

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN PARA EL USO
EFICIENTE DEL AGUA, EN EL EJIDO SAN JUAN DEL COHETERO,
MUNICIPIO DE GENERAL CEPEDA, COAHUILA.**

POR

FREDY ARMANDO LÓPEZ GARCÍA

TESIS

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre del 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Sistema de captación y conducción para el uso eficiente del agua, en el ejido San Juan del Cohetero, municipio de General Cepeda, Coahuila.

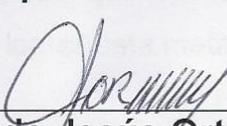
Por:

Fredy Armando López García

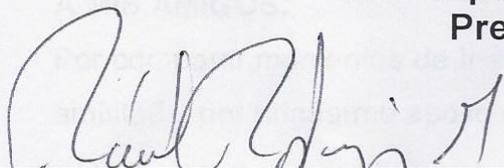
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

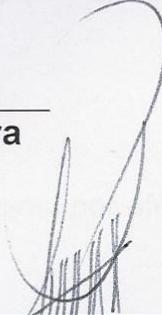
Aprobada por el comité de tesis



Dr. Felipe de Jesús Ortega Rivera
Presidente del jurado

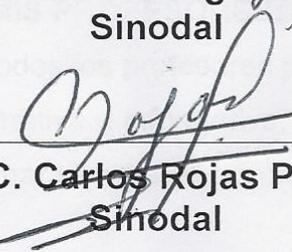


Dr. Raúl Rodríguez García
Sinodal

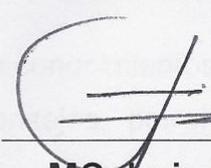


MC. Tomas Reyna Cepeda

Sinodal
Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



MC. Carlos Rojas Peña
Sinodal



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la división de ingeniería


Coordinación de Ingeniería

Buenavista, saltillo, Coahuila, México. Diciembre del 2014

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

María del Carmen García Sánchez.

Por brindarme siempre su apoyo incondicional, por ser tan comprensiva, por creer siempre en mí, por enseñarme a luchar por lo que se quiere, por guiar mí camino y estar siempre junto a mí en los momentos difíciles.

Ignacio López Rodríguez.

Por tu sacrificio, por tu comprensión y confianza, por tu ejemplo de superación incansable, porque sin tu apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional.

A MIS HERMANOS:

Juan Carlos, Olga Alicia, Candelaria, Francisco, Ana Laura.

Por brindarme siempre sus apoyos y porque son una parte esencial de mi vida, por los buenos y malos momentos que hemos pasados, por darme siempre palabras de ánimo con tal verme lograr esta meta.

A MIS AMIGOS.

Por compartir momentos de tristezas, alegrías, éxitos y fracasos, por ofrecerme su amistad y por brindarme apoyo en los momentos difíciles.

A MIS PROFESORES:

A todos los profesores por aportar de sus conocimientos a lo largo de mi vida formativa e informativa, por sus buenos consejos, por el esfuerzo y dedicación de formar ingenieros agrónomos en irrigación.

AGRADECIMIENTOS

A ti Dios.

Por darme la vida, por no abandonarme, por darme las fuerzas para vencer los obstáculos, por superarme en los momentos de tristezas, fracasos y seguir adelante. Principalmente por darme la oportunidad de seguirme preparándome y por permitir la culminación de mi carrera profesional.

A la universidad autónoma agraria Antonio narro, y al departamento de riego y drenaje.

Por abrirme las puertas y permitir lograr mi meta de formarme como ingeniero agrónomo en irrigación, por su apoyo incondicional y por ser una institución educativa de grandes prestigios.

Al Dr. Felipe de Jesús ortega rivera.

Por haberme brindado su amistad y confianza, y por el apoyo incondicional en la realización del presente trabajo. Por compartir sus experiencias en el ámbito laboral.

Al Dr. Raúl Rodríguez García.

Por brindarme sus conocimientos, por ayudarme en la terminación del presente trabajo y por su valiosa dedicación para la revisión de esta tesis.

Al M.C. Carlos Rojas Peña.

Por sus consejos, por sus importantes sugerencias en la realización de esta tesis, por compartir sus conocimientos y experiencias. Por su valiosa dedicación para la revisión de esta tesis.

Al M.C. Tomas Reyna Cepeda.

Por sus comentarios, por sus buenos deseos, por bríndame su amistad y por su valiosa dedicación para la revisión de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Página

DEDICATORIAS	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA EN EL ESTADO COAHUILA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVO GENERAL	6
1.3.1. <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4. HIPÓTESIS	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL.....	7
2.2. PRECIPITACIÓN	8
2.2.1. <i>Tipos de precipitación</i>	9
2.3. PRECIPITACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS	10
2.4. ESCURRIMIENTOS.....	10
2.4.1. <i>Clases de escurrimiento</i>	10
2.4.2. <i>El proceso del escurrimiento</i>	11
2.5. OBRAS DE DERIVACIÓN	14
2.5.1. <i>Tomas directas</i>	15
2.5.2. <i>Barajes simples</i>	16
2.5.3. <i>Cajas de manantiales</i>	16
2.5.4. <i>Galerías filtrantes</i>	17
2.5.5. <i>Diques subterráneos</i>	18
2.5.6. <i>Plantas de bombeo</i>	18
2.6. PRESAS DE DERIVACIÓN	19
2.6.1. <i>Definición</i>	19
2.6.2. <i>Tipos de presas derivadoras</i>	19
2.7. LOCALIZACIÓN	21
2.8. PARTES DE UNA PRESA DERIVADORA.....	22
2.8.1. <i>Cortina o dique derivador</i>	22
2.8.2. <i>Bocatoma</i>	23

2.8.3 Canal desarenador.....	23
2.9. OBRAS DE EXCEDENCIA	24
2.9.1. Definición.....	24
2.9.2. Fórmulas de los vertederos.....	25
2.9.3. Partes esenciales que consta un vertedor	26
2.10. CLASIFICACIÓN DE LAS OBRAS DE EXCEDENCIAS	27
2.10.1. Vertedores de cresta de caída recta.....	27
2.10.2. Vertedores con cimacio tipo creager.....	27
2.11. ELECCIÓN DEL TIPO DE OBRA DE EXCEDENCIA	28
2.12. AVENIDA DE DISEÑO.....	28
2.12.1. Geometría del vertedor	29
2.13. PERÍODO DE RETORNO (T).....	29
2.14. ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA MÁXIMA O ESCURRIMIENTO MÁXIMO	31
2.14.1. Sin construcciones ni cultivos aguas abajo.....	31
2.14.2. Con construcciones y cultivos aguas abajo	32
2.14.3. Envoltentes de creager.....	32
2.14.4. Método de las huellas máximas	32
2.14.5. Fórmula racional.....	34
2.14.6. Método racional modificado	34
2.14.7. Intensidad máxima de lluvia (i)	35
2.14.8. Tiempo de concentración	35
2.15. PRESA DERIVADORA DE MAMPOSTERÍA	36
2.15.1. Definición.....	36
2.15.2. Proceso de construcción	37
3. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. ASPECTOS GENERALES.....	38
3.1.1. Propósito de la obra	38
3.1.2. Localización	38
3.1.3. Macro localización.....	39
3.1.4. Vías de comunicación	40
3.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES.....	40
3.2.1. Climatología.....	40
3.2.2. Vegetación.....	41
3.2.3. Geología.....	41
3.3. MECÁNICA DE SUELOS.....	41
3.3.1. Objetivos y alcances	41
3.3.2. Trabajos de campo	42
3.3.3. Trabajos de laboratorio	42

3.3.4. Estratigrafía	43
3.3.5. Recomendaciones	43
3.4. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	44
3.4.1. Área de la cuenca hidrológica	46
3.4.2. Avenida máxima	48
3.4.3. Coeficiente de escurrimiento	49
3.4.4. Cálculo del escurrimiento medio anual	50
3.4.5. Cálculo del volumen anual escurrido	51
3.4.6. Cálculo del volumen aprovechable medio anual	51
3.4.7. Cálculo de la avenida máxima por el método de Dickens	52
3.4.8. Cálculo de la avenida Máxima en cuencas no aforadas	53
3.5. DISEÑO DE LA OBRA	55
3.5.1. Característica de la obra	55
3.5.2. Perfil de la boquilla	56
3.5.3. Obra de excedencia	57
3.5.4. Obra de toma	57
3.5.5. Estimación de la estabilidad del muro de la presa	58
3.5.6. Calculo de la fuerza resultante	60
3.5.7. Revisión por volteo	61
3.5.8. Procedimientos para la construcción de la presa de mampostería	62
3.5.9. Características de la presa de mampostería	62
3.5.10. Norma de riego	63
3.5.11. Posible área a irrigar	63
3.5.12. Cálculo del volumen de construcción de la presa	64
3.5.13. Análisis del presupuesto	65
4. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN	67
5. LITERATURA CITADA	68
6. ANEXOS	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DE ZONAS SECAS SEGÚN MELGS (1953).....	10
CUADRO 2. FACTORES QUE AFECTAN EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.	14
CUADRO 3. PRECIPITACIÓN, PERÍODO DE RETORNO Y PROBABILIDAD DE 25 AÑOS DE GENERAL CEPEDA, COAHUILA.	44
CUADRO 4. CONCENTRADO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO DE ACUERDO AL SIATL.....	46
CUADRO 5. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTOS.	49
CUADRO 6. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTOS DE LA CUENCA EN ESTUDIO.	50
CUADRO 7. VALORES DE C PARA OBTENER LA AVENIDA MÁXIMA.....	52
CUADRO 8. CÁLCULO DE AVENIDAS MÁXIMAS POR MÉTODOS EMPÍRICOS.	54
CUADRO 9. RELACIÓN DE AGREGADOS PARA UN m^3 DE CONSTRUCCIÓN.	65
CUADRO 10. COMPONENTE DE MEZCLAS PARA LA CONSTRUCCIÓN TOTAL DE LA OBRA.	65
CUADRO 11. FUENTE DE FINANCIAMIENTO DE LA PRESA DE MAMPOSTERÍA.....	65
CUADRO 12. COSTOS Y FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO.....	7
FIGURA 2. TOMA DIRECTA.	15
FIGURA 3. BARAJE SIMPLE.	16
FIGURA 4. CAJA EN MANANTIAL.	17
FIGURA 5. GALERÍA FILTRANTE.....	17
FIGURA 6. DIQUE SUBTERRÁNEO.....	18
FIGURA 7. EQUIPO DE BOMBEO EN TOMA DIRECTA SOBRE RIO O CANAL.	19
FIGURA 8. ELEMENTOS DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	33
FIGURA 9. MACRO LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE GENERAL CEPEDA.....	39
FIGURA 10. CARTAS DE CLIMAS, ESCALA 1:50,000.	40
FIGURA 11. CURVA DE PROBABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS (MM).....	45
FIGURA 12. INDICADORES DEL CAUCE PRINCIPAL OBTENIDO CON EL SOFTWARE SIATL.	46
FIGURA 13. CUENCA HIDROLÓGICA DEL EJIDO SAN JUAN DEL COHETERO.....	47
FIGURA 14. GRAFICA PARA OBTENER LA AVENIDA MÁXIMA.....	48
FIGURA 15. CORTE TRANSVERSAL POR EL EJE DE LA BOQUILLA DE LA PRESA.	56
FIGURA 16. ESTABILIDAD DE LA PRESA.....	61
FIGURA 17. VOLÚMENES DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA.	64

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de Km^3 , de los cuales el 97.5% es agua salada y sólo el 2.5%, es decir 35 millones de Km^3 , es agua dulce. De esta cantidad casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo.

Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o encarece su utilización efectiva.

En México existe una gran variedad de climas. La ubicación geográfica y el relieve inciden directamente sobre la disponibilidad del recurso hídrico. Dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente la de tipo torrencial.

Una de las características de todo desierto es la ausencia de las precipitaciones fluviales, por lo que sus recursos hidrológicos son bastantes escasos, ya que tienen una precipitación fluvial de 350 mm anuales. En temporadas normales se observa un período lluvioso en los meses de junio a septiembre, durante los cuales ocurre el 75% de la lluvia media anual con valores máximos en los meses de agosto y septiembre; los meses de transición entre el período húmedo y seco son mayo y octubre; la estación seca corresponde al período de noviembre a abril, presentándose los valores mínimos en febrero y marzo, de ahí la importancia del buen manejo de nuestro recurso natural.

Se define como obras hidráulicas de derivación, aquellas que se construyen con el objeto de aprovechar las aguas superficiales en forma controlada y sin alterar el régimen de la fuente de abastecimiento, disponiéndola de tal manera que se puedan conducir hasta el sitio de utilización ya sea por gravedad o bombeo.

Las presas derivadoras tienen como principal función la irrigación; la mayoría de las construidas en México cumplen tal objetivo, sin embargo algunas otras cumplen funciones de abastecimiento de agua, generación de energía a pequeña escala y control de avenidas en casos muy especiales.

Con base en lo antes mencionado y tratando de presentar una alternativa de solución, se hace necesario aplicar nuevas tecnologías para construir presas de mampostería en todos aquellos cauces que presenten escurrimientos superficiales provocados por las lluvias y que sean factibles de derivarlas del cauce hacia las tierras de cultivo y así aprovechar el escurrimiento de esta agua que se pierde en el cauce del arroyo, si no se construyen estas obras antes mencionadas.

1.1. Situación actual del agua en el estado Coahuila

En Coahuila se cuenta con cuatro regiones hidrológicas cuyos nombres son: Bravos-Conchos, Mapimí, Nazas-Aguanaval y el Salado. Predominan climas secos y muy secos, los escurrimientos superficiales, muy limitados en su mayor parte, son intermitentes. Por la consecuente condición de escasas lluvias los acuíferos se recargan muy lentamente, lo que restringe el uso potencial de la agricultura, la ganadería y el doméstico; sin embargo se cuenta con abundantes afloramientos de calizas potencialmente formadoras de acuíferos.

Las condiciones de la precipitación en el estado de Coahuila son definitivas en las condiciones hidrológicas del mismo. El promedio de precipitación anual estatal varía entre 200 y 600 mm, lo que nos da una idea de su bajo potencial; las partes más secas se ubican hacia el suroeste, en las zonas de Cuatrociénegas, Valle El Hundido, Las Palomas, Laguna de Viesca y Laguna de Mayrán; mientras que los lugares donde más llueve se localizan en la Sierra Santa Rosa, al norte de Monclova, y en la parte sureste del estado, en la zona de Saltillo (INEGI, 1986). En los meses de junio a septiembre es cuando ocurre la mayor cantidad de precipitación pluvial.

El acelerado crecimiento de nuestro estado desde los años setenta y las prolongadas sequías que se han registrado, ha ocasionado que la agricultura y ganadería, principales actividades económicas de nuestra entidad, se vean afectadas por la irregularidad de las temporadas de lluvia. Por ello se debe crear y fomentar una nueva cultura del agua en la ciudadanía con el fin de asegurar la existencia del vital líquido para todos.

La población debe desarrollar conciencia acerca de los problemas que implica el suministro y modificar sus hábitos de consumo. De igual manera los sectores productivos deben tomar conciencia y evitar el gasto de grandes volúmenes y desperdicios en la industria y el campo.

Palabras clave: Presa, derivación, muros guía, vertedor, precipitación, escurrimiento, perfil.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La escasa precipitación y su errática distribución es un problema generalizado de las áreas de temporal de México, acentuándose más en las zonas áridas y semiáridas; esta situación provoca la existencia de deficiencias de humedad en el suelo, que repercuten en los sistemas de producción agrícola. Se ha observado que una forma de atenuar este problema, es mediante la captación de agua de lluvia in situ y el aprovechamiento de los escurrimientos superficiales.

A pesar de los valores tan bajos de precipitación que se tienen en ciertas zonas del mundo, el ser humano ha buscado las estrategias que mejor se adapten a sus posibilidades para llegar a producir los alimentos que satisfagan sus requerimientos mínimos. Así tenemos por ejemplo que en las zonas áridas y semiáridas con niveles de precipitación de hasta 100 mm anuales, la producción de cosechas ha dado buenos resultados (Evenari et al. en 1971).

Una alternativa es utilizar una hidrocuenca bien definida que sea capaz de aportar cierto volumen de agua, el cual puede ser dispersado o derivado a un área de siembra esto es agricultura de escorrentía (Figuroa, 1990; Matlock y Dutt, 1986). Otra descripción general hecha por el servicio general de suelos (descrita por Hart et al., en 1980) es la siguiente: “es una forma especializada de irrigación superficial acompañada de la derivación del escurrimiento de cauces naturales o arroyos y la dispersión del flujo sobre áreas relativamente niveladas”. La derivación y dispersión es controlada por un sistema de represas, estructuras, zanjas o diques o una combinación de estos y dispuesto a un volumen calculado de flujo.

De acuerdo con Matlock y Dutt (1986) existen dos formas básicas en la utilización del agua en una hidrocuenca bien definida son:

- a) agua de corriente efímeras que es dispersada en la parte plana adyacente al canal de drenaje y donde el agua es manejada con sistema de bordos y diques.
- b) En donde el agua es derivada de una corriente efímera y conducida a un área cercana adyacente en el cual se va a cultivar. Bordos, terrazas y algunas estructuras servirán para controlar y distribuir la avenida.

Los cultivos comunes en México son maíz, frijol, calabaza (Charcas, 1985) y sorgo escobero y de grano como en la comarca lagunera. Hart et al., (1980) menciona que los pastizales y forrajes son los que se adaptan mejor a este sistema y que ocasionalmente se pueden utilizar leguminosas como alfalfa y algunas plantas silvestres, o plantas anuales como trigo.

La región sureste del estado de Coahuila geográficamente se sitúa en la zona semiárida del país, donde las características del clima no favorecen el desarrollo de la agricultura, fundamentalmente por lo escaso y errático de las lluvias, pues el índice de precipitación oscila alrededor de los 350 mm anuales.

A fin de realizar una agricultura sustentable y bien planeada, los productores de San Juan de Cohetero, municipio de General Cepeda, Coahuila, tienen la intención de construir y rehabilitar toda la infraestructura hidráulica que sea necesaria para aprovechar al máximo los escurrimientos provocados por las lluvias que se presenten en esa región. Los ejidatarios son conscientes de la magnitud de trabajo e inversión requerida para lo anterior, por lo que están convencidos de construir una presa derivadora de mampostería en el arroyo San Miguel donde existe escurrimiento superficial provocado por las lluvias.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Es lograr, que a través de la construcción de presas, se aprovechen los escurrimientos superficiales provocados por las lluvias y se puedan revertir los fracasos de los productores de las zonas áridas y semiáridas, donde se tiene una agricultura de subsistencia y se pretende transformarla a una agricultura de riego, además, asegurar la cosecha de maíz y sorgo escobero, abriendo la posibilidad de producir forraje para su ganado.

1.3.1. Objetivos específicos

- a) Lograr incrementos en la producción de cultivos básicos y/o forrajes de temporal, mediante la construcción de obras para el aprovechamiento de escurrimientos del flujo superficial.
- b) Llevar a cabo la construcción de obras que contribuyan a disminuir los procesos de degradación del recurso suelo.
- c) Fomentar en los productores la cultura de la conservación de los recursos naturales y sensibilizar sobre los beneficios que aporta el realizar acciones para la cosecha del agua.
- d) Derivar escurrimientos superficiales provocados por las lluvias hacia las áreas de temporal.

1.4. HIPÓTESIS

La captación y derivación de agua por medio de obras hidráulicas en el ejido san juan de cohetero incrementa la producción agrícola y pecuaria del ejido.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL

Los elementos que forman un aprovechamiento hidráulico son en general siete, los que se agrupan y relacionan en la Fig. 1 que se presentan a continuación para su mejor comprensión.

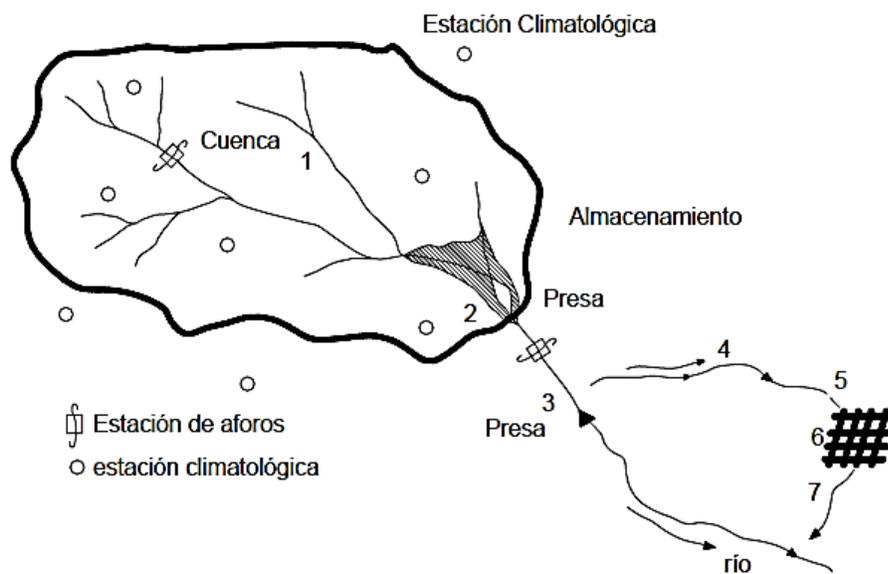


Figura 1. Aprovechamiento hidráulico.

1. Área de captación o cuenca hidrográfica de un río, definida a partir del sitio de almacenamiento.
2. Almacenamiento, formado por una presa, en un sitio previamente escogido, que es donde se cambia el régimen natural del escurrimiento al régimen artificial de la demanda, de acuerdo con el fin o los fines a que se destine. Aquí es conveniente recordar que una presa consta, en lo general, de las partes siguientes: vaso, cortina, obra de desvió, obra de toma y obras de excedencias.

3. Derivación, en donde, por medio de una presa, se deriva el escurrimiento del río hacia el sistema de conducción, el que, por conveniencia, a menudo se localiza a niveles superiores a los del lecho del río.
4. Sistema de conducción que puede estar formado por conductos abiertos o cerrados y sus estructuras; a través del cual se conduce el agua desde el punto de derivación hasta la zona de aprovechamiento.
5. Sistema de distribución, el cual se constituye de acuerdo con el fin específico de aprovechamiento. Por ejemplo: canales para riego por gravedad, tuberías a presión para plantas hidroeléctricas, tomas domiciliarias en el caso de abastecimiento, procedimientos directos de riego, etc.
6. Utilización directa del agua, la cual se efectúa también mediante elementos específicos según el fin de que se trate. Por ejemplo, turbinas en el caso de plantas hidroeléctricas, toma domiciliaria en el caso de abastecimiento, procedimientos directos de riego, etc.
7. Eliminación de volúmenes sobrantes, la cual se efectúa por medio de un conjunto de estructuras especialmente construidas al efecto: sistema de alcantarillado en el caso de abastecimiento; drenes, en el caso de sistema de riego; estructura de desfogue, en el caso de plantas hidroeléctricas, etc. En la Fig. 1 se indica que los retornos o sobrantes del agua utilizada se regresan al cauce en la misma cuenca, condición que, desde el punto de vista del derecho humano, se debe procurar que se respete cuando las condiciones sanitarias o ecológicas lo permitan.

2.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación se deriva del vapor de agua atmosférico y su forma y cantidad dependen de factores climáticos tales como temperatura, viento, y presión atmosférica. La humedad atmosférica es pues condición necesaria pero no suficiente para la ocurrencia de la precipitación. Previamente la precipitación de la humedad presente, la masa de aire que la contiene se ve sujeta a un ciclo de cambios, para el que las siguientes condiciones son necesarias:

- a) Un suministro amplio de humedad, generalmente en la forma de vapor de agua, debe existir.
- b) El aire conteniendo la humedad debe ser enfriado a temperaturas inferiores a su punto de condensación.
- c) El vapor de agua atmosférico debe agregarse, o condensarse para formar partículas líquidas o sólidas.
- d) Las partículas formadas deben aumentar su tamaño hasta que, por razón del mismo, caen y alcanzan el terreno.

2.2.1. Tipos de precipitación

Precipitación ciclónica: resulta del levantamiento del aire, que converge en una área de baja presión o ciclón. La precipitación ciclónica puede subdividirse como frontal o no frontal. La precipitación frontal resulta del levantamiento del aire cálido a un lado de una superficie frontal sobre aire frío más denso y frío. La precipitación no frontal, es la precipitación que no tiene relación con los frentes cálidos y los frentes fríos.

Precipitación convectiva: es causada por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias en temperatura pueden ser el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie, de enfriamientos diferenciales en la parte superior de la capa de aire o de ascensos mecánicos cuando el aire forzado a pasar sobre una masa de aire más fría y más densa, o sobre una barrera montañosa. La precipitación convectiva es puntual, y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.

Precipitación orográfica: resulta del ascenso mecánico sobre una cadena de montañas. La influencia orográfica es tan marcada en terreno quebrado que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a aquellos de la precipitación media anual.

2.3. PRECIPITACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

La zona árida se caracteriza por tener una precipitación anual menor a los 400 mm. Y una época de secas de 8 a 12 meses, y la semiárida por tener una precipitación anual entre 400 a 700 mm. Con 6 a 8 meses seca.

Cuadro 1. Clasificación de zonas secas según Melgs (1953).

Zona climática	Índice de humedad	Precipitación P (mm).	Apta para cultivos
Subhúmeda	$-20 < I < 0$	> 500 mm	Si
Semiárida	$-40 < I < -20$	200 – 500 mm	Si, para algunos pastos naturales.
Árida	$-56 < I < -40$	25 – 200 mm	No
Hiperárida	$I > -56$	< 25 mm	No

2.4. ESCURRIMIENTOS

La precipitación excesiva es aquella parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial. Las abstracciones son la parte de la precipitación que no resulta en escurrimiento superficial, como intercepción, evaporación, transpiración, almacenamiento en depresiones e infiltración. El término escurrimiento denota aquella parte de la precipitación y otras contribuciones al flujo de corrientes, que alcanzan la red de drenaje superficial de la cuenca. El escurrimiento es el flujo producido en una cuenca que aparece en el punto de drenaje de la misma.

2.4.1. Clases de escurrimiento

De acuerdo con la fuente de la cual el escurrimiento proviene, éste puede consistir de escurrimientos superficial directo, escurrimiento sub-superficial o interflujo, y escurrimiento derivado de mantos subterráneos, o flujo base.

Escorrentamiento superficial directo

Se mueve sobre la superficie del terreno en la red de drenaje superficial hasta alcanzar el punto de drenaje de la cuenca, y por tanto, no incluye aportaciones derivadas de la descarga natural de aguas subterráneas.

Escorrentamiento sub-superficial

Es debido a aquella parte de la precipitación que se infiltra y se mueve luego lateralmente a través de los horizontes superiores hacia la red de drenaje, en la forma de un manto freático efímero y superficial de carácter suspendido por arriba del nivel principal del manto freático.

Escorrentamiento derivado de aguas subterráneas

Es la parte del escorrentamiento total debida a la percolación profunda del agua infiltrada, que después de convertirse en agua subterránea, es descargado en la red de drenaje.

2.4.2. El proceso del escorrentamiento

El fenómeno del escorrentamiento puede ser visualizado como un ciclo dependiente de la naturaleza de la fuente de agua. Hoyt (1949) ha descrito dicho ciclo considerándolo como constituido por cinco fases:

- a) La primera fase se relaciona con periodos carentes de precipitación que ocurren antes del principio de ésta, y después de periodos prolongados. Durante esta fase, la elevación de los mantos freáticos decrece gradualmente en forma continua. En zonas áridas, donde puede ocurrir que no exista un manto freático principal o suspendido que contribuya al flujo base, pueden existir solo corriente efímeras (carentes de flujo base).

- b) La segunda fase se relaciona con el periodo inicial de la precipitación. Al empezar la lluvia, ésta es dividida en precipitación sobre los cauces de drenaje, intercepción por la vegetación, infiltración, y almacenamiento en depresiones. En el agua infiltrada resulta en una elevación gradual del contenido de agua en la zona de aireación. Durante esta fase el flujo superficial es mínima excepto sobre superficies impermeables, y la evaporación y transpiración son también pequeñas.

La descarga natural de los acuíferos a los cauces de drenaje puede o no cambiar, dependiendo de si la primera fase continuó hasta la terminación del flujo de corrientes perennes.

- c) En la tercera fase continúa la precipitación. La capacidad de intercepción de la vegetación y de retención en depresiones superficiales es satisfecha, y la lluvia excesiva se convierte en fuente de escurrimiento y detención superficial. El flujo laminar sobre la superficie ocurre cuando la intensidad de la precipitación excede la capacidad de infiltración, pero el mismo puede o no alcanzar los cauces de drenaje, dependiendo de las capacidades de retención y detención de la superficie sobre la que se desplaza.

El agua infiltrada puede saturar la parte superior de la zona de aireación, cuya humedad ha sido abatida en las fases anteriores, y percolarse hacia los mantos freáticos. Si la lluvia continúa, los mantos freáticos se elevan y su contribución al flujo base de las corrientes también aumenta. Al saturarse la zona de aireación, el escurrimiento sub-superficial puede también contribuir al flujo en la red de drenaje.

Si la elevación de la superficie del agua en los cauces de drenaje aumenta rápidamente y llega a encontrarse por arriba de los mantos freáticos, cuya elevación es relativamente lenta, los cauces se transforman de efluentes e influentes, contribuyendo a la elevación del manto freático y desarrollándose almacenamiento en los bancos de los cauces. Durante esta fase la evaporación y la transpiración son mínimas.

- d) La cuarta fase está relacionada con la continuación de la precipitación hasta que toda la capacidad de almacenamiento natural ha sido satisfecha. La capacidad de infiltración se aproxima a la tasa de transmisión de agua a través de la zona de aireación. El interflujo descarga en la red de drenaje casi tan prontamente como el escurrimiento superficial, dependiendo de la porosidad del material a través del cual dicho flujo sub-superficial es transmitido.
- e) La quinta fase corresponde al periodo entre la terminación de la lluvia y el tiempo en que la primera fase del ciclo es alcanzada nuevamente. Esto usualmente involucra un tiempo relativamente largo durante el cual el almacenamiento en los cauces de drenaje y la detención superficial son disipados. La evaporación y la transpiración son de importancia, y la infiltración continúa.

1Cuadro 2. Factores que afectan el escurrimiento superficial.

Factor	Variable	Características
Climáticos	Precipitación	Forma, tipo, intensidad, duración, distribución espacial y temporal: frecuencia, dirección de movimiento, precipitación antecedente, y humedad del suelo.
	Evaporación	Temperatura, viento, presión atmosférica, tipo de superficie evaporativa.
	Transpiración	Temperatura, radiación solar, viento, humedad relativa, humedad del suelo, clase de vegetación.
Fisiográficos	Características de la cuenca	Tamaño, forma, pendiente, orientación, elevación, densidad de drenaje, uso de la tierra y tipo de cobertura, capacidad de infiltración, condiciones geohidrológicas y topográficas.
	Características de la red de drenaje	Capacidad de conducción, tamaño, forma de área seccional, pendiente, rugosidad, longitud, tributarios.

2.5. OBRAS DE DERIVACIÓN

Se define como obras hidráulicas de derivación, aquellas que se construyen con el objeto de aprovechar las aguas superficiales en forma controlada y sin alterar el régimen de la fuente de abastecimiento, disponiéndolas de tal manera que se pueden conducir hasta el sitio de utilización ya sea por gravedad o bombeo. De acuerdo con lo anterior y considerando las características, tanto de la fuente de aprovechamiento como de la obra, básicamente se tienen los siguientes tipos de obras de derivación:

1. Tomas directas
2. Barajes simples
3. Cajas de manantiales
4. Galerías filtrantes
5. Diques subterráneos

- 6. Plantas de bombeo
- 7. Presas de derivación

2.5.1. Tomas directas

La Toma Directa representa una de las soluciones más simplistas para efectuar una derivación y se adopta cuando la fuente de aprovechamiento puede proporcionar un caudal mucho mayor que el gasto deseado. En estos casos no es necesario elevar el nivel del agua de la fuente para encauzarla hacia el sitio deseado, ya que se busca contar en forma natural, con un tirante adecuado y condiciones topográficas favorables que posibiliten un funcionamiento hidráulico correcto. El tirante necesario puede tenerse en alguna poza que haga las veces de una presa derivadora natural localizada en un lugar firme. Esencialmente consta de un canal abierto que comunica a la fuente directa con el conducto que llevará el agua a su destino, y de una estructura en la que se instalen rejillas y compuertas para el control del paso del agua.

Especialmente se construyen en lagos y ríos. Este tipo de obra no cuenta con ningún dispositivo para evitar el azolvamiento de la estructura y lo que se procura, es captar las aguas a un nivel lo más alto que sea posible del fondo del cauce.

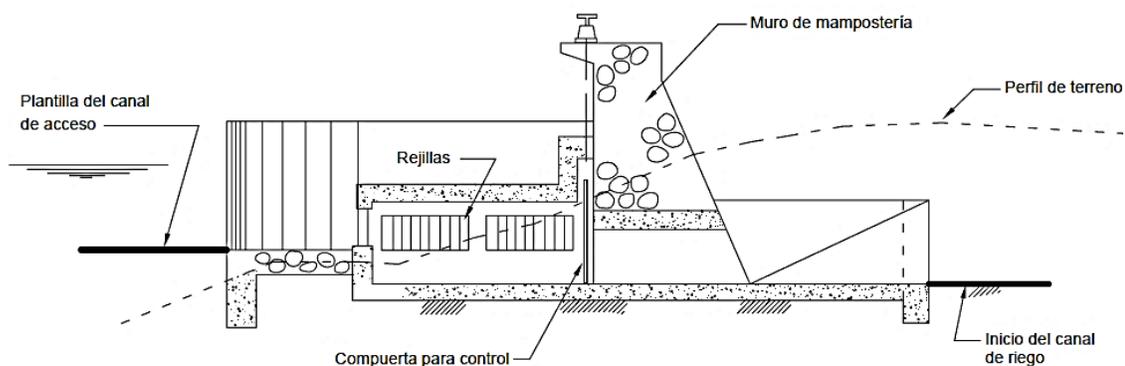


Figura 2. Toma directa.

2.5.2. Barajes simples

Los barajes simples son quizá la forma rudimentaria de las obras de derivadoras utilizados en ríos y arroyos. La idea que se persigue con ellos, es constituir una pantalla que obstaculice el paso de la corriente, obligándola a formar un tirante mayor al normal, para desviar parte del agua y encauzarla a un canal localizado en uno de los márgenes del río. Los barajes se construyen transversalmente a la corriente y se forman con tablaestacados, ramas de árboles y diques de arcilla o con material de acarreo del mismo río.

Generalmente se emplean en aprovechamientos provisionales y de poca magnitud ya que se tiene la necesidad de un constante acondicionamiento, porque son fácilmente deteriorados por la corriente, especialmente en época de crecientes, por lo que se aconseja su construcción después de la temporada de lluvias. Este tipo de obra ya permite un desarenamiento natural y la construcción del canal de riego a un nivel, que logrando con la toma directa.

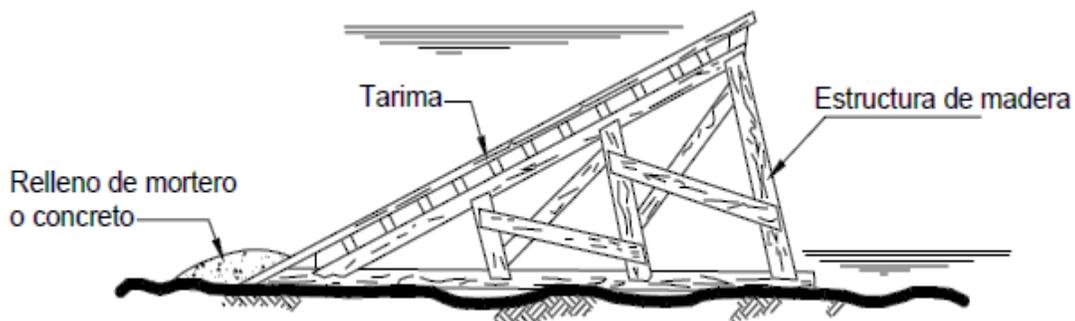


Figura 3. Baraje simple.

2.5.3. Cajas de manantiales

Para captar el agua de los manantiales se construyen diques y cajas de concreto o de mampostería dispuestos en forma tal, que se logre reunir en un sitio convenientemente elegido, la aportación de cada veneno para facilitar y controlar la derivación.

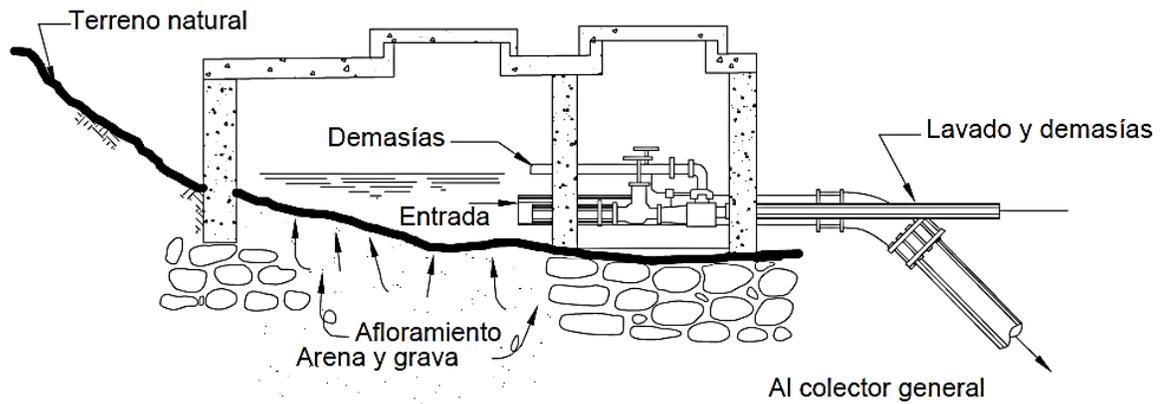


Figura 4. Caja en manantial.

2.5.4. Galerías filtrantes

La Galería filtrante se emplea para captar el agua subálvea de los ríos y en algunos casos se combina con la construcción de las presas derivadoras o de la toma directa para mejorar el aprovechamiento de la corriente.

Consisten fundamentalmente en uno o en varios conductos perforados y sin juntar, dispuestos en forma conveniente a un nivel inferior del fondo natural del cauce, a fin de recolectar y conducir las filtraciones a un depósito también subterráneo del cual se extrae el gasto recolectado.

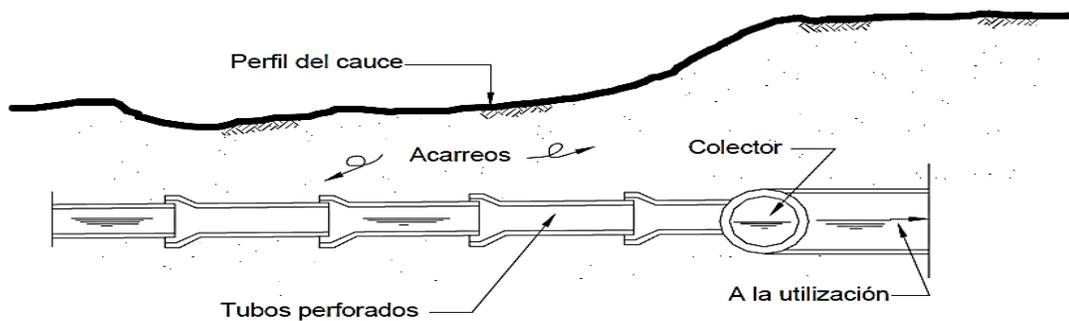


Figura 5. Galería filtrante.

2.5.5. Diques subterráneos

Los Diques Subterráneos son pantallas que se interponen bajo del fondo del cauce de los ríos, para cortar las filtraciones del agua entre los acarrees y propiciar el afloramiento de las corrientes subálveas una vez que estas hayan sido convenientemente definidas. Se forman de diferentes materiales, como concretos, arcilla compactada, lechadas de cemento y bentonita, etc. En algunos casos el dentellón de un dique vertedor se prolonga lo suficiente para hacer las funciones de pantalla subterránea.

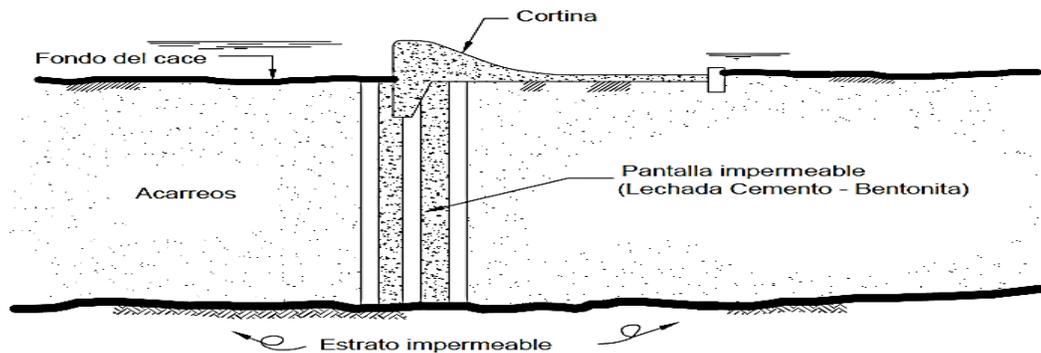


Figura 6. Dique subterráneo.

2.5.6. Plantas de bombeo

Cuando se ha definido la necesidad de bombear el agua para llevarla hasta un sitio convenientemente elegido, las estructuras ya mencionadas se complementan con una planta de bombeo, formando así lo que se puede llamar un sistema de derivación con bombeo.

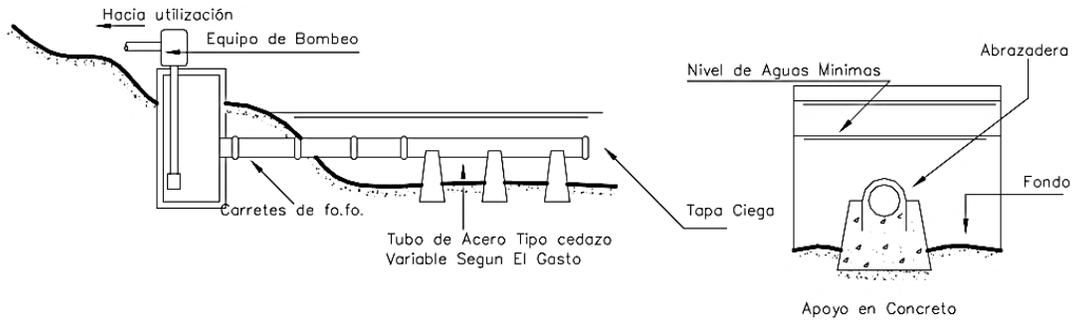


Figura 7. Equipo de bombeo en toma directa sobre río o canal.

2.6. PRESAS DE DERIVACIÓN

2.6.1. Definición

Una presa derivadora es una obra de captación de aguas corrientes superficiales y consiste en una construcción permanente en forma de dique vertedor que es interpuesto a todo lo ancho del cauce de un río o arroyo, con objeto de remansar sus aguas y poderlas extraer por gravedad por alguna de las márgenes o por ambas. Las principales estructuras que constituyen una presa derivadora son la presa o dique vertedor, la obra de toma o bocatoma y el canal desarenador.

2.6.2. Tipos de presas derivadoras

En cuanto a la clasificación de las cortinas se toman varios puntos en consideración, siendo estos:

1. Por su eje en planta
2. Materiales constitutivos
3. Por el control en su cresta

Por su eje en planta: rectas o curvas

La línea del eje generalmente es recta, y normal a la corriente, pero en ocasiones es debido a la topografía o geología del cauce se adaptan ejes curvos y mixtos con el fin de disminuir las excavaciones y volúmenes de material en el cuerpo de la cortina o bien por cimentarla en los estratos geológicos más favorables del sitio.

Por el tipo de materiales: flexibles, rígidos o mixtos

Las cortinas flexibles se forman con materiales naturales colocados en forma adecuada, para aprovechar eficazmente las características físicas particulares de cada elemento, permitiendo que estas cortinas se adapten a las deformaciones naturales plásticas de esos elementos. El tipo de cortina flexible más empleada en derivadoras, es el llamado cortina “tipo indio” son: constituido fundamentalmente de una pantalla impermeable y enrocamientos.

Las cortinas rígidas se construyen con materiales pétreos unidos con algún compuesto cementante, mediante el cual, se produce casi una masa homogénea. Las cortinas rígidas más empleadas, son hechas de mampostería con morteros de cemento, concreto ciclópeo, concreto simple y ocasionalmente de mampostería con morteros de cal y cantos.

Por el control en su cresta

Diques de cresta fija: es aquel en el cual de la cresta vertedora es constante, es decir, que la curva de remanso para cada caudal tendrá una altura determinada, estos son generalmente de poca altura, construidos como una obstrucción completa transversal al río, provocando que toda la corriente pase sobre él.

En la elección del perfil transversal de los diques vertedores de cresta fija deben tomarse en cuenta los principios siguientes:

1. Deben resistir las fuerzas estáticas y dinámicas sobre él.
2. Se deben proteger contra filtraciones y en caso de que estas se produzcan deben ser de poca magnitud, con velocidades inferiores a las de arrastre de los materiales que forman la base de dique vertedor.
3. Conviene darle una forma tal, que el coeficiente de gasto sea máximo con el fin de que el gasto por unidad de longitud sea mayor, con lo que se puede disminuir la longitud de la cresta.
4. Se deben proteger las partes de aguas del dique de tal forma y extensión que no se produzca socavación.

Diques de cresta móvil: son aquellos en los que se emplean mecanismos, (compuertas deslizantes o radiales) se usan cuando:

1. Se tengan grandes caudales de escurrimiento en avenida y no se disponga de un ancho suficiente en el río para colocar un dique de cresta fija.
2. Se requiere a la máxima elevación la cresta vertedora, siendo posible además dar paso al gasto total de escurrimiento en la época de avenidas.
3. La corriente arrastre mucho azolve siendo insuficientes los desarenadores para mantener limpio el canal de entrada y se tenga que dar paso a la avenida completa como para que arrastre todos los sedimentos depositados.

2.7. LOCALIZACIÓN

La localización de una presa derivadora está definida primordialmente por la topografía del cauce, así como de la conducción, que definen a su vez las alternativas económicas de las obras.

Se debe elegir un tramo de río lo más recto posible y el ancho del cauce deberá ser lo bastante amplio para tener una longitud vertedora apropiada para hacer frente a las avenidas que se presenten, la roca o material de la cimentación deberá adecuada para apoyar las diferentes estructuras.

La alternativa más económica es un factor decisivo para su localización; esta puede comprender un sitio lejano al centro de consumo del agua, presentando una longitud de conducción larga y un dique de poca altura, o la localización de un sitio cercano con una conducción corta y un dique de mayor altura.

2.8. PARTES DE UNA PRESA DERIVADORA

Las partes de una presa derivadora se dividen en:

1. Cortina o Dique Derivador
2. Bocatoma
3. Desarenador

2.8.1. Cortina o dique derivador

La presa o dique es una estructura que se coloca atravesada en el lecho de un río, como obstáculo al flujo del mismo y la función fundamental es represar el agua hasta una elevación suficiente que permita derivar el agua por la bocatoma y se diseña para que la corriente vierte sobre ella, ya sea parcialmente o totalmente en su longitud. Para desplantar una presa derivadora, cualquier tipo de material de cimentación es adecuado. Por lo general pocos sitios para presas derivadoras permiten construirlas sobre una cimentación rocosa. La mayoría de las presas derivadoras son cimentadas sobre el material de aluvión del río, el cual es permeable o semipermeable.

2.8.2. Bocatoma

Con la estructura de toma se busca extraer agua del embalse de una presa de derivación cuya capacidad de almacenamiento no existe o no es importante para efectos de regulación. Por consiguiente, estas obras de toma son estructuras de superficie, que generalmente se localizan en uno o en ambos extremos de la presa y cuyas elevaciones se escogen de manera que dominen por gravedad la zona de aprovechamiento, y que, además sus diferentes partes no sean dañadas por el agua en caso de avenidas.

Por otra parte, en vista de que el agua que escurre por el lecho del río lleva consigo grandes cantidades de gravas y arenas, como arrastre de fondo, se debe considerar la construcción de algún dispositivo desarenador con el fin de eliminar tales arrastres, antes de que el agua pase por la toma y, posteriormente al sistema de conducción y zona de aprovechamiento.

Teniendo en cuenta que el agua que escurre con frecuencia lleva consigo sólidos flotantes que pueden provocar molestias y conflictos en la operación del sistema de conducción, es conveniente prever, en tales casos, la instalación de rejillas.

2.8.3 Canal desarenador

La toma se hará a partir de un canal desarenador con un trazo perpendicular al eje de este, el que quedará alojado hacia las márgenes en la que se efectuó la derivación. Su eje será paralelo al cauce del río o arroyo y normal al eje de la presa. Tendrá pendiente longitudinal y sección adecuada; construido de materiales rígidos, con plantilla horizontal en cualquier sección transversal y muros verticales, con ancho de plantilla constante en toda su longitud.

2.9. OBRAS DE EXCEDENCIA

2.9.1. Definición

Las obras de excedencia o vertedores de demasías se construyen con objeto de dar paso a los volúmenes de agua que no pueden retenerse en el vaso de una presa de almacenamiento. En el caso de presas derivadoras, por el vertedor, pasan las aguas excedentes que no serán aprovechadas. Mientras que en una presa de almacenamiento se trata de evitar desfuegos y por lo tanto el uso del (os) vertedor (es). En el caso de las presas derivadoras, el funcionamiento de la obra de excedencias será más frecuente y, en algunos casos, permanente.

El flujo que tiene lugar sobre una estructura hidráulica bajo condiciones de superficie libre se analiza por la fórmula de los vertedores o vertederos. En general, se consideran como vertederos todas las barreras del fondo del canal que hacen que se acelere el flujo a fin de que pueda pasar. En cualquier caso el borde inferior de la abertura sobre la que fluye el agua se llama *cresta* o **solera**, y su altura sobre el fondo del depósito o canal se conoce como altura de la solera.

Los vertederos en los que el nivel aguas abajo están por debajo del nivel de la cresta o solera, permiten que el agua pase con caída libre. En la práctica del riego y en los desagües de embalses, los vertederos se consideran de pared gruesa cuando el espesor e de la cresta o solera $e > H1 / 2$.

Entonces el flujo sobre vertederos de pared ancha o gruesa se ve afectada significativamente por la resistencia viscosa de la cresta, que hace un efecto por el cual el coeficiente de descarga disminuye, ya que el mismo depende de la forma de la cresta y del nivel de energía aguas arriba.

2.9.2. Fórmulas de los vertederos

La fórmula corriente de los vertederos es:

$$Q = C x L x \sqrt{2g} x H^{\frac{3}{2}}$$

Donde L es el ancho de la cresta o solera y c es un coeficiente que varía entre 0.35 y 0.6 para la mayor parte de los vertederos.

Por ejemplo, para los vertederos de pared gruesa se acepta generalmente $c = 0.35$ la descarga a través de los vertederos se puede expresar por:

$$Q = 1.55 x L x H^{\frac{3}{2}}$$

Para vertederos en hormigón más elaborados, $c = 0.4$, por lo tanto:

$$Q = 1.77 x L x H^{\frac{3}{2}}$$

Por ello que la formula general de los vertederos más sencillos de recordar es:

$$Q = C x L x H^{\frac{3}{2}}$$

Donde $1.55 \leq C \leq 2.20$ para soleras tipo Creager u otras que se fabrican en hormigón armado.

El **vertedero** es la estructura hidráulica de un tajamar o una represa para riego, que tiene como función dejar escapar el agua excedente o de las crecientes que no cabe en el espacio dejado para el almacenamiento.

Generalmente, los volúmenes hídricos en exceso se toman de la parte superior del vaso del embalse y se conducen por un desagüe artificial excavado en tierra hacia la vía de drenaje interceptada con el terraplén. En los embalses agrícolas que en general el agua excedente no puede ni debe pasar por el terraplén que genera el embalse, el vertedero se debería construir mediante la construcción de una platea que debe estar a nivel y las condiciones del terreno natural en el emplazamiento definen la pendiente longitudinal en la salida.

Para el cálculo del tamaño del vertedero utilizar la siguiente fórmula de vertederos de solera ancha:

$$Q = 0.35 \times L \times \sqrt{2g} \times H^{\frac{3}{2}} = 1.55 \times L \times H^{\frac{3}{2}}$$

En realidad la expresión práctica será:

$$L = \frac{Q}{1.55 \times H^{\frac{3}{2}}}$$

Donde Q es el caudal de la crecida de diseño en m^3/seg y H es la carga hidráulica prevista en el desagüe.

2.9.3. Partes esenciales que consta un vertedor

Las partes esenciales de que consta generalmente un vertedor son el canal de acceso, cresta vertedera, canal de descarga y disipador de energía (tanque amortiguador o deflector tipo salto de esquí). El canal de descarga se recomienda se construya recto, pero si la topografía lo hace costoso se realizará en forma de curva. Estos canales deben resistir flujos a altas velocidades, por lo cual siempre deben ir revestidos.

2.10. CLASIFICACIÓN DE LAS OBRAS DE EXCEDENCIAS

Generalmente los vertedores se clasifican de acuerdo con su rasgo más prominente como pueden ser la forma de la cresta, la forma como desfoga la corriente o alguna otra característica. Sin embargo, considerando únicamente la cresta vertedora, a continuación se da la clasificación de vertedores más usual en presas de almacenamiento:

1. Vertedores de cresta de caída recta.
2. Vertedores con cimacio tipo Creager.

Los cuales pueden ser:

- a) Económico o lavadero
- b) Descarga directa
- c) Canal lateral
- d) Abanico

2.10.1. Vertedores de cresta de caída recta

En los vertedores de cresta de caída recta, o casi recta, debe procurarse, en el lado inferior de la lámina de agua, ventilar lo suficiente para evitar vibraciones en el cuerpo de la cortina. También deberá evitarse la socavación en la descarga del vertedor a través de un estanque amortiguador acondicionado, preferentemente, con bloques de impacto.

2.10.2. Vertedores con cimacio tipo Creager

El vertedor con cimacio tipo Creager es el más recomendado en cortinas de mampostería o concreto, donde la longitud del vertedor puede quedar alojado en

el cuerpo de la estructura. Los cimacios tipo Creager se recomiendan su uso, respecto a vertedores de pared gruesa, ya que eliminan la turbulencia por carecer de aristas. Este tipo también es recomendado en cortinas de tierra donde el vertedor puede situarse en uno de los extremos de la boquilla.

2.11. ELECCIÓN DEL TIPO DE OBRA DE EXCEDENCIA

Los factores más importantes para la elección del tipo de obra de excedencias dependerán de las condiciones topográficas y geológicas de la zona donde se alojará la obra de excedencias o vertedor de demasías; y del carácter del régimen de la corriente aprovechada; de la importancia de la obra, de los cultivos o construcciones localizadas aguas abajo; de los materiales; y del presupuesto disponible.

Se evitará que las presas de materiales graduados o tierra sirvan de apoyo para la obra de excedencias, por lo que se buscará una de las laderas de la boquilla o, de preferencia, algún puerto apropiado. Solamente se aceptará que el vertedor esté apoyado en la cortina cuando se trate de presas de concreto y de mampostería.

2.12. AVENIDA DE DISEÑO

La obra de excedencias deberá diseñarse para el gasto máximo de descarga, y a la avenida que se utilice se le llamará “avenida de proyecto”. En la mayor parte de los casos, especialmente para las estructuras que tienen un gran volumen de almacenamiento, la avenida de proyecto es la máxima avenida probable, es decir, la mayor avenida que puede esperarse razonablemente en una corriente y punto determinado que se elija. La avenida de diseño tiene implicaciones técnicas, económicas y sociales; del análisis de la combinación más conveniente definirá su magnitud.

2.12.1. Geometría del vertedor

La descarga sobre la cresta de un cimacio se calcula con la fórmula de Francis en vertedores:

$$Q = CLH^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Dónde:

Q = Gasto de diseño, m^3/s

C = Coeficiente del vertedor, tipo lavadero,
y descarga directa $C=1.45$, cimacio $C= 2.0$.

L = Longitud de la cresta, m.

H = Carga de diseño, m.

Después de haber calculado previamente la avenida de diseño, existen dos variables que influyen para la selección de la longitud de la cresta vertedora.

Si tiene restricción topográfica (no hay vaso suficiente), se propone la carga y se determina la longitud:

$$L = \frac{Q}{C * H^{3/2}} \quad (2)$$

Si tiene restricción hidrológica (no hay agua suficiente), se propone la longitud y se determina la carga:

$$H = \left(\frac{Q}{C*L}\right)^{2/3} \quad (3)$$

2.13. PERÍODO DE RETORNO (T)

Período de retorno es uno de los parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra hidráulica destinada a soportar avenidas, como por ejemplo: el vertedero de una presa, los diques para control de

inundaciones; o una obra que requiera cruzar un río o arroyo con seguridad, como puede ser un puente.

El periodo de retorno se define como el intervalo de recurrencia (T), al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. Este periodo se considera como el inverso de la probabilidad, del m-ésimo evento de los n registros.

El valor del periodo de retorno se determina en función de la posición de la variable aleatoria ($P_{m\acute{a}x}$ o $Q_{m\acute{a}x}$ en su caso) en una tabla de valores, ordenados de mayor a menor, como se muestra en el Cuadro 1. Con base en las siguientes relaciones:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad \text{Y} \quad P = \frac{m}{n+1}$$

Dónde:

T= Período de retorno (años)

N= Número de años de registro.

M= Número de orden.

P= Probabilidad

El período de retorno para el que se debe dimensionar una obra, varía en función de la importancia de la misma (interés económico, socio-económico, estratégico, turístico), de la existencia de otras vías alternativas capaces de remplazarla, y de los daños que implicaría su ruptura: pérdida de vidas humanas, costo y duración de la reconstrucción, costo del no funcionamiento de la obra, etc.

2.14. ESTIMACIÓN DE LA AVENIDA MÁXIMA O ESCURRIMIENTO MÁXIMO

El método que se use dependerá de los siguientes factores:

- 1) Disponibilidad de datos hidrométricos en el sitio de la obra o cerca de ella.
- 2) De las dimensiones del proyecto y la magnitud de los daños que ocasionaría el fracaso de la obra.

Considerando los factores enunciados, para el proyecto de obras de excedencias en pequeñas presas, o embalses definidos por un dique de altura con una capacidad inferior a $100,000 \text{ m}^3$ y altura entre 10 y 15 metros (Dal-Ré, 2003), se presentan los siguientes casos:

2.14.1. Sin construcciones ni cultivos aguas abajo

La capacidad de la obra de excedencias en este caso puede estimarse por simple inspección de las huellas de aguas máximas en el cauce, en puentes, alcantarillas o en sitios donde la observación sea fácil y perfectamente delimitada. Para la determinación de la avenida máxima en este caso, puede usarse el método de sección y pendiente, eligiendo un tramo recto del cauce de 200 m de longitud, aproximadamente, donde puedan obtenerse las secciones hasta las huellas de aguas máximas. Se comparará el caudal así determinado, con el que se obtenga al tomar un 25% del calculado por medio de la fórmula de *Creager*, que se expone más adelante. Este caudal máximo será definitivo si no se dispone de otros elementos de juicio.

2.14.2. Con construcciones y cultivos aguas abajo

Como en el caso anterior, comparar el valor del método de la sección y pendiente, con el obtenido de tomar el 50% del calculado por la fórmula de *Creager*. En caso de poderse obtener los dos valores, el obtenido en el campo representa en forma más fidedigna las condiciones de avenida máxima, salvo en caso de estimaciones muy discutibles, quedando a criterio y responsabilidad del ingeniero la elección final.

2.14.3. Envolventes de Creager

La idea fundamental de este método es relacionar el gasto máximo (Q) con el área de la cuenca (Ac).

La fórmula de *Creager* para la "Envolvente Mundial" de escurrimientos, es la siguiente:

$$Q = C \left[\frac{A}{2.59} \right]^{0.936A^{-0.048}}$$

Dónde:

Q = Gastos de la avenida máxima en m^3/s .

C = la SARH tiene evaluado C para cada una de las 37 regiones hidrológicas del país.

A = Área de la cuenca en Km^2

2.14.4. Método de las huellas máximas

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente, en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforo. Para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida.



Figura 8. Elementos de una sección transversal.

Según la fórmula de *Manning*, la velocidad es:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

Dónde:

R = Radio hidráulico, m.

S_f = Pendiente de la línea de energía específica.

n = Coeficiente de rugosidad de *Manning*.

De la ecuación de continuidad se tiene que:

$$Q = V * A$$

Dónde:

Q = Gastos de la avenida máxima en m^3/s .

A = área hidráulica, m^2 .

V = velocidad, m/s.

Utilizando las ecuaciones (6 y 7), se puede escribir:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

2.14.5. Fórmula racional

Este método asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una cuenca pequeña, ocurre cuando la totalidad de tal cuenca está contribuyendo al escurrimiento, y que el citado porcentaje de escurrimiento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio; lo anterior se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{C_e I A_c}{360}$$

Dónde:

Q_p = gasto máximo, m^3/s .

C_e = coeficiente de escurrimiento, adimensional

I = intensidad máxima de lluvia para un período de retorno dado, mm/h.

A_c = área de la cuenca, ha.

360 = factor de ajuste de unidades.

Q_p : Es el gasto máximo posible que puede producirse con una lluvia de intensidad I en una cuenca de área y coeficiente de escurrimiento C_e , que expresa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa.

2.14.6. Método racional modificado

La modificación al método racional consiste en utilizar los valores de lluvia máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, en lugar del valor de la intensidad de lluvia. El método considera que para un periodo crítico, la lluvia reportada en 24 horas puede presentarse en una hora; por tal razón este valor se debe expresar en cm/h. La fórmula queda de la siguiente manera.

$$Q = 0.028 C_e P A$$

Dónde:

Q = escurrimiento máximo, en m^3/s .

C_e = Coeficiente de escurrimiento.

P = Lluvia de diseño para un período de retorno dado, en cm.

A = área de la cuenca, en ha.

2.14.7. Intensidad máxima de lluvia (i)

El cálculo hidrológico de la avenida de diseño en estructuras cuya cuenca es pequeña, como son: presas de almacenamiento; derivación o control de avenidas; alcantarillas y puentes pequeños; obras de drenaje agrícola y urbano, se deberá basar el análisis en la información disponible sobre lluvias máximas de la zona y en las características físicas de la misma.

Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) son básicas en todo análisis hidrológico para la estimación de avenidas máximas por métodos empíricos e hidrológicos. En la actualidad, ya se cuenta con las curvas IDF de todo el país editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), y se encuentran disponibles en su portal de internet.

2.14.8. Tiempo de concentración

Para poder hacer uso de las curvas IDF, es necesario conocer el tiempo de concentración de la lluvia, que se define como el tiempo que pasa desde el final de la lluvia neta, hasta el final de la escorrentía directa. Representa el tiempo que tarda en llegar al aforo la última gota de lluvia que cae en el extremo más alejado de la cuenca y que circula por escorrentía directa. Por lo tanto, el tiempo de concentración sería el tiempo de equilibrio o duración necesaria para que; con una intensidad de escorrentía constante; se alcance el caudal máximo.

El tiempo de concentración se calcula mediante la ecuación:

$$tc = \frac{L}{3600v}$$

Dónde:

tc = tiempo de concentración, h.

L = longitud del cauce principal de la cuenca, m.

v = velocidad media del agua en el cauce principal, m/s.

Otra manera de estimar el tiempo de concentración es mediante la fórmula de Kirpich:

$$tc = 0.000325 \frac{L^{0.777}}{S^{0.385}}$$

Dónde:

tc = tiempo de concentración, h.

S = pendiente del cauce principal.

L = longitud del cauce principal, m.

2.15. PRESA DERIVADORA DE MAMPOSTERÍA

2.15.1. Definición

Es una estructura de piedra, arena y cemento, que se construye perpendicular a las cárcavas, controla la velocidad de escurrimiento al formar un escalón que reduce la erosión hídrica y almacena agua.

2.15.2. Proceso de construcción

Después de haber cumplido con los requerimientos mínimos de diseño para una presa de mampostería, se puede comenzar a construir siguiendo los pasos que a continuación se describen:

Primer paso. Se realiza el trazo de empotramiento, que consiste en marcar, con cal o pintura, el área a excavar para el empotramiento.

Segundo paso. La excavación del empotramiento y el delantal se realiza para impedir que el agua y los sedimentos flanqueen la estructura y evitar socavaciones que pongan en peligro la obra.

Tercer paso. Se realiza el transporte de materiales, que incluye la piedra, la arena o el cemento, dentro de los costos.

Cuarto paso. Se procede a la conformación del empotramiento, la base y el delantal según se muestra en la imagen.

Quinto paso. Se construyen las paredes y el vertedor. Para las paredes se debe seguir con la misma forma con que se construyó la base. Al final, se le da forma al vertedor.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ASPECTOS GENERALES

Nombre de la obra: Presa Derivadora de Mampostería

Comunidad beneficiada: Ejido San Juan del Cohetero

Municipio: General Cepeda

Estado: Coahuila

Inversión: **\$2, 195, 925.28**

Finalidad de la obra: Derivar 1 m^3 /seg de cada obra de toma de agua de Escurrimiento Superficial.

Programa: COUSSA

3.1.1. Propósito de la obra

Utilizar racionalmente el agua de escurrimientos superficiales provocados por las lluvias y derivarlos hacia la presa de tierra existente.

3.1.2. Localización

La presa derivadora de mampostería se construyó en el arroyo San Miguel. La ubicación geográfica de la presa es 25°34'29.67" latitud norte y 101° 46'19.19" longitud oeste a 1277 msnm.

3.1.3. Macro localización

El municipio de General Cepeda se ubica en la Región Sureste del estado de Coahuila.

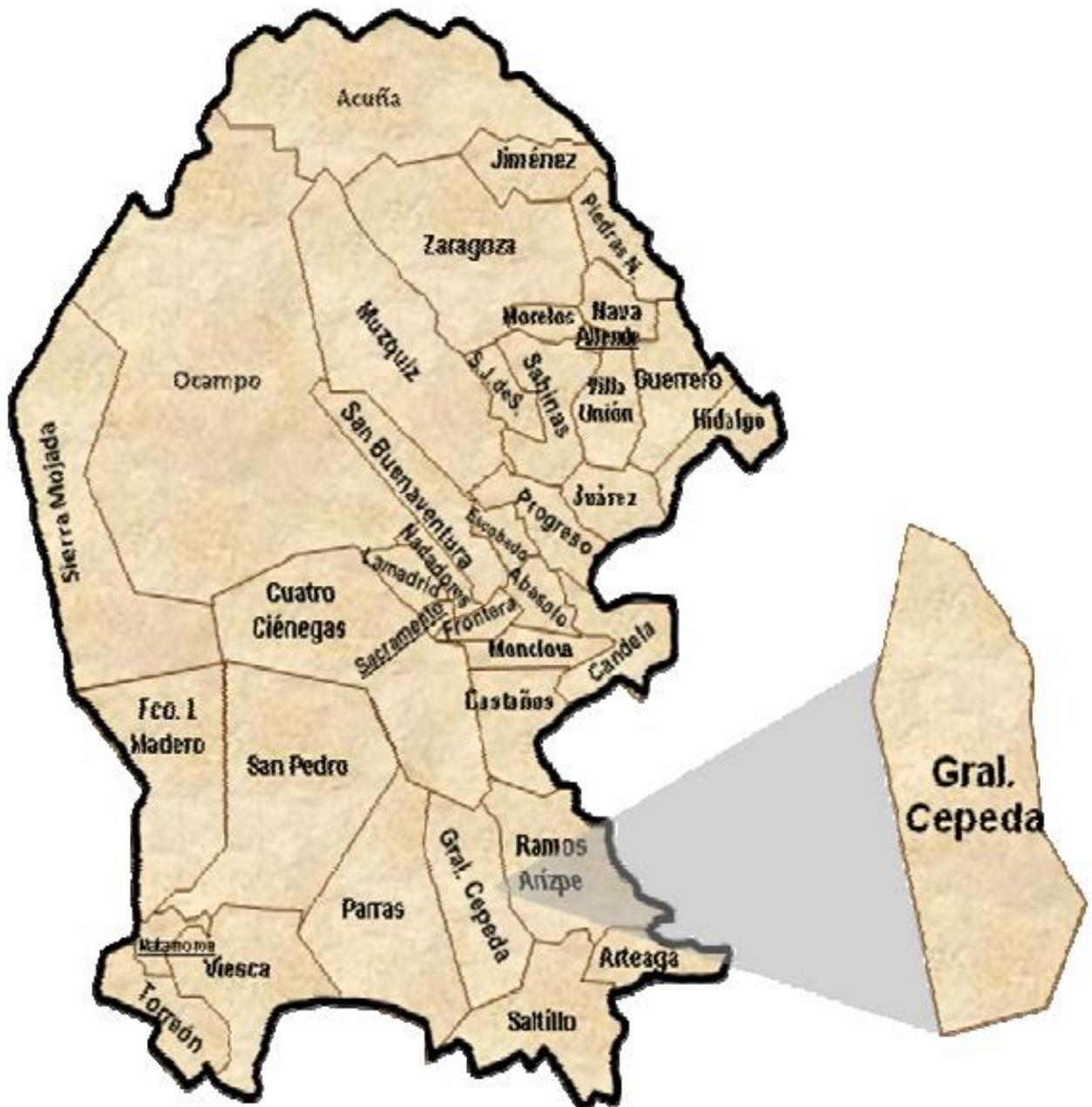


Figura 9. Macro localización del Municipio de General Cepeda

3.1.4. Vías de comunicación

El ejido San Juan del Cohetero, municipio de General Cepeda, se ubica a una distancia de 72 km de Saltillo por la autopista (40) Saltillo-Torreón y 2.5 km de terracería.

3.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

3.2.1. Climatología

El clima de la región es BSO hx', que se ubica dentro de los subtipos secos y semicálidos, con lluvias predominantes en el periodo de mayo-septiembre. El tipo de suelo es franco-limoso y la vegetación es predominantemente matorral inerme y subinerme y de *crasorosulifolius*. Su precipitación medio anual es de 350 mm.

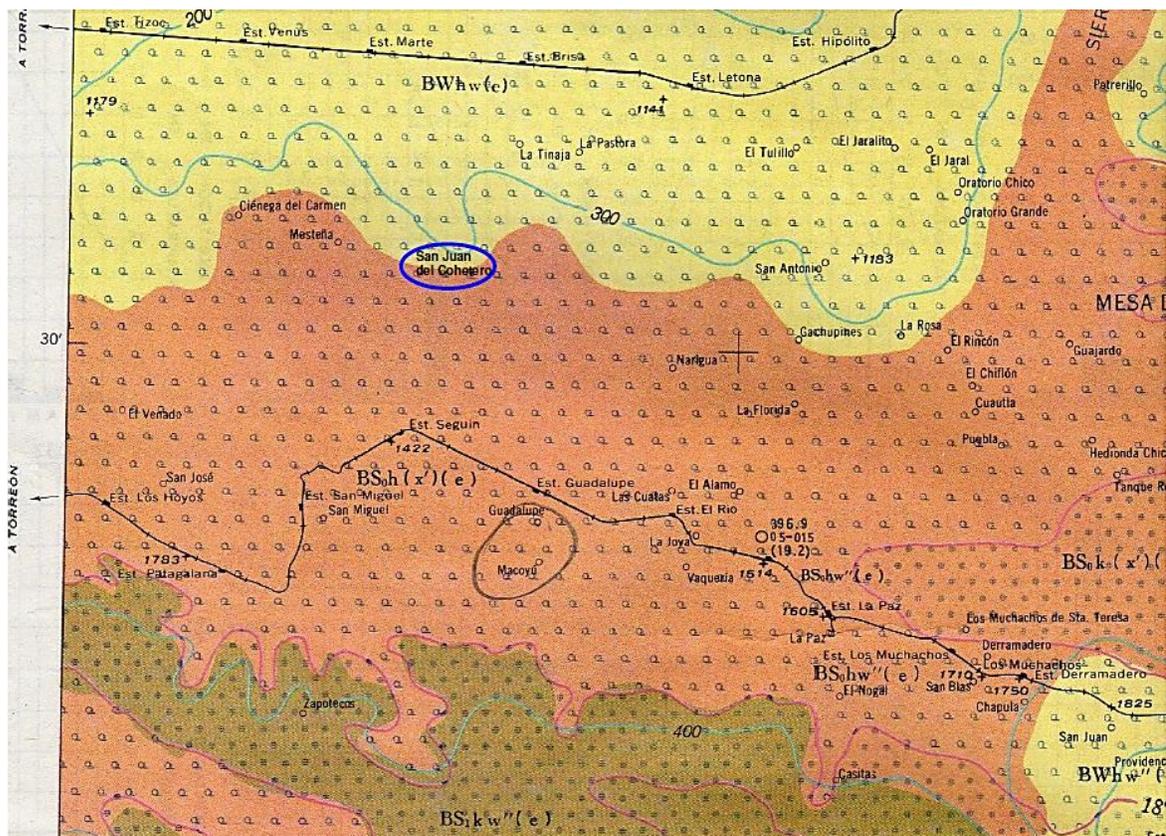


Figura 10. Cartas de climas, escala 1:50,000.

3.2.2. Vegetación

El ejido San Juan del Cohetero presenta zonas accidentadas como lomerío y valle. En el lomerío la vegetación se caracteriza por el matorral micrófilo como la gobernadora, hojaseén, hierba del burro, uña de gato y chaparro prieto. En el valle, la vegetación que se desarrolla es el matorral micrófilo inerme. Es predominantemente matorral inerme y subinerme y de *crasorosulifolius*.

3.2.3. Geología

El tipo de roca del que está compuesto el suelo es franco-limoso.

3.3. MECÁNICA DE SUELOS

Se proyectó la determinación de la estratigrafía del sitio, capacidad de carga a través del estudio geotécnico para la construcción de una Presa Derivadora sobre el Arroyo San Miguel para beneficio de los habitantes del Ejido San Juan de Cohetero. Ubicado en el municipio de General Cepeda, Coahuila. Coordenadas. 25 ° 34 29.67"al norte y 101° 46 19.19 "oeste.

3.3.1. Objetivos y alcances

El objetivo del estudio de mecánica de suelos en el sitio, es definir las características estratigráficas del predio, así como su capacidad de carga y permeabilidad, dar recomendaciones para la construcción de una Presa Derivadora, mediante las pruebas de campo, pruebas de laboratorio y estudios de gabinete.

3.3.2. Trabajos de campo

Se conocieron las propiedades del suelo existente y sus características, se realizó dos sondeos a cielo abierto uno en el margen izquierdo y otro en el margen derecho en el sentido de la corriente, el tercer sondeo se empezó a realizar en el centro del cauce pero por las características del suelo la retroexcavadora no pudo hacer el sondeo. Para evaluar la calidad y determinar la capacidad de carga del predio, se obtuvo los materiales para obtener resultados teniendo la cepa una profundidad promedio de 1.80 m. De donde se obtuvo muestra alterada. Se realizó la prueba de permeabilidad de campo. Hasta la máxima profundidad explorada no se detectó la presencia del nivel de aguas freáticas

3.3.3. Trabajos de laboratorio

Las muestras recopiladas fueron sometidas a análisis de identificación, calidad y pruebas de índice de resistencia que se mencionan a continuación: De acuerdo a los lineamientos que marca el Sistema Unificado de Clasificaciones de Suelos.

1. Análisis Granulométrico
2. Limite Líquido. (%)
3. Limite Plástico
4. Índice plástico (%)
5. Contracción Lineal (%)
6. Peso Específico Seco Suelto
7. Peso Específico Seco Máximo
8. Humedad Óptima (%)
9. Humedad Natural
10. Valor Relativo de Soporte
11. Expansión
12. Clasificación del Suelo Mediante el Sistema (S.U. C.S.)

3.3.4. Estratigrafía

La estratigrafía del sitio está formada por depósitos de material granular grueso arcilloso y se describe de la siguiente manera:

En el **sondeo 1** lado poniente en la parte superficial se tiene una capa de material granular grueso arcilloso, café clara de 0.00 a 0.50 m de espesor. Bajo este material se tiene un depósito de conglomerado con material granular grueso arcilloso se detectó hasta una Prof. de 1.00 cm. Se detectó una capa de gravas con piedra de 1.00 hasta la máxima profundidad explorada que es de 2.00 m.

En el **sondeo 2** lado oriente en la parte superficial se tiene una capa de material granular grueso, materia orgánica café clara de 0.0 a 0.20 m de espesor. Bajo este material se tiene un depósito de conglomerado de material grava limosa de color café claro hasta una profundidad de 0.60 cm. Se detectó una capa de limo con boleos y piedra de 0.60 hasta la máx. .profundidad explorada que es de 1.75 m.

Permeabilidad: La permeabilidad de las mezclas de grava, arena y arcilla o limo, se considera Semipermeable.

Capacidad de carga: De acuerdo con los resultados de los ensayos efectuados, con las características de los materiales existentes, la capacidad de carga admisible es de 3 kg/cm^2 , ensayada a la compresión axial.

3.3.5. Recomendaciones

- 1).- Retirar del área de construcción la materia orgánica con limo café clara desechándola cortando 0.30 m.
- 2).- Escarificar y compactar el terreno natural, utilizando un rodillo pata de cabra para compactar por amasado.
- 3).- Si se utiliza concreto deberá tener un mínimo de $F'c = a 200 \text{ kg/cm}^2$.

3.4. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Para el análisis hidrológico se tomó en cuenta los datos de las precipitaciones de la estación climatológica N° 00005162, del ejido dos de abril, municipio de General Cepeda, Coahuila. Conforme a estas precipitaciones se obtuvo el periodo de retorno y la probabilidad de lluvias máximas anuales en 24 horas.

Años	Lluvias máximas (mm)	Lluvias máximas ordenado (mm)	Número de orden (m)	Periodo de retorno T (años)	Probabilidad P (%)
1982	40	105.2	1	26.0	3.85
1983	49	80.5	2	13.0	7.69
1984	55	65	3	8.7	11.54
1985	80.5	64	4	6.5	15.38
1986	105.2	60	5	5.2	19.23
1987	65	55	6	4.3	23.08
1988	30	53	7	3.7	26.92
1989	28	49	8	3.3	30.77
1991	60	42	9	2.9	34.62
1992	42	40	10	2.6	38.46
1993	40	40	11	2.4	42.31
1994	7	40	12	2.2	46.15
1995	32	38	13	2.0	50.00
1996	64	35	14	1.9	53.85
1997	22	32	15	1.7	57.69
1998	25	30	16	1.6	61.54
1999	53	30	17	1.5	65.38
2000	38	30	18	1.4	69.23
2001	30	28	19	1.4	73.08
2002	40	25	20	1.3	76.92
2003	18	23	21	1.2	80.77
2004	35	22	22	1.2	84.62
2005	30	18	23	1.1	88.46
2006	23	10	24	1.1	92.31
2007	10	7	25	1.0	96.15
				$T=(n+1)/m$	$P=m/(n+1)$

Cuadro 3. Precipitación, período de retorno y probabilidad de 25 años de General cepeda, Coahuila.

$$T = \frac{n+1}{m} \quad \gamma \quad P = \frac{m}{n+1}$$

Dónde:

T: Período de retorno (años)

n= Número de años de registro.

m= Número de orden.

P= Probabilidad

Grafica de probabilidad de las precipitaciones máximas diarias de 25 años, obtenidos de la estación climatológica N° 00005162, del ejido dos de abril, municipio de General Cepeda, Coahuila.

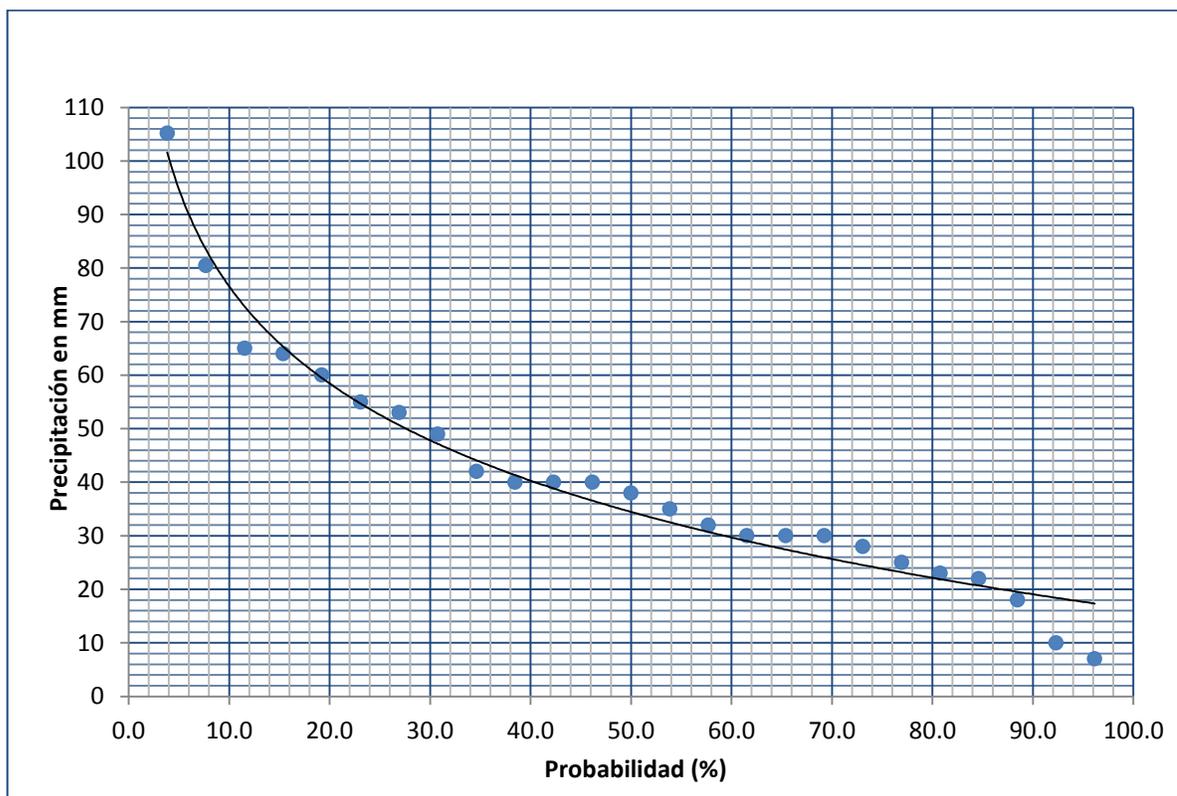


Figura 11. Curva de probabilidad de las precipitaciones máximas diarias (mm).

3.4.1. Área de la cuenca hidrológica

De acuerdo con la ayuda del software satelital, simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL); se obtuvo el área de la cuenca y con base a este dato se realizó el siguiente concentrado de estudios hidrológicos.

Cuadro 4. Concentrado del estudio hidrológico de acuerdo al SIATL.

Área de la cuenca	510.80 Km ² = 510,800,000 m ²
Precipitación media anual	350 mm = 0.35 m
Volumen anual por lluvia precipitada	178,780,000 m ³
Coefficiente de escurrimiento	10% = 0.1
Volumen anual escurrido	17,878,000 m ³
Volumen aprovechable	60% = 10,726,800 m ³



Figura 12. Indicadores del cauce principal obtenido con el software SIATL.

Cuenca hidrológica del ejido San Juan del Cohetero, municipio de General Cepeda, Coahuila.

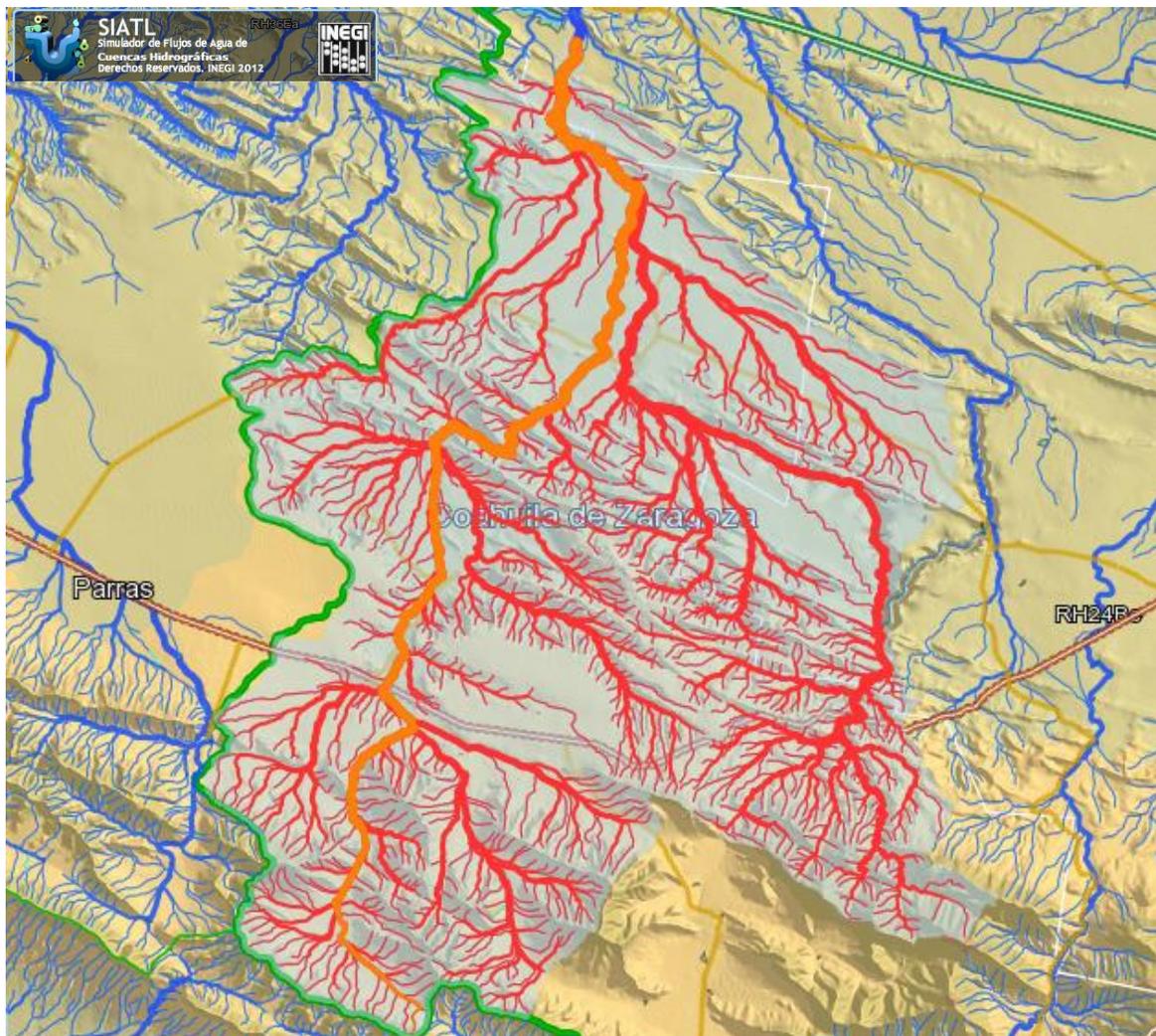


Figura 13. Cuenca hidrológica del ejido San Juan del Cohetero.

3.4.2. Avenida máxima

Para determinar la avenida máxima utilizaremos la gráfica de Gastos Propuestos para Proyectos de Puentes en la República Mexicana; en el cual el gasto está en función del área de la cuenca en Km^2 y a la región hidrológica, en este caso corresponde a la región hidrológica 24.

El gasto máximo esperado en la siguiente grafica es de $375 m^3/seg$, para una cuenca de $510.80 Km^2$.

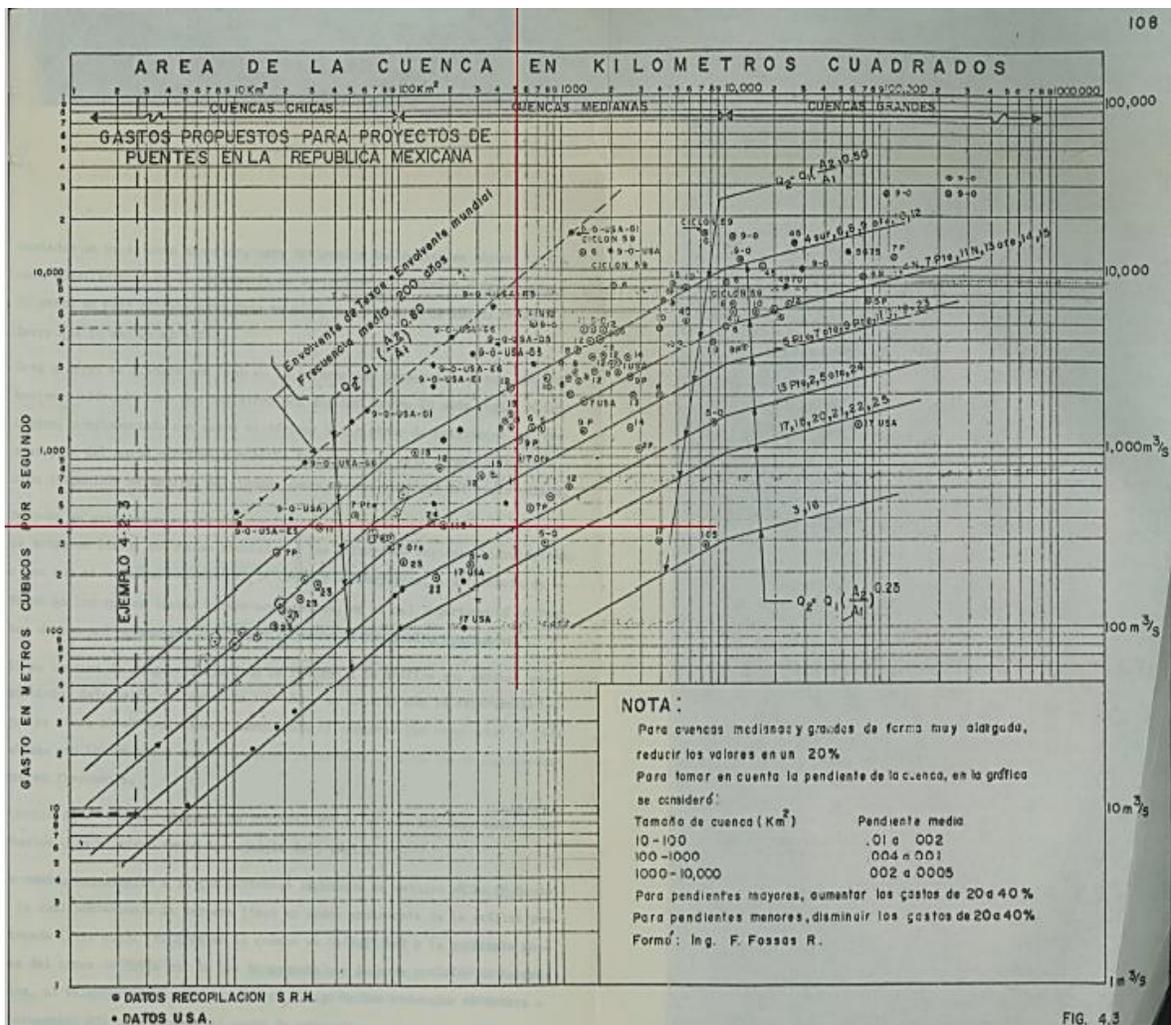


Figura 14. Gráfica para obtener la avenida máxima.

3.4.3. Coeficiente de escurrimiento

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento del Cuadro 5, se tomaron en cuenta las cartas topográficas de la región (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1992), los cálculos incluyen valores del cuadro 6 y que a la vez se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Ce = (Ce / Ac + Ce / Pm + Ce / Cv + Ce / Gs) / 4$$

Dónde:

Ac= área de la cuenca

Pm= precipitación media anual

Cv= cobertura vegetal

Gs= grupo de suelo

Cuadro 5. Coeficientes de escurrimientos.

Coeficiente de escurrimiento por área de cuenca	Área de cuenca (km^2)	Ce/Ac
	Menor de 10	0.20
	11 a 100	0.15
	101 a 500	0.10
Coeficiente de escurrimiento por área de cuenca	Precipitación media anual (mm)	Ce/Pm
	Menor de 800	0 a 0.05
	801 a 1,200	0.06 a 0.15
	1,200 a 1,500	0.16 a 0.25
	Mayo de 1,500	0.35
Coeficiente de escurrimiento por cubierta vegetal	Cubierta vegetal	Ce/Cv
	Bosque matorral	0.05 a 0.20
	Pastos y cultivos	0.01 a 0.30
	Sin vegetación	0.25 a 0.50
Coeficiente de escurrimiento por permeabilidad del terreno	Grupos de suelo	Ce/Gs
	Alta permeabilidad	0.05 a 0.25
	Moderada permeabilidad	0.01 a 0.30
	Baja permeabilidad	0.25 a 0.60

Cuadro 6. Coeficientes de escurrimientos de la cuenca en estudio.

Descripción		Coeficiente de escurrimiento
Área de la cuenca	510.80 Km ²	0.10
Precipitación media anual	350 mm	0.05
Cubierta vegetal	Bosque matorral	0.12
Permeabilidad del terreno	Moderada permeabilidad	0.15

Con los coeficientes de escurrimientos obtenidos del cuadro 10, se procede a sustituir en la ecuación anterior para obtener el cálculo correspondiente del coeficiente de escurrimiento.

$$Ce = (Ce / Ac + Ce / Pm + Ce / Cv + Ce / Gs) / 4$$

$$Ce = (0.10 + 0.05 + 0.12 + 0.15) / 4$$

$$Ce = 0.105$$

3.4.4. Cálculo del escurrimiento medio anual

Considerando el área de la cuenca, así como también la precipitación media anual; obtenemos el escurrimiento medio anual mediante la siguiente ecuación.

$$EMA = (A \times Ce \times Pm)$$

Dónde:

EMA = Escurrimiento medio anual (m³)

Ce = Coeficiente de escurrimiento.

A = Área de cuenca (Km²)

Pm = Precipitación media anual (mm)

$$EMA = (510,800,000 \text{ m}^2 \times 0.105 \times 0.350 \text{ m})$$

$$EMA = 18,771,900 \text{ m}^3$$

3.4.5. Cálculo del volumen anual escurrido

El volumen anual escurrido se obtiene multiplicando el escurrimiento medio anual, que se obtuvo anteriormente por el coeficiente de escurrimiento de la cuenca en estudio. Quedando la ecuación de esta manera:

$$Va\ esc = (Ce \times EMA)$$

Dónde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento.

EMA = Escurrimiento medio anual (m^3).

$$Va\ esc = (0.105 \times 18,771,900\ m^3)$$

$$Va\ esc = 1,971,049.5\ m^3$$

3.4.6. Cálculo del volumen aprovechable medio anual

Para obtener el volumen aprovechable medio anual, se multiplicará el escurrimiento medio anual por un coeficiente estimado de 0.70 o 70 %; ya que tenemos que tomar en cuenta las pérdidas por evaporación e infiltración que se consideran con un coeficiente de 0.20 o 20 %, más el coeficiente de escurrimiento que obtuvimos en la ecuación anterior. Por esta razón decimos que es 0.70.

$$VAMA = 0.7 (EMA)$$

Dónde:

EMA= escurrimiento medio anual

$$VAMA = 0.7 (18,771,900\ m^3)$$

$$VAMA = 13,140,330\ m^3$$

3.4.7. Cálculo de la avenida máxima por el método de Dickens

Para determinar la avenida máxima se utilizó el método de Dickens.

$$Q = 0.0139 C (A)^{0.75}$$

Dónde:

Q= gasto del proyecto, en m^3/seg .

A= área de la cuenca en Km^2 .

C= coeficiente que depende de las características de la cuenca y de la precipitación.

0.0139= factor de conversión y de homogeneidad de unidades.

La secretaría de comunicaciones y transportes propone valores de C extraídos del “Manual para Ingenieros de Carreteras” de Harger y Bonney”.

Cuadro 7. Valores de C para obtener la avenida máxima.

Características tipográficas de la cuenca.	Para precipitaciones de 10 cm en 24 horas.	Para precipitaciones de 15 cm en 24 horas
Terreno plano	200	300
Con lomerío suave	250	325
Con mucho lomerío	300	350

Por lo tanto el coeficiente de la cuenca en estudio es: 300

Por lo tanto:

$$Q = 0.0139 C (A)^{0.75}$$

$$Q = 0.0139 \times 300 \times (510.80 \text{ Km}^2)^{0.75}$$

$$Q = 448.048 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

3.4.8. Cálculo de la avenida Máxima en cuencas no aforadas

En ausencia de información hidrológica sobre una región o para estudios de gran visión, una estimación gruesa de avenidas puede obtenerse con la aplicación de los métodos empíricos los cuales son considerados como el último recurso hidrológico de análisis.

Método de Ryves

$$Q = 10.106 x A^{0.67}$$

$$A = \text{area de la cuenca en } Km^2$$

$$A = 510.8 Km^2$$

$$Q = 10.106 x (510.80 km^2)^{0.67}$$

$$Q = 659.33 m^3/seg.$$

Método de Valentini

$$Q = 27 x A^{0.5}$$

$$A = \text{area de la cuenca en } Km^2$$

$$A = 510.8 Km^2$$

$$Q = 27x (510.80 Km^2)^{0.5}$$

$$Q = 610.22 m^3/seg.$$

Método de Kuichling

$$Q = \left[\left(\frac{3596.24}{A + 958.296} \right) + 0.081 \right] A$$

$$A = \text{area de la cuenca en } Km^2$$

$$A = 510.8 \text{ Km}^2$$

$$Q = \left[\left(\frac{3596.24}{510.80 + 958.296} \right) + 0.081 \right] \times 510.80$$

$$Q = 1291.77 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2Cuadro 8. Cálculo de avenidas máximas por métodos empíricos.

Método	Avenida máxima en $m^3/\text{seg.}$
Dickens	448.048
Ryves	659.33
Valentini	610.22
Kuichling	1291.77

La determinación del gasto de la avenida máxima es de gran importancia para el diseño de la presa derivadora de mampostería, específicamente para el diseño del vertedor de excedencia, que como su nombre lo indica, tendrá la capacidad para desfogar la avenida máxima; así como también eliminar las aguas sobrantes cuando el vaso de almacenamiento este completamente lleno. Para este caso tomaremos el gasto obtenido por la gráfica de Gastos Propuestos para Proyectos de Puentes en la República Mexicana, que es de $375 \text{ m}^3/\text{seg.}$

3.5. DISEÑO DE LA OBRA

3.5.1. Característica de la obra

La presa derivadora se construirá de mampostería. Esta obra cuenta con un vertedor de demasías y dos obra de toma.

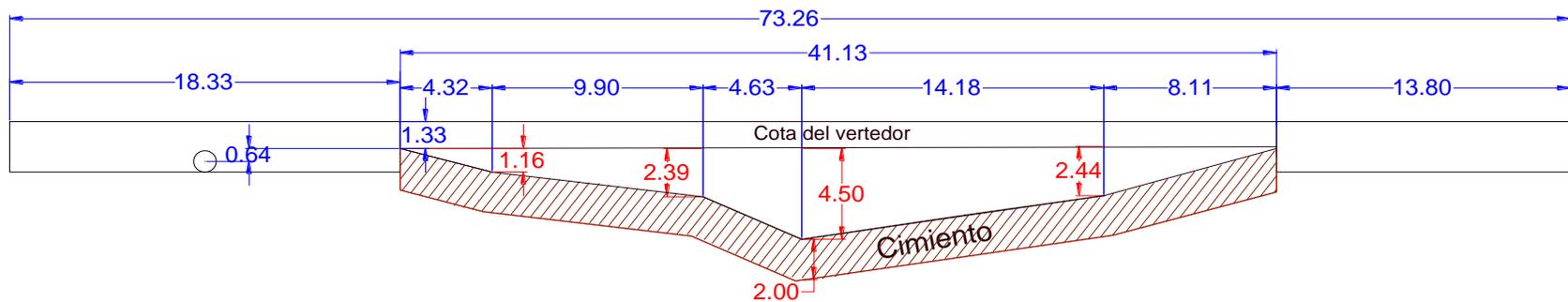
Longitud de la cortina.....	73.2 m
Longitud del vertedor.....	41.13 m
Ancho de la corona.....	1.5 m
Altura máxima.....	4.5 m
Elevación de la corona.....	1276 msnm
Elevación de embalse máximo.....	1273.5 msnm
Ancho de la base.....	5.5 m
Talud aguas arriba.....	0:0
Talud aguas abajo.....	0.61

Resistencia a la compresión: $f=200 \text{ kg/cm}^2$

3.5.2. Perfil de la boquilla

Se obtuvo el perfil por el eje de la boquilla de la presa mediante un levantamiento topográfico con la ayuda de la estación total.

Corte transversal por el eje de la boquilla



$$\text{Área} = 95.66 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} = 42.32 \text{ m}$$

Figura 15. Corte transversal por el eje de la boquilla de la presa.

3.5.3. Obra de excedencia

El vertedor de demasías de la presa derivadora de mampostería tiene la capacidad para desfogar $375 \text{ m}^3/\text{s}$. Para calcularlo se usó la siguiente formula:

$$Q = b * m * (2g)^{\frac{1}{2}} * (H)^{\frac{3}{2}}$$

Dónde:

b= Ancho del vertedor (41 m)

m= Coeficiente de gasto (0.48)

H= Altura del vertedor

Q= avenida máxima en m^3/s .

Por lo tanto:

$$H = \left[\frac{Q}{b * m * (2g)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left[\frac{375 \text{ m}^3/\text{s}}{41 * 0.48 * (2g)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

De acuerdo con el resultado de $H= 2.5 \text{ m}$, la obra de excedencias tiene suficiente capacidad para desfogar la avenida máxima.

3.5.4. Obra de toma

El gasto de la obra de toma se determina con la fórmula de darcy-weisbach (1875):

$$H = 0.0826 * \left(\frac{f * l}{d^5} \right) * Q^2$$

Dónde:

H= Carga en m (1.5 m).

f= Coeficiente de fricción (0.02).

l= Longitud de la tubería en m (150 m).

d= Diámetro de la tubería en m (42"= 1.06 m).

Q= Gasto en m^3/s .

Despejando Q^2 de la ecuación y sustituyendo los valores obtenemos:

$$Q = \left[\frac{Hxd^5}{0.0826xfxl} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \left[\frac{1.5x(1.06 m)^5}{0.0826x0.02x150 m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 2.84 m^3/s$$

Tomando en cuenta que la obra de toma representa un conducto cerrado, entonces el gasto máximo de desfogue es igual a: $2.84 m^3/s$.

3.5.5. Estimación de la estabilidad del muro de la presa

A continuación se presentan cálculos para determinar la estabilidad de la presa, ya que es de gran importancia para evitar el volcamiento de la misma.

Formula de la fuerza resultante de la presión hidrostática (FRPH):

$$FRPH = ADP \times B$$

Dónde:

ADP = Área del diagrama de presiones

B = Sección del muro de 1 metro de ancho

La fórmula y cálculo del diagrama de presiones es la siguiente:

$$ADP = \left[\frac{\gamma(h_p + h_{carga}) + \gamma(h_{carga})}{2} \right] \times h_p$$

$$ADP = \left[\frac{1000 \frac{kg}{m^3} (4.5 m + 2.5 m) + 1000 \frac{kg}{m^3} (2.5 m)}{2} \right] \times 4.5 m$$

$$ADP = 21,375 \frac{kg}{m}$$

Cálculo de la fuerza resultante de la presión hidrostática.

$$FRPH = ADP \times B$$

$$FRPH = 21,375 \frac{kg}{m} \times 1 m$$

$$FRPH = 21,375 kg$$

$$FRPH = 21.375 Ton.$$

Cálculo del peso del muro (W).

$$\text{Área} = \left(\frac{B + b}{2} \right) \times h$$

$$\text{Área} = \left(\frac{5.5 m + 1.5 m}{2} \right) \times 4.5 m$$

$$\text{Área} = 15.75 m^2$$

Volumen del muro

$$V = A * B$$

$$V = 15.75 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}$$

$$V = 15.75 \text{ m}^3$$

Peso del muro

$$W = v \times \gamma \text{ ciclopeo}$$

$$W = 15.75 \text{ m}^3 \times 2300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W = 36225 \text{ kg}$$

$$W = 36.225 \text{ Ton}$$

3.5.6. Cálculo de la fuerza resultante

$$\alpha = \frac{FRPH}{W}$$

$$\alpha = \frac{21.375 \text{ Ton}}{36.225 \text{ Ton}}$$

$$\alpha = 0.590$$

$$\tan^{-1}(\alpha) = 0.590$$

$$\alpha = 30^\circ 32' 26.18''$$

$$fr = \sqrt{FRPH^2 + W^2}$$

$$fr = \sqrt{21.375^2 + 36.225^2}$$

$$fr = 42.061 \text{ Ton}$$

3.5.7. Revisión por volteo

$$fs = \frac{\text{fuerza resultante}}{\text{fuerza actuante}} > 1$$

Dónde:

fs: factor de seguridad

$$fs = \frac{42.061 \text{ Ton}}{36.225 \text{ Ton}} > 1$$

$$fs = 1.16 > 1$$

Como el factor de seguridad es mayor de la unidad, el peso de la presa está en condiciones de resistir la fuerza resultante de la presión hidrostática. Por lo tanto se asegura la estabilidad de la presa.

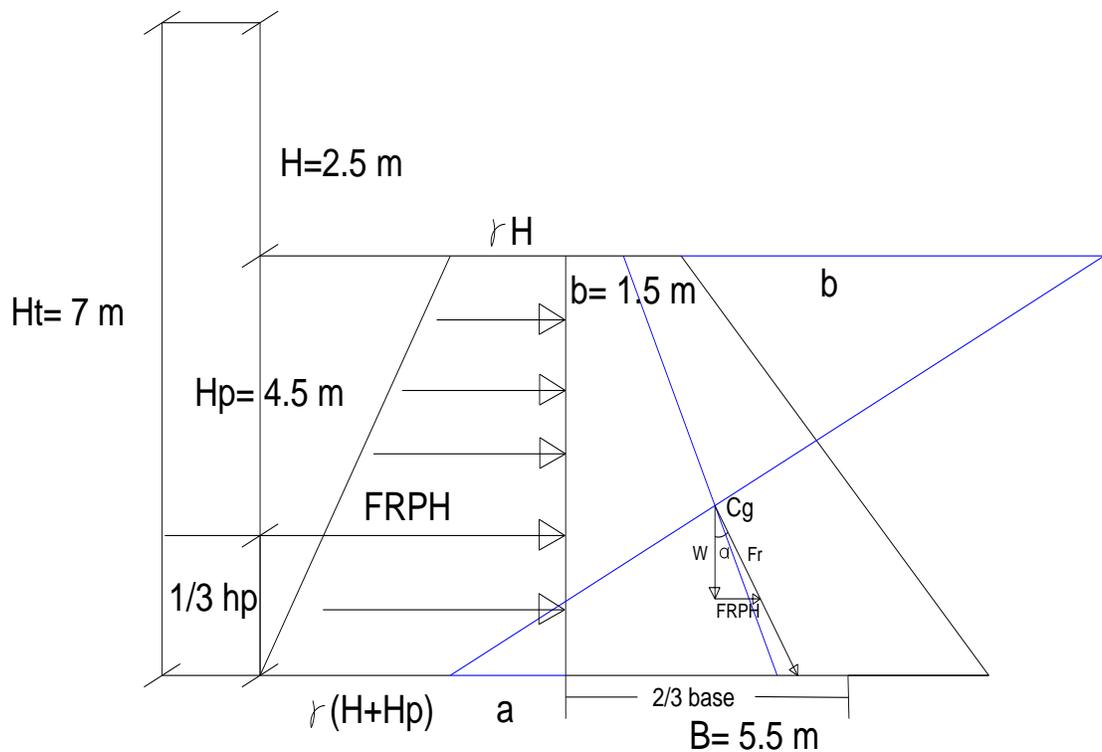


Figura 16. Estabilidad de la presa.

3.5.8. Procedimientos para la construcción de la presa de mampostería

1. Se realizó un levantamiento altimétrico y planimétrico donde se construyó la pequeña presa de mampostería que es el sitio llamado boquilla. Con el perfil de la boquilla se diseñó la vista de aguas abajo de la presa y se calculó los volúmenes de material a utilizar como son el cemento, la grava, la arena y los jornales que se emplearon para construir la obra.
2. En seguida limpió toda la base de la presa para después hacer el trazo de la misma. Posteriormente se continuó con la excavación para el empotramiento y desplante de la presa. Enseguida se realizó la cimentación para construir en bloques rectangulares de un metro de alto. El largo y el ancho varían en función del tipo de boquilla.
3. Este procedimiento de construir en bloque a dado buen resultado en las pequeñas presas de mampostería que se han construido, pues se facilita al ir poniendo el material sobre un escalón más alto. Por ejemplo, en una presa de siete metros de altura se tendrán siete escalones, todos de un metro de altura. Lo que va cambiando es el ancho, según las características de la boquilla.

3.5.9. Características de la presa de mampostería

La pequeