los bordos en curvas a nivel son una práctica utilizada principalmente en las zonas áridas y semiáridas, o con deficiencia de humedad estacional en el suelo.

Esta obra se debe implementar en suelos que tengan como mínimo 60 centímetro de profundidad, ya que en suelos con poca profundidad no se contaría con la suficiente cantidad de material para levantar el bordo.



#### Proceso de construcción

Primer paso. Trazar las curvas a nivel, se trazarán conforme a los distanciamientos calculados, según el intervalo horizontal para bordos en curvas a nivel, tomando en cuenta las características del suelo.

Las líneas se marcan con señales visibles para el operador de la maquinaria, el trazo se realiza utilizando el equipo apropiado según la extensión, visibilidad y características del terreno.

Segundo paso. Romper la capa endurecida del suelo. Se realiza con un paso de ripper para el rompimiento de la capa endurecida en la superficie del suelo, en un solo paso, sobre la curva a nivel (Figura 1.11).



Figura 1.11. Rompimiento de la capa endurecida.

Generalmente se utiliza un bulldozer o tractor agrícola, con un ripper o implemento integrado para ranurar o roturar el suelo, por lo general con tres cinceles es suficiente, a una profundidad de corte de 30 centímetros. El objetivo de este paso es romper la

capa endurecida del suelo, así como extraer y aflojar el suelo para conformar el bordo.

Tercer paso. Conformar el bordo. Se conforma mediante el uso de un instrumento de labranza denominado "bordero", el cual deberá trabajar con la mayor abertura posible, con cuatro discos de 32 a 36 pulgadas cada uno (Figura 1.12).





Figura 1.12. Bordero con 4 discos para formar bordos en curvas a nivel.

Las dimensiones del bordo manual son las siguientes: altura efectiva de bordo 65 centímetros mínimo, ancho total de dos metros y profundidad de zanja a los costados como mínimo de 30 centímetros.

Los bordos en curvas a nivel deben realizarse en terrenos con pendientes menores al 20% (Figura 1.13).



Figura 1.13. Arado de discos para elaborar bordos.

En cuanto a la textura de suelo, se implementa en casi cualquier tipo, pero hay que trabajar en su punto de humedad a los suelos cuyo contenido de arcillas sea muy alto.



### 5 TALUD LATERAL DE GAVIÓN CON PIEDRA BRAZA Y MATERIAL PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN EN PROPORCIÓN 80-20%.

Este proceso se utiliza para evitar el crecimiento lateral del cauce y se fundamenta en buscar el ángulo de reposo adecuado para el suelo, disminuyendo la inclinación de los mismos y cubriéndose para evitar erosión. Se planea emplear técnicas de armados de muro gavión, con la finalidad de no perturbar la permeabilidad del lecho del cauce, y favorecer condiciones para el establecimiento de cobertura vegetal riparia, en las oquedades y grietas de la roca acomodada. Esta técnica, de igual manera, propiciará la retención de sedimento y mejora en la calidad del agua en el cauce.

Consiste en el acomodo de piedras para la formación del gavión, formando una barrera o pequeño muro, con el objeto de retener suelo y disminuir la velocidad de escurrimientos en suelos con presencia de erosión laminar.

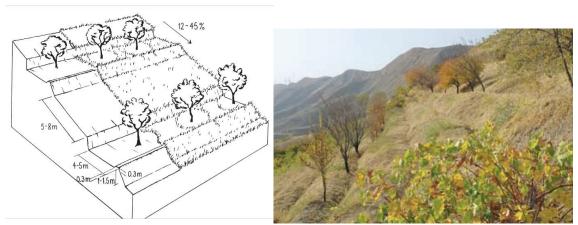


Figura 1.14. Arado de discos para elaborar bordos.

#### • Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento. Para este cálculo preferentemente se utiliza la información de erosión actual del suelo, una vez determinado el espaciamiento, se trazan los límites sobre las que se construirá la barrera de piedra. Para el marcado pueden utilizarse banderas, cal o estacas.

Segundo paso. Excavar la zanja de empotramiento sobre la curva trazada. Abrir, con pico y pala, una zanja de 10 centímetros de profundidad o hasta llegar al estrato resistente, y 30 cm de ancho, para brindar estabilidad a la obra.



Tercer paso. Acarrear o acercar el material a la curva a nivel trazada donde se construirá la barrera.

#### Cuarto paso.

Armar el gavión con el armado de la malla eslabonada e irlo llenando con roca acomodada, evitando dejar huecos. Los gaviones en su parte interna están provistos de tensores los cuales sirven para darle rigidez a la estructura de la malla y evitar que esta se flexione y pierda su forma, colocados a una altura de 1/3 y 2/3.

#### Quinto paso.

Se irán colocando los gaviones en forma continua y escalonada. Se deberán hacer los estudios de mecánica de suelos en la zona donde se desplantaran, con la finalidad de revisar la capacidad portante del suelo y considerar si será necesario algún tratamiento de mejoramiento de suelo o replantear la propuesta.

#### 6 TERRACEO ALTA PENDIENTE.

Una técnica empleada en este método es la del muro de Kraimer, que incluyen los entramados de madera con vegetación o muros. Éstos combinan elementos constructivos inertes con elementos vegetales vivos, consiguiendo la protección y estabilización de taludes a corto, medio y largo plazo. El muro, construido a base de postes de madera ensamblados alternativamente entre sí, se levanta paralelo al talud y el trasdós se rellena con tierra vegetal y gravas. En los huecos entre los troncos se introducen estaquillas, ramas vivas o plantas adaptadas a las condiciones locales, véase Figura 1.15



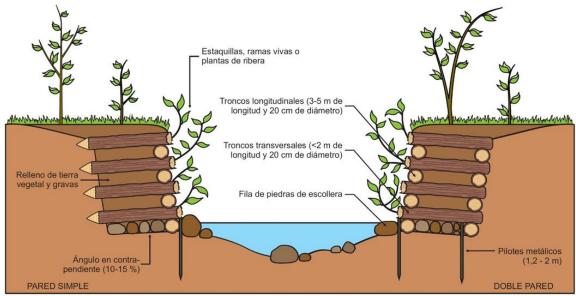


Figura 1.15. Entramado de troncos con vegetación o muro Krainer (izquierda, a una pared y derecha, a dos paredes).

Estas estructuras se utilizan en la consolidación de taludes de obras civiles como en carreteras y pistas, recuperación de minas, escombreras, vertederos, etc., prestando especial atención a las características del entorno y a la vegetación a emplear. El objetivo último de las técnicas de bioingeniería es el aumento de la complejidad y diversidad de un ecosistema degradado, hasta alcanzar un equilibrio dinámico que garantice la estabilidad y una mejora paisajística del medio.

No obstante, su uso más generalizado se ha centrado en la restauración de ríos, persiguiendo la mejora ecológica de los cursos fluviales (tanto del hábitat como de la fauna y flora asociadas). La consolidación del talud tiene como misión fundamental preservar el cauce y las orillas, protegiéndolos contra la erosión, generalmente provocada por desequilibrios en el funcionamiento del río (ausencia de vegetación riparia, presencia de obras hidráulicas, etc.).

Soluciones como ésta frente a las puramente constructivas (escollera, hormigón, etc.) conllevan efectos beneficiosos asociados como proporcionar refugio y alimento para la fauna, servir como corredor ecológico, amortiguación de crecidas, mejora de la calidad del agua y del paisaje, fijación de CO2, etc. La implantación de vegetación en un talud proporciona una mayor estabilidad al terreno, mejora la estructura del suelo, reduciendo la erosión hídrica y favoreciendo la integración paisajística. Por todo ello debe promoverse su uso.



Desde el punto de vista constructivo, los muros Krainer se pueden ejecutar a una o a dos paredes (Figura 1.15), siendo preferible la primera en situaciones de espacio limitado y la segunda cuando tenga que resistir mayores empujes o salvar una altura superior. El cuerpo principal es un entramado de troncos, de madera muerta (pino, castaño, etc.) o madera viva (chopo, sauce, etc.). Para el caso de carreteras o pistas en las que la disponibilidad de agua sea baja, son aconsejables maderas resistentes (pino o castaño) y de mayor durabilidad. En riberas, se recomiendan las salicáceas del entorno a restaurar ya que, a pesar de ser maderas más livianas y de menor durabilidad, se consigue una mejor revegetación (por su capacidad de rebrote), y mayor adaptación, disminuyendo costes.

Una madera sometida a las condiciones de humedad de una ribera, tiene una durabilidad estructural de 5-10 años en salicáceas y 10-15 en coníferas. No obstante, en un plazo breve de tiempo (menos de 5 años en riberas y unos 5-10 en condiciones más xéricas) la vegetación del muro (incluso el propio rebrote del tronco) se habrá desarrollado encargándose de la estabilidad y protección del talud, pues su sistema radicular es capaz de soportar tensiones del terreno de hasta 40 N/mm2. Alcanzada esta situación, la misión inicial de los troncos es secundaria, resultando conveniente su degradación por motivos estéticos.

Los troncos paralelos al talud tendrán una longitud de 3-5 m, uniéndose entre sí cuando la zona a restaurar sea más larga. Los troncos perpendiculares no superarán los 2 m. El diámetro debe estar entre 10-30 cm para evitar el lavado del material de relleno y que la estructura se deforme o rompa. En la variante a una pared, los troncos perpendiculares acabarán en punta para clavarse al fondo del talud.

El plano de colocación irá en contrapendiente del 10-15% para mejorar su función de soporte. La primera fila de troncos se coloca paralela al talud. La unión entre troncos es machihembrada o encastrada, fijándola con clavos, tirafondos o pernos. Para afianzar más las uniones se pueden utilizar cuerdas o alambres. Los troncos de la base se sujetarán con pilotes metálicos de longitud 1,5-2 m. La celda resultante en la base del muro ha de rellenarse con piedras y gravas para evitar que se pierda el material de relleno.

Cuando el entramado actúe como defensa de una ribera (Figura 1.15), debe colocarse al pie del mismo una fila de piedras de escollera para evitar la erosión de fondo – causa más frecuente de rotura de muros en ríos –. Los muros Krainer



soportan grandes tensiones, velocidades y pendientes de taludes por lo que se pueden colocar en zonas donde la

incidencia de la corriente tiene mayor potencial erosivo como en la parte exterior de los meandros y en la zona afectada por las crecidas ordinarias.

El montaje prosigue con la colocación del plano de troncos perpendicular a la fila anterior. Después de haber realizado uno o dos planos, se rellena la estructura celular con tierra vegetal y gravas –los distintos tipos de materiales evitan el lavado del relleno de la estructura y se coloca el material vegetal adaptado a la zona –producirá un efecto sellado al cubrir los huecos que quedan entre los troncos y evita que el material de relleno se hunda o que el agua lo arrastre. En el caso de ríos: estacas vivas con capacidad de rebrote (sauces, chopos, etc.) y/o plantas enraizadas (alisos, fresnos, etc.) en contacto con la humedad freática y de longitud suficiente para cubrir la estructura de madera. Se realizan los planos sucesivos hasta llegar a la altura establecida sin sobrepasar los 4 m de altura y con una pendiente del frente del entramado no superior a 80° para permitir el crecimiento de las plantas.

La importancia de esta técnica radica en que, a medio plazo, todo el sistema queda reforzado por vegetación, siendo el sistema radical de las plantas el elemento estabilizador del terreno. En este sentido, resulta una técnica más integrada y duradera que los métodos estrictamente estructurales (escollera u hormigón).

Por último, hay que destacar que la información sobre estabilidad de muros es muy amplia, pero no específica sobre muros Krainer, limitándose a exponer detalles constructivos y que su cálculo es similar al de un muro de hormigón o de tierra reforzada, sin describir las particularidades de la técnica. Con este trabajo, se desarrollan unas directrices de cálculo para poder asegurar la estabilidad y resistencia de los muros Krainer.

#### • Bases de cálculo

Un muro Krainer puede considerarse como un muro de contención de gravedad, pues se emplea para la sujeción de tierras inestables, siendo el efecto estabilizador su propio peso.

La base de cálculo se centra en la comprobación de las tensiones admisibles, considerando la colaboración conjunta del muro ante acciones horizontales y verticales. Las comprobaciones de trabajo propuestas son: seguridad frente al deslizamiento y estabilidad frente al vuelco –comprobaciones mínimas



propuestas por las directrices- además de la resistencia a flexión, presión admisible del terreno, cálculo de los anclajes y de los elementos de unión - comprobaciones de seguridad a mayores según el Código Técnico de la Edificación (CTE)-.

Los dos tipos de muros (Figura 1.15) se calculan de la misma forma, teniendo en cuenta que a una pared, al ir clavados en el fondo del talud, funcionarán como anclajes, absorbiendo pequeños esfuerzos horizontales.

#### • Cálculo del empuje de las tierras

Las teorías más frecuentemente utilizadas para el cálculo de los empujes del terreno en muros de contención de gravedad son la de Rankine y Coulomb. La primera sólo es aplicable en casos concretos, pues presupone ciertas hipótesis no siempre asumibles (suelo homogéneo e isotrópico, superficie de rotura plana, superficie posterior del muro vertical, no existe fricción entre el suelo y el trasdós del muro). Por tanto, se recomienda la teoría de Coulomb, ya que considera las fuerzas de rozamiento entre el trasdós del muro y el terreno.

Independientemente del método de evaluación de fuerzas, éste sólo afectará a la magnitud y línea de acción de la presión resultante del terreno, es decir, al empuje activo (el ejercido por la tierra que es sostenida por el muro) pues el empuje pasivo (el producido por un terreno que absorbe la acción producida por la estructura) sólo aparece cuando el muro ha sufrido un pequeño corrimiento y no afecta a la estabilidad de la estructura .

El empuje activo por unidad de longitud del muro (Figura 2, izquierda) será:

$$E_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \tag{7}$$

$$K_{a} = \left[ \frac{\frac{1}{\sin \beta} \times \sin(\beta - \varphi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta) + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - i)}{\sin(\beta - i)}}}} \right]$$
(8)

Donde:

 $E_a$ : empuje activo.

 $K_a$  = coeficiente del empuje activo.

 $\gamma$  = peso específico del terreno.

 $\rho$  = densidad del terreno.

g = gravedad.



H =altura del muro.

 $\beta$  = ángulo de inclinación del trasdós del muro común respecto a la horizontal.

 $\varphi$  = ángulo de rozamiento interno.

 $\delta$  = ángulo de rozamiento terreno-trasdós del muro.

i = ángulo que forma el plano de la superficie del terreno del trasdós con la horizontal.

Tabla 1.1. Valores orientativos de las propiedades básicas en los suelos.

labla 1.1. Valores orientativos de las propiedades basicas en los suelos.				
Tipo de suelo		γ (kN/m³)	φ	
Terreno natural	Grava	19-22	34°-45°	
	Arena	17-20	30°-36°	
	Limo	17-20	25°-32°	
	Arcilla	15-22	16°- 28°	
Rellenos	Tierra vegetal	17	25°	
	Terraplén	17	30°	
	Pedraplén	18	40°	

La presión máxima que ejerce el terreno sobre la estructura [3] sucede en el último tronco, el de la base (24):

$$P = \gamma \times H_{talud} \tag{9}$$

Donde:

P: presión del terreno sobre el último tronco

 $H_{talud}$  = altura del talud (hasta la base).



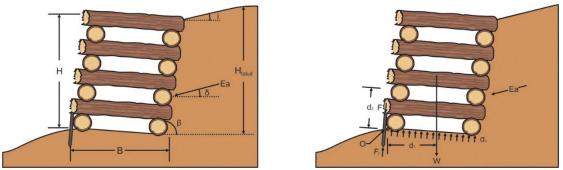


Figura 1.16. Distribución de esfuerzos y variables de cálculo del empuje activo. Derecha: Variables de cálculo de los coeficientes de seguridad.

Si el muro trabaja sumergido, aunque sea parcialmente, aparece un empuje ascensional denominado subpresión que afecta a la estabilidad de la estructura (contrarrestando la acción estabilizadora del peso del muro):

$$S_p = \frac{1}{2} h \gamma_h B K \tag{10}$$

#### Donde:

 $S_p$ : presión del terreno sobre el último tronco

 $\gamma_h$ : peso específico del agua.

h: altura de la lámina de agua.

B: anchura equivalente del muro.

K: factor de modificación dependiente de las características del terreno de apoyo.

La subpresión es máxima durante una avenida, aunque el peso del terreno y del agua que puede gravitar sobre él

No se considera la reducción del cajeado sobre el tronco puesto que en la sección de unión con el tronco dispuesto perpendicularmente, la resistencia a flexión es mayor ya que se disminuye la longitud de los vanos y dicho tronco colabora con el anclaje (Figura 1.17).

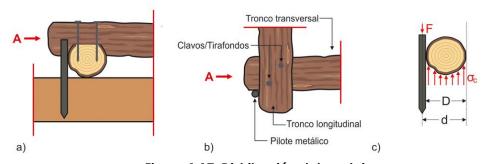


Figura 1.17. Distribución del anclaje.



• Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento entre curvas a nivel.

Para conocer la distancia entre curvas a nivel.



Figura 1.18. Zanja o canal de desagüe de la terraza de formación sucesiva.

Segundo paso. Excavar la zanja.

Sobre la curva marcada se realiza la excavación, la profundidad y el ancho de corte dependerán de la profundidad del suelo, sin embargo, se recomienda que las dimensiones sean de 50 centímetros de ancho por 40 centímetros de profundidad. Puede realizarse la excavación con el uso de maquinaria, equipo de tracción animal, de forma manual (pico y pala) o de manera combinada, de acuerdo a las condiciones de cada lugar y los recursos disponibles. El material resultante de la excavación se coloca aguas arriba de la zanja.

#### 7 ZONA DE VERTEDORES/CONEXIÓN ALBAÑAL SISTEMA.

Cálculo del vertedor

Posterior a la determinación de la altura de la presa y el tamaño de la base, se calculan las dimensiones del vertedor en función del escurrimiento máximo por evento estimado, para un periodo de retorno de diez años y utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = 1.45 L H^{\frac{3}{2}} \tag{11}$$

Donde:

Q: gasto máximo de descarga del vertedor.

L: longitud efectiva del vertedor.

H: carga sobre la cresta del vertedor.



La longitud efectiva del vertedor se considera que es de un tercio del ancho de la cárcava y al conocer el gasto máximo del cauce para un periodo determinado, lo que se requiere es encontrar la altura del vertedor, misma que se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$H = \left(\frac{Q}{1.45 L}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{12}$$

• Registro de albañal.

Se deberá considerar un registro de albañal a la salida de cada domicilio o descarga. Esta permite dar mantenimiento de la red, aislar descargas o dejar la instalación terminada en zonas donde aún no se cuenta con la descarga de la vivienda.

Considerar un registro, permite terminar completamente cada uno de los elementos que conformarán la red de atarjeas, en zonas de futuro crecimiento y con esto se evitan rupturas de pavimento o daño a cualquier otra instalación durante maniobras para la conexión de nuevas descargas. La

Figura 1.19, presenta un registro construido a base de muros de mampostería y tapa de concreto, pero en el mercado existen algunos prefabricados de concreto o materiales plásticos.

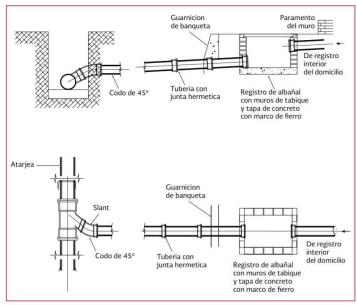


Figura 1.19. Registro de albañal.



Para el procedimiento constructivo del registro se hará lo siguiente.

- Diseño de la descarga de la atarjea hacia el colector pasando por el registro.
- Construcción de las paredes del registro con tabique rojo de 30 x 30 x 20 cm, junteado con mortero cemento arena 1:3.
- Construcción de castillos y secciones de acero de refuerzo como estructura de refuerzo.
- Acabado de media caña en la descarga del registro.
- Suministro y colocación de marcos como estructura de soporte y tapa.
- Repellado de concreto en paredes internas del registro.

#### 8 GAVIÓN LATERAL.

Es una estructura permanente, permeable y ligeramente flexible, formada a base de paralelepípedos de forma rectangular (cajones) denominados gaviones, construidos por una malla de alambre de triple torsión, llenos de piedra acomodada (Figura). Este tipo de presa representa un costo considerable por lo que requiere de un diseño de ingeniería.

Las presas de gaviones pueden sufrir deformaciones sin perder eficiencia; permiten el flujo normal del agua, reteniendo azolves, y debido a que los cajones de gaviones forman una sola estructura, tienen mayor resistencia al volteo y al deslizamiento

#### Proceso de construcción

El diseño de las presas busca estabilizar y evitar el crecimiento de las cárcavas, aunado a una retención e infiltración de agua Las presas de gaviones, por lo general, se utilizan

en cárcavas con dimensiones mayores a los dos metros de ancho y 1.5 metros de profundidad. Estas presas no se recomiendan en cárcavas con dimensiones menores, por su alto costo.



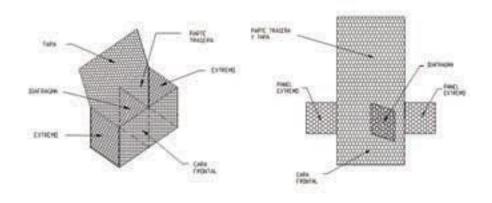


Figura 1.20. Módulos de una presa de gaviones.

El criterio de espaciamiento de las presas de gaviones es doble cabeza-pie, el empotramiento es hasta que se tenga un piso firme o enterrar al menos 50 centímetros (cm) a 1 metro de profundidad, de igual manera se debe empotrar hacia los lados a una longitud mayor de 50 cm, para evitar que el agua franquee la presa y se debilite, así mismo se construye un delantal que evita que se socave la estructura.

Los gaviones presentan medidas estándares, por lo que el diseño de la obra se debe hacer de acuerdo a esas medidas, de acuerdo a la NOM-B-085-CANACERO-2005, las medidas de los gaviones son las siguientes (Tabla 1.2):

Tabla 1.2. Medidas de gaviones.

Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número de celdas por pieza	Volumen (m³)
1.50	1.00	1.00		1.50
2.00	1.00	1.00	2	2.00
3.00	1.00	1.00	3	3.00
4.00	1.00	1.00	4	4.00
1.50	1.00	0.50		0.75
2.00	1.00	0.50	2	1.00
3.00	1.00	0.50	3	1.50
4.00	1.00	0.50	4	2.00
1.50	1.00	0.30		0.45
2.00	1.00	0.30	2	0.60
3.00	1.00	0.30	3	0.90



La malla de los gaviones debe ser de triple torsión y puede ser de distintos calibres, los estándares de calidad, ver Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Dimensiones nominales.

Tipo de Malla	Dimensión Nominal para valores de "D"
5 por 7	53 mm (2,09 pulgadas)
6 por 8	64 mm (2,50 pulgadas)
8 por 10	83 mm (3,25 pulgadas)
10 por 12	114 mm (4,5 pulgadas)

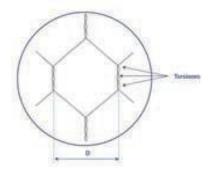


Figura 1.21. Malla triple torsión, para gaviones

#### • Cálculo del ancho y forma de la cortina

Las presas de gaviones también son presas de gravedad, por lo que su elemento estabilizador es el peso de la estructura; su diseño consiste en encontrar el peso adecuado que resista el embate de las fuerzas; sin embargo, hay que recordar que al ser presas filtrantes no hay subpresión. Así mismo puesto que no hay tensión en la presa, el criterio de diseño para el tamaño de la base, es cuando R se aproxime al 100%. Las fuerzas y demás componentes interactúan de acuerdo a la Figura 1.23.



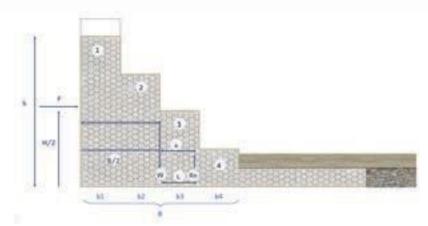


Figura 1.22. Factores a considerar para el diseño de gaviones.

Las fórmulas para su cálculo, se describen a continuación.

Centro de gravedad de la presa:

$$\overline{x} = \frac{XA}{A} \tag{13}$$

#### Donde:

XA: centro de gravedad por el área de la presa.

A: área de la presa.

Peso de la presa:

$$W = \gamma_g A \tag{14}$$

#### Donde:

XA: centro de gravedad por el área de la presa.

 $\gamma$ : densidad del gavión.

A: área de la presa.

Fuerza de empuje:

$$F = \gamma_{az} \frac{h^2}{2} \tag{15}$$



Donde:

F: fuerza de empuje.

 $\gamma_{az}$ : densidad del azolve.

h: altura efectiva de la cortina.

Distancia donde cae el peso de la presa, respecto de la resultante normal (L).

$$L = \frac{Fh}{3W} \tag{16}$$

Excentricidad de la presa.

$$e = \overline{x} + L - \frac{B}{2} \tag{17}$$

Criterio de decisión (R).

$$R = 600 \frac{e}{B} \tag{18}$$

El proceso de cálculo más detallado en las presas de gaviones, es el cálculo de la base, misma que se va componiendo de una serie de hileras de gaviones que le dan su peso.

A diferencia de la presa de mampostería, en las presas de gaviones el diseño de la base siempre es rectangular y dado que cada sección tiene una altura distinta, se debe calcular el área para cada una de ellas, de acuerdo a la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Centro de gravedad, área y centro de gravedad por el área

Sección	x	Α	XA
1	B1/2		
2	B1+B2/2		
3	B1+B2+B3/2		
4	B1+B2+B3+B4/2		
n	B1+B2+B3++Bn/2		



Su estructura está conformada por un armado de roca acomodada, confinada por una malla de acero galvanizado, con el objetivo de mitigar los procesos erosivos que ocurren en talud, por la bajada de torrentes laterales de agua.

Esta estructura permitirá el establecimiento de una cobertura vegetal, lo cual propiciará su rápida integración al contexto paisajístico de la barranca.



Figura 1.23. Estructura de gavión lateral.

#### 9 HUMEDAL RIPARIO.

Tienen comol objetivo darle un tratamiento al agua residual y con ello disminuir la carga de nutrientes y contaminantes que ingresan al sistema de la barranca vía agua residual. Este tipo de humedales se ubican principalmente en las partes altas.



Figura 1.24. Humedal Ripario.



#### • Proceso de construcción

Durante el arreglo físico se consideran aspectos como son la geometría de los humedales (relación largo-ancho), profundidad de los lechos, ancho de los bordos, de estructuras de entrada y salida (vertedores, válvula codos de nivelación), tuberías de distribución y recolección, tamaños y tipos de las

perforaciones en las tuberías, y todos aquellos aspectos físicos y estructurales que deberán ajustarse al dimensionamiento teórico (obtención del área de tratamiento) y que además deberán ser tomados en cuenta para proyectar y facilitar las acciones de operación y mantenimiento, de todas las deficiencias que no sean contempladas desde el inicio, se traducirán en el incremento de las acciones de operación y mantenimiento, con los respectivos costos que esto implica. Por ejemplo si se determina un diámetro muy pequeño y una distribución inadecuada de las perforaciones de las tuberías de distribución, se propicia el riesgo de taponamientos, lo que afectaría el comportamiento hidráulico del humedal, se producirían flujos preferenciales, se reduciría la eficiencia de tratamiento, se afectaría el desarrollo de los microorganismos y las macrófitas, y se demandaría un mayor tiempo.

A continuación se mencionan diversos tipos de humedales que entran dentro

El medio granular es el principal elemento de un humedal de flujo subsuperficial que lo diferencia del humedal de flujo libre. En su seno se da la sedimentación de los materiales en suspensión, degradándose la materia orgánica. Los nutrientes se transforman y asimilan mientras que los agentes patógenos se neutralizan gracias a la biopelícula que se crea en la superficie del sustrato.

El lecho de grava ofrece al humedal una mayor tasa de reacción que permite conseguir los mismos rendimientos con un área menor. El nivel del agua debe permanecer siempre entre el material granular con lo que se evitan posibles problemas de olores y mosquitos. Además, esta capa presta mayor protección térmica evitando así problemas de congelación en climas fríos.



Es necesario cuidar especialmente la conductividad hidráulica. Gravas bien lavadas y de diámetros de entre 5 y 8 milímetros son las que mejores resultados proporcionan, al aumentar la superficie disponible para que se adhiera la biopelícula.

Aunque el área requerida sea menor que un sistema FWS, se han de contar los costos derivados por el material granular. Un sistema será más económico que el otro dependiendo del precio del suelo, del tipo de impermeabilización utilizado y la disponibilidad del material granular.

#### 10 HUMEDAL DE RETENCIÓN LATERAL.

Serán diseñados como pequeños reservorios de agua, captando escurrimientos de primer orden en los pies de ladera y barrancas, con el objetivo de interceptar picos de escorrentías y favorecer la retención de agua y humedad en las laderas. Estos pequeños reservorios estarán dispuestos estratégicamente a lo largo de la barranca, con la finalidad de aumentar el valor paisajístico y funcionalidad ecológica de la cuenca, favoreciendo condiciones para la recuperación de la biodiversidad y reducir el estrés hídrico en temporada de estiaje.

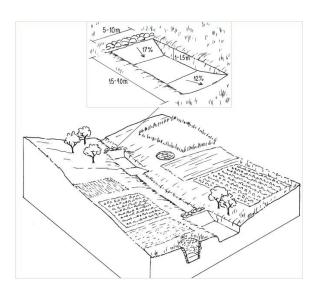


Figura 1.27. Esquema de componentes y funcionamiento de un humedal de retención lateral.

• Procedimiento: Se calculará el valor del coeficiente de escurrimiento "Cp", con la finalidad de obtener el volumen llovido y escurrido. Con



base en esos parámetros se calcula la capacidad de infiltración del subsuelo, para posteriormente calcular el volumen a escurrir y con ello realizar en dimensionamiento de la cepa a excavar.



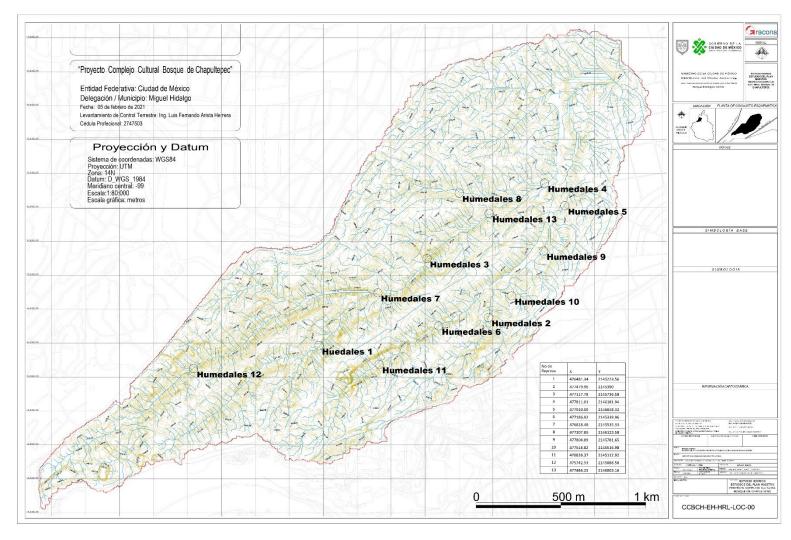


Figura 1.28. Plano de ubicación de localización de humedal lateral..



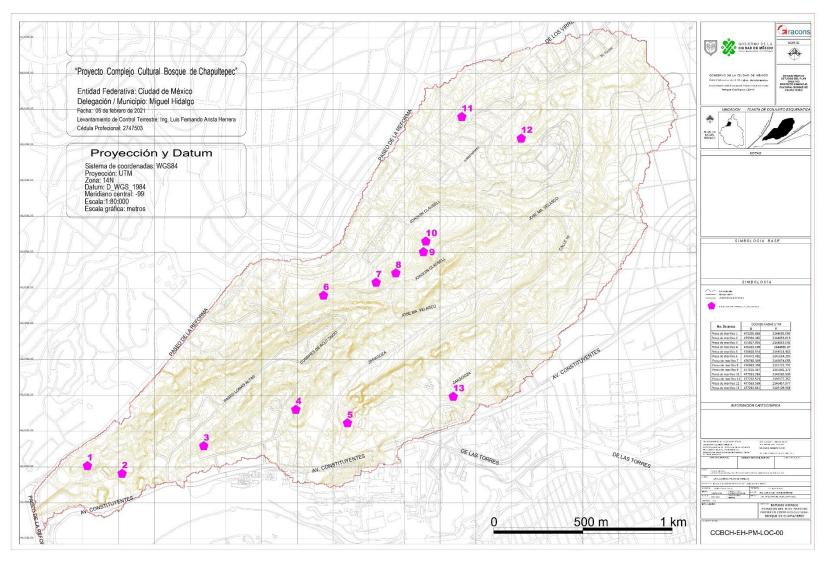


Figura 1.29. Plano de localización de presa de morillos.



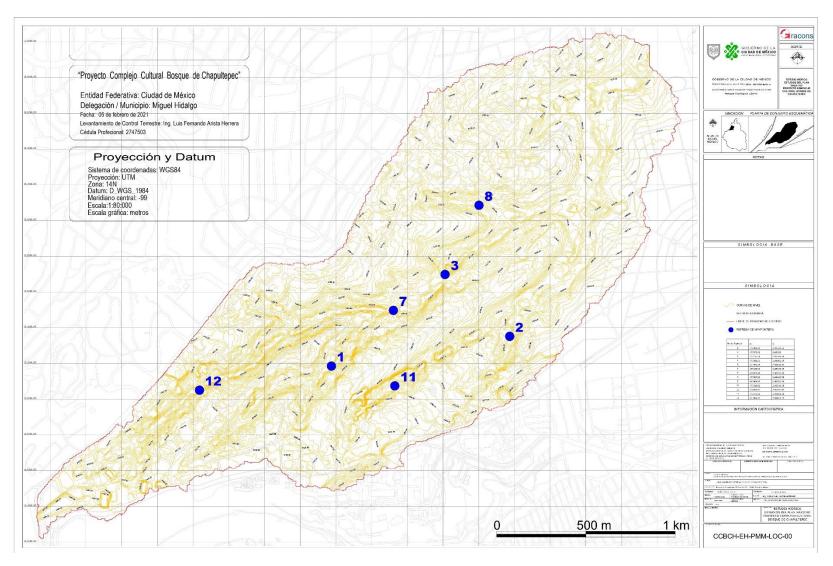


Figura 1.30. Plano de localización de represas de mampostería.



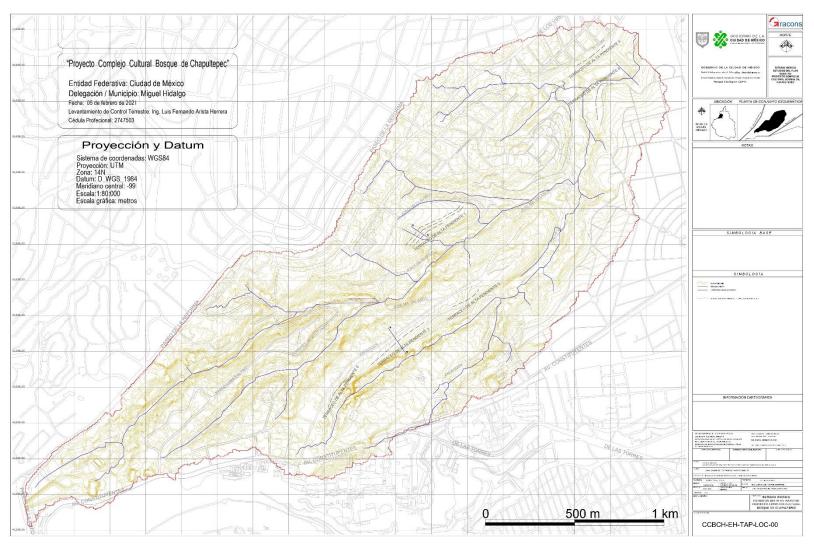


Figura 1.31. Plano de localización de terraceo en alta pendiente.



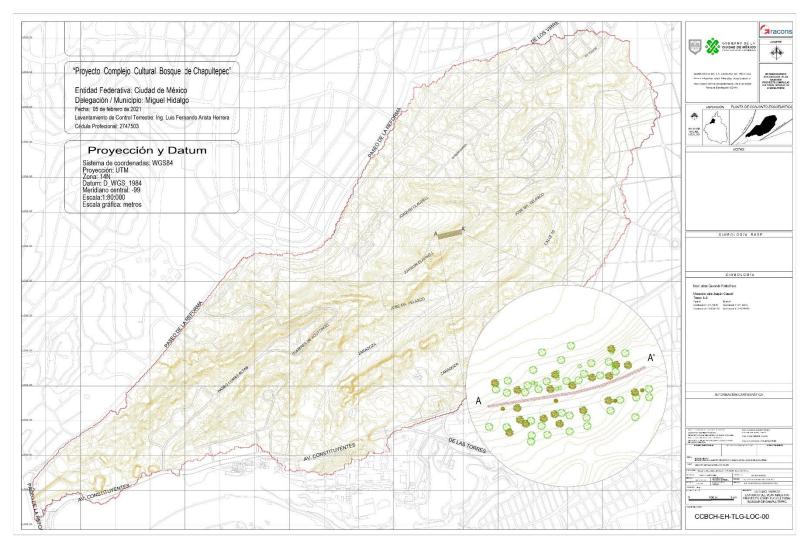


Figura 1.32. Plano de localización de talud lateral de gavión de piedra braza.



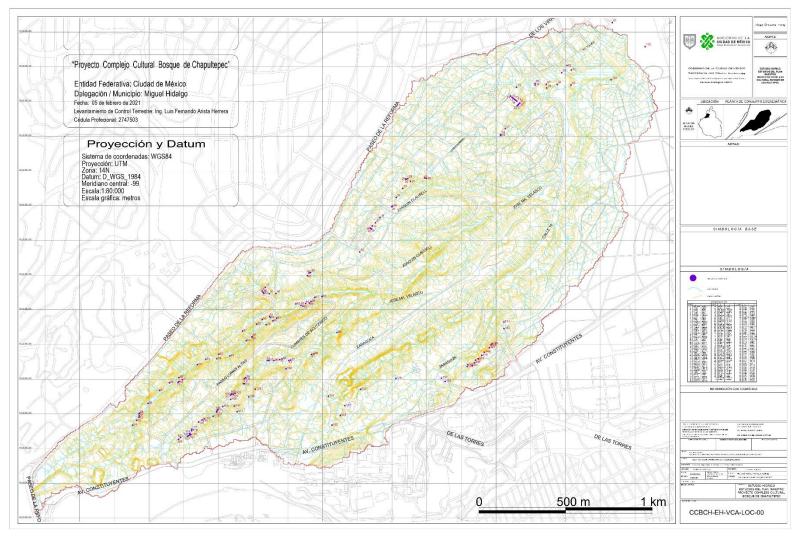


Figura 1.33. Plano de ubicación de gaviones laterales.



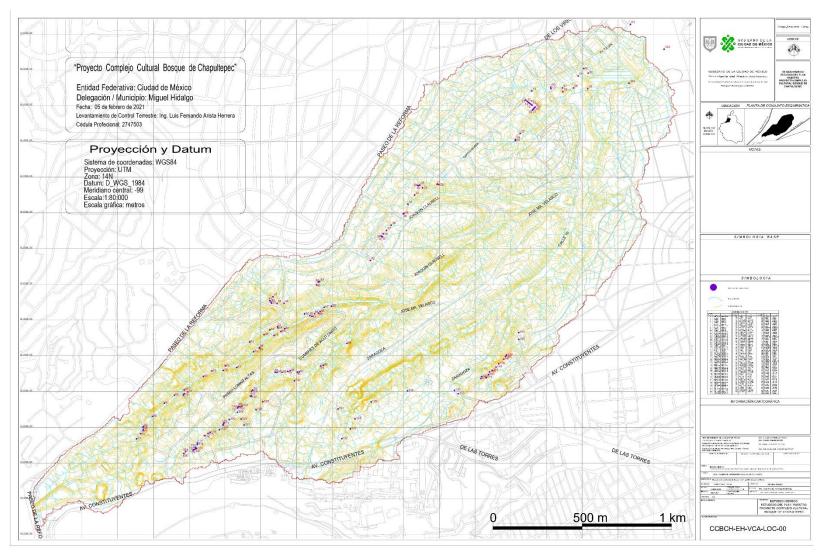


Figura 1.34. Plano de localización de zona de vertedores/conexión albañal sistema.



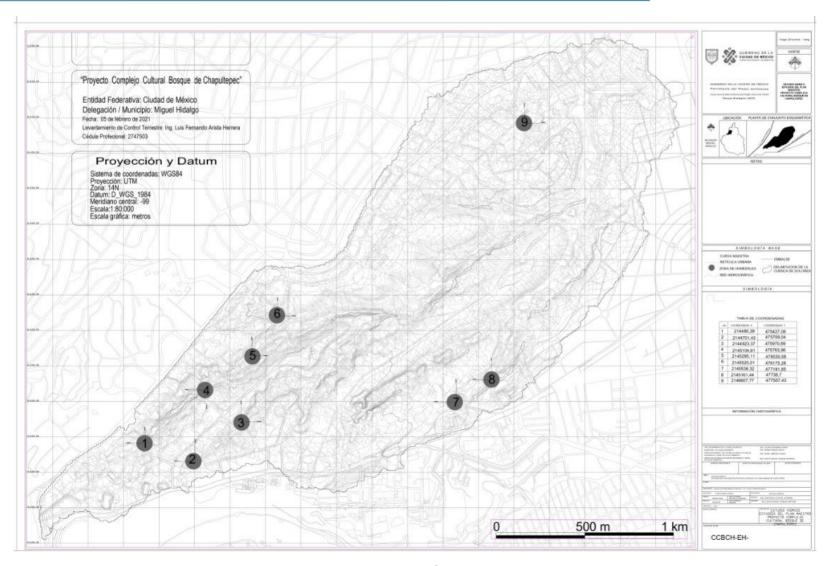


Figura 1.35. Plano de localización de humedales riparios.



# 11 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN REACTORES Y BIOFILTROS ANAEROBIOS.

### Problemática

Las descargas de aguas residuales domésticas crudas a la barranca sin duda es una de las principales causas del deterioro ambiental. Son descargas las cuales por la situación geográfica o por la orografía o por situarse en un área de valor ambiental, en la cual no debería existir asentamientos humanos, no cuentan con el servicio de drenaje.

La descarga directa de agua cruda a la barranca provoca el ingreso de altas cargas orgánicas lo que genera que decaiga el oxígeno disuelto en la misma, lo que provoca que carezca de vida acuática, generando además de olores desagradables, producto de la degradación en ausencia de oxígeno o anaerobia de las aguas residuales, lo que conduce a la atracción de vectores como moscas, mosquitos y roedores tales como ratas y ratones.

Solución integral sustentable y sostenible

La aportación de agua a la cuenca, si bien actualmente representa un grave problema de contaminación, se le puede dar un modo sustentable al tratar dichas aguas con una calidad de agua que permita su descarga

Caracterización cualitativa y cuantitativa de las descargas

Se deberá partir de un estudio a fondo para establecer mediante un recorrido por ambos márgenes del cauce para localizar y registrar una a una de las descargas de aguas residuales, estableciendo su geoposición, midiendo su gasto y calidad de agua mediante análisis de la misma, mediante la aplicación de los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de aguas residuales a bienes nacionales.

Para efecto de establecer un costo paramétrico del tratamiento de las aguas residuales, se utilizaron bases de datos con planos de la topografía LIDAR cada 5m del INEGI, red de drenaje instalado y catastro de predios con casas habitación ubicados dentro de toda el área de valor ambiental de la barranca,



lo cual permitió establecer que casas habitación o predios no cuenta con drenaje y por ende descargan sus aguas residuales a la barranca así como la

ubicación de las aportaciones artificiales por donde se descargan las aguas residuales.

Estableciendo el número de predios o casas habitación, se procedió a consultar el consumo medio de agua potable de la base de datos de SACMEX, lo cual arrojó el gasto aproximado de descargas y el gasto promedio.

Tabla 1.5. Centro de gravedad, área y centro de gravedad por el área.

Nanocuenca	Qprom, I/s	Qar, I/s	QarMin, I/s	М	QarMaxInst, I/s	QarMaxExt, I/s
1	21.23	15.92	7.962	1.335	21.25	31.882
2	12.65	9.49	4.744	3.8	36.05	54.080
3	0.23	0.17	0.086	3.8	0.65	0.977
4	0.14	0.11	0.054	3.8	0.41	0.611
5	0.00	0	0.000	0	0	0
6	0.00	0	0.000	0	0	0
7	2.14	1.61	0.804	3.8	6.11	9.167
8	0.10	0.08	0.039	3.8	0.29	0.440
9	0.00	0	0.000	0	0	0
16	8.38	6.29	3.144	1.383	8.698	13.047
19	0.92	0.69	0.345	3.8	2.620	3.930



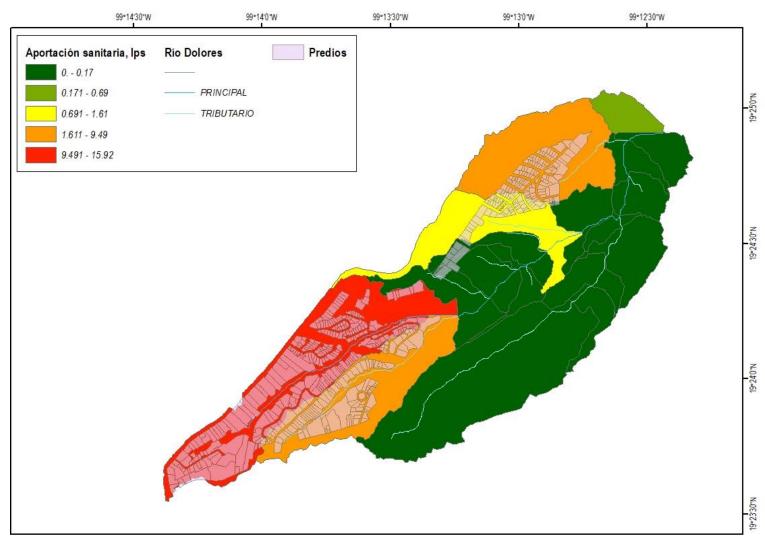


Figura 1.37. Plano de aportación de agua residual sanitaria en litros por segundo por microcuencas de Río Dolores.



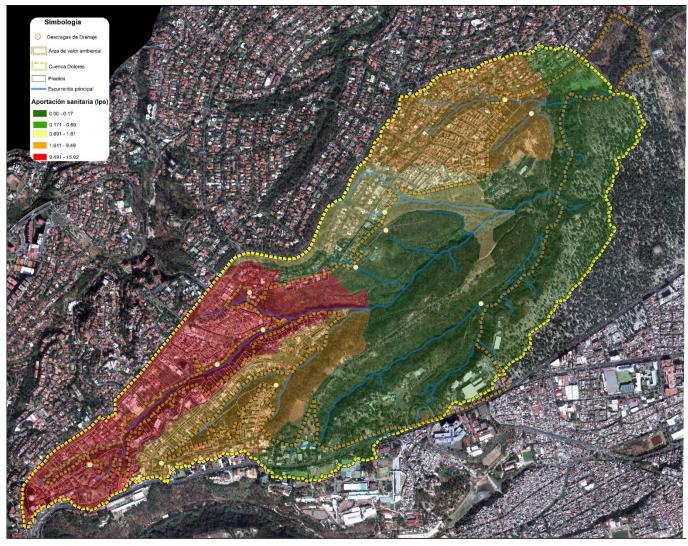


Figura 1.38. Plano de aportación de agua residual sanitaria en litros por segundo por microcuencas de Río Dolores.



Para la calidad de agua se tomaron parámetros promedio de aguas residuales de drenajes que se tomaron como base para la Planta de Tratamiento Chapultepec y que se muestran en la tabla 1.6.

Tabla 1.6. Centro de gravedad, área y centro de gravedad por el área.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Temperatura media del agua en verano (Tmax)	ō C	24
Temperatura promedio del agua (Tprom)	ō C	21
Temperatura media del agua en invierno		
(Tmin)	ō C	18
Potencial de hidrógeno (PH)	-	7
Alcalinidad (CaCO3)	(mg/L)	200
Grasas y aceites	(mg/L)	70
Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	(mg/L)	268
Demanda bioquímica de oxígeno soluble	(mg/L)	98
Demanda química de oxígeno DQO	(mg/L)	589
Demanda química de oxígeno soluble	(mg/L)	220
Sólidos sedimentables	(mg/L)	7.7
Sólidos suspendidos totales SST	(mg/L)	267
Sólidos suspendidos volátiles SSV	(mg/L)	213.6
Nitrógeno Kjelldal total (NKT-N)	(mg/L)	38.5
Nitrógeno amoniacal (NH4-N)	(mg/L)	23.4
Nitrógeno orgánico (Norg-N)	(mg/L)	15.1
Nitrógeno de nitratos (NO3-N)	(mg/L)	0
Nitrógeno total (NT)	(mg/L)	38.5
Fósforo total (P)	(mg/L)	10.1
Coliformes fecales	(NMP/100ml)	1.00E+07
Huevos de helminto	(h/L)	10

• Tratamiento desentralizado de las aguas residuales

Se reitera que tanto la localización precisa y cuantificación y cualificación de las descargas es un estudio que deberá hacerse para localizar y seleccionar el sistema de tratamiento. Al establecer la cantidad, calidad y localización de las aguas residuales que descargan a la cuenca de la barranca, se proponen dos sistemas de tratamiento para dichas aguas.



Plantas de tratamiento para descargas menores.

Las descargas de aguas residuales son variadas, existen descargas de las cuales son de 6 casas como máximo, y descargas de hasta de 6 L/s. En ambos casos las aguas residuales a tratar serán dispuestas como un sistema de irrigación y tratamiento en suelo (para las descargas menores) y sistemas de humedales estacionarios para las descargas mayores a 5 L/s.



Figura 1.39. Descarga de agua residual de 6 casas, la imagen principal corresponde a la descarga combinada de agua pluvial de la vialidad, arriba a a la izquierda la descarga de agua sanitaria.

En este caso la planta de tratamiento se puede instalar justo antes de su descarga al drenaje pluvial, todas las plantas tendrán un sistema de canal de demasías en caso de que ingrese agua pluvial que supere su capacidad de tratamiento se desviará y descargará al drenaje combinado evitando su ingreso al sistema de tratamiento.



Figura 1.40. Área disponible para instalación de planta de tratamiento, el diseño es para que se instale bajo el nivel de terreno natural.



El sistema propuesto estaría excavado bajo el suelo sobresaliendo únicamente los pasos hombre que sirven para darle un mantenimiento al sistema, se propone un sistema de rejillas para sólidos finos, sedimentador primario, filtro biológico anaerobio de material plástico, filtro profundo de arena antracita, no contará con sistema de desinfección debido a que el efluente tratado se dispondrá cono un sistema de descarga en suelo con tubería perforada en los márgenes de la barranca para su aprovechamiento para mantener hidratada el área forestal.

• Características y Funcionamiento

El sistema de tratamiento está conformado por un depósito compacto fabricado en vitroresina (Resinas reforzadas con fibra de vidrio), de dos compartimentos.

- 1) Compartimento de decantación primaria, digestión anaeróbica y clarificación
- 2) Compartimento de reacción biológica con filtro percolador anaeróbico
- Compartimento de decantación primaria, digestión anaeróbica y clarificación
- ➤ En el primer compartimento del filtro biológico compacto anaeróbico se realiza la homogenización del agua, la sedimentación primaria de los sólidos y una parcial digestión de la materia orgánica por parte de organismo y bacterias anaeróbicas. Con estos tratamientos se obtiene también una buena clarificación del agua, gracias a la eliminación de la mayoría de las sustancias sólidas.

A la salida de este primer tratamiento se puede establecer un rendimiento en torno a un máximo de aproximadamente un 80% de retención de sólidos en suspensión y un 30 % de reducción de DBO5.

 Compartimento de reacción biológica con filtro percolador anaeróbico.

El segundo compartimiento corresponde al filtro biológico anaeróbico y está formado por un relleno de material plástico esférico BIO LAM de elevado rendimiento, donde se realiza la degradación y digestión biológica de la



{materia orgánica, gracias a la acción de microorganismos anaeróbico. El agua procedente desde la parte superior del primer compartimento es distribuida hacia la parte inferior del segundo compartimento mediante una tubería sifónica y atraviesa de forma ascendente los cuerpos filtrantes, que sirven también de soporte a los microorganismos anaerobios que se adhieren a ellos y van degradando la materia orgánica disuelta en suspensión coloidal que el agua contiene.

Una tubería de salida instalada en la parte superior del compartimento recoge las aguas tratada para su posterior vertido. Esta tubería está instalada sobre toda su longitud del segundo compartimento y tiene forma de canaleta con perfil dentado tipo "Thompson", para evitar la salida de sólidos, flotantes y grasas.

- > Características generales de los filtros biológicos compactos
- Son sistemas de depuración apropiados para viviendas unifamiliares.
- > No necesita energía eléctrica para su funcionamiento.
- > Tienen unos costos iniciales y de operatividad muy bajos, lo que le da una considerable ventaja sobre otros tratamientos aeróbicos
- Su mantenimiento es casi inexistente y se limita a la extracción de lodos del primer compartimento, aproximadamente cada 12 o 15 meses.
- No precisan de personal cualificado para su funcionamiento ya que son uno de los sistemas de depuración más simples entre todos los existentes.
- Consiguen reducir el índice de DBO5 aproximadamente entre un 60 y un 70 % (con aguas residuales de tipo doméstico o asimilable).



Figura 1.41. Esquema renderizado de un corte de sistema de tratamiento de agua residual mediante filtro biológico.



# 12 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN HUMEDALES.

El sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de descarga, será tratado por medio de humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal

A continuación, se presenta el diseño que fue propuesto por la Environmental Protection Agency (EPA) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el cual se adaptará para el tratamiento de las aguas sanitarias provenientes de la zona circundante de la Cuenca de la Presa del Río Dolores.

# • Sistema de pretratamiento

La selección del tipo de humedal está basado en que el agua residual por tratar, la cual será trata previamente mediante un sistema de biodigestor con la finalidad de remover los sólidos en suspensión y la carga orgánica.

## Vegetación

Se utilizarán carrizos, cuyas plantas tienen alta eficiencia para el uso de humedales. Este tipo de plantas se adecuan más al diseño del humedal, debido a que crecen y se esparcen rápidamente, tienen sistemas extensos de raíz.



Figura 1.42. Estructura de humedal.



#### Sustrato

Los materiales a utilizar son arenas y gravas, en los cuales se irá depositando sedimentos y residuos, a medida que el efluente circula lentamente por toda la superficie. La importancia del sustrato en un humedal radica en el hecho de que sirve de sustento a todos los seres vivos que habitan en él, incluyendo los microorganismos encargados del tratamiento de las aguas residuales. Asimismo, la impermeabilidad del humedal depende del sustrato que lo compone y del suelo que lo sustenta. Su colocación y suministro quedará de la siguiente manera:

- Se colocará una capa de arena de 10 cm compactada para tener una superficie firme.
- Se utilizará una capa de 15 cm de grava de ½" por especificación de diseño.
- Muros perimetrales

Se construirá muros de mampostería con roca volcánica de 0.6 m de altura, desplantados desde el nivel del humedal, para fines estáticos, mismos que serán aplanados por medio de mortero, cemento y arena fina.

#### Plantilla

Llevará una plantilla de concreto simple f'c=100 kg/cm² de 5 cm de espesor, con fin de estabilización uniforme de la estructura para evitar el hundimiento del mismo.

### • Firme de concreto

Se le colocara un firme de concreto simple f'c=100 kg/ m² de 10 cm de espesor, para la base inferior de la estructura.

#### Entortado

Anticipando un buen funcionamiento se le dará la pendiente del 1%, con un entortado con mortero, cemento-arena, proporción 1:4 de 8 cmde espesor.



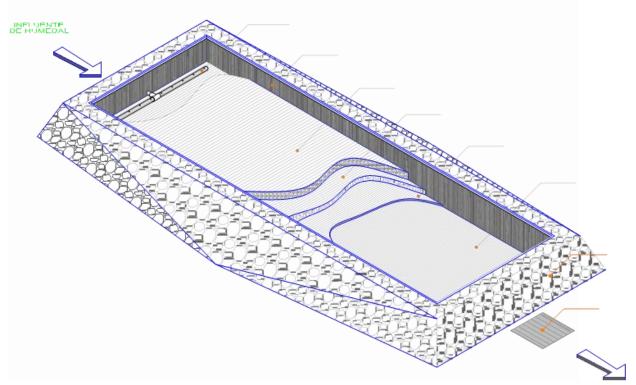


Figura 1.43. Propuesta de diseño para humedal artificial subsuperficial.

## Microorganismos

La eficiencia del humedal como sistemas de tratamiento está condicionada fundamentalmente por la actividad microbiológica que en ellos se lleva a cabo. Es por esto que, al diseñar y construir un humedal artificial, se toma muy en cuenta la creación de un ambiente propicio para el crecimiento de los microorganismos.

Los protozoos, las bacterias y las algas microscópicas son sólo algunos de los tipos de microorganismos que crecen en el humedal y que se encargan de tratar el agua residual.

### Proceso de Remoción Físico

El humedal es capaz de proporcionar una alta remoción de contaminantes asociados con material sedimentable. Esto se debe a que el flujo es muy lento y por lo general laminar, dando suficiente tiempo a los materiales para sedimentar. La sedimentación en un humedal es considerada un proceso irreversible pero puede ocurrir una re-suspensión del material sedimentado,



especialmente cuando se dan períodos de velocidad alta del flujo a causa de turbulencias y cambios bruscos en la dirección del viento.

Proceso de remoción químico

El proceso químico de mayor importancia en los humedales es la absorción, que logra la retención a corto plazo y/o la inmovilización a largo plazo de algunas clases de contaminantes. Se entiende como absorción al proceso de transferencia de las moléculas con cargas positivas o negativas (iones) a partir de la fase líquida a la fase sólida.

• Proceso de remoción biológico

El proceso de remoción biológico se basa en el hecho de que los contaminantes son formas de nutrientes esenciales para las plantas. Ejemplo de esto lo constituyen el nitrato y el fosfato que las plantas son capaces de captar fácilmente del humedal.

## 13 JUSTIFICACIÓN DE CADA PROPUESTA

- Presa muro de mampostería: es la obra de mitigación para control erosivo y retención de sedimentos con mayor tiempo de durabilidad, de mayor costo y mayor impacto positivo. Es importante ubicarlas en puntos sobre el cauce principal y su principal es la de retener los sedimentos auxiliándose de otras obras complementarias de mitigación, que son necesarias de construir ya que evita que la presa se llene de azolve de sedimentos en el corto plazo, su propuesta es elemental en el sistema de cuenca de la Presa de Dolores para tener control de erosión en las márgenes del cauce principal.
- Represa muro zampeado de piedra braza: es una obra de control erosivo, su ubicación en el proyecto en puntos estratégicos, permite la consolidación de sedimento en las márgenes de las cárcavas para evitar su erosión mayor.
- Presa de morrillos: se caracteriza por ser una obra de retención de sedimento y control de mitigación de erosión en cárcavas por medio de troncos, su ubicación en el proyecto donde inician los puntos de inicio de los escurrimientos con pendiente suave, permite un mayor control de erosión y evitar el desprendimiento del material de la superficie de terreno, por lo que se optó su empleo en la presente propuesta.
- Bordos en curva de nivel (key line): se ubican en zonas con presencia de vegetación, su justificación radica en su capacidad de potencial de humedad en las plantas, evitando el estrés hídrico y el problema de



- erosión, en la propuesta resulta ser una obra de gran beneficio para la conservación de la vegetación.
- Talud lateral de gavión de piedra braza: esta obra mitiga el desgaste por erosión de las márgenes de las cárcavas, encauzando y amortiguando el paso del agua, evitando erosión.
- Terraceo alta pendiente: esta tipo de obra se planteó usarla en puntos de elevación considerable, lo que permite con ello evitar la erosión en el inicio de las cárcavas donde empieza el escurrimiento, favoreciendo la retención de sedimentos.
- Zona de vertedores/conexión albañal sistema: en la zona del proyecto abundan las descargas de aguas servidas, por lo que es recomendable incluir registros en las conexiones de las descargas que eviten el afloramiento de fauna nociva y mejores condiciones sanitarias.
- Gavión lateral: esta obra también funge como una estructura de amortiguación y control de erosión en las márgenes de los ríos, su material compuesto de roca acomodada permite también la filtración de humedad del terreno donde se desplantan, aminorando el impacto ambiental, es por eso que se optó por su implementación como propuesta de obra de control de erosión.
- El uso de humedales, ripario, retención lateral, reactores y biofiltros anaerobios funcionan como filtros naturales del agua, tanto en las descargas de aguas residuales, como en los escurrimientos naturales de los mismos.
- El uso de sistemas de tratamientos de aguas residuales con base en reactores y biofiltros anaerobios, son alternativos y de menor costo que una planta de tratamiento convencional, resultando ser una opción más económica, además de su versatilidad pudiendo colocarse fácilmente en cualquier descarga, sin estar a la vista del público depurando de contaminantes los volúmenes de aguas residuales.
- Para la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales con base en humedales, evita filtración de contaminantes hacia el subsuelo, reteniéndolos en las capas de materiales granulares para su posterior limpieza. Este sistema de tratamiento es complementario a los sistemas de tratamiento de aguas residuales con base en reactores y biofiltros anaerobios, logrando un mejor proceso de tratamiento en el agua de las descargas.

A continuación , se muestran imágenes del proceso erosivo que existe en el circuito parque Clausell, para lo que se recomendaria mitigar la problemática mediante el empleo de gaviones escalonados.





Figura 1.44. Deslave en talud, debido a erosión.



Figura 1.45. Guarnición y banqueta sobre talud erosionado.





Figura 1.46. Talud erosionado debido a descarga de drenaje pluvial sobre cárcava.

Dentro del circuito del Parque Clausell, también se ubican otras cárcavas con erosión mas moderada, como la que se observa acontinuación.



Figura 1.47. Carcava con erosión moderada.



## 14 CONCLUSIONES

Las obras de mitigación mencionadas en el presente trabajo, funcionan en conjunto y no de manera aislada, ya que el fenómeno de erosión está relacionado por la falta de vegetación que propicia una falta de humedad que ocasiona erosión. Los sistemas de presas se complementan con otras obras complementarias para evitar su azolvamiento en el corto plazo, además de garantizar la retención de los sedimentos, evitando que las márgenes de las cárcavas aumenten debido a la erosión. La cobertura vegetal juega un papel crucial en cuanto la capacidad de que el suelo permanezca en masa homogénea, ya que las raíces garantizan soporte del mismo. La selección del tipo de obra de mitigación contra erosión, quedará en función del tipo de orden de corriente, ya que los cauces principales presentan mayor grado de erosión, debido a los volúmenes de corriente que transitan en sus márgenes, que los cauces tributarios de corrientes intermitentes. Es de suma importancia el mantenimiento preventivo y correctivo cuando de construye alguna obra de erosión, ya sea en su carácter de temporal como las presas de morillos o permanente como las presas de mampostería. El control del crecimiento de cárcavas garantizará una capacidad portante y de sujeción al suelo, además de resistencia contra la intemperie. El resultado del buen funcionamiento de dichas obras se refleja cuando trabajan en masa, ya que cada una contribuye de menor a mayor medida en la protección de la superficie del terreno. El tratamiento de aguas residuales es un problema de tendencia que aqueja a la sociedad moderna, desafortunadamente en el predio del proyecto se encuentra una cantidad considerable de descargas, por lo que es de suma importancia proponer los sistemas de tratamiento de aguas residuales con base en reactores y biofiltros anaerobios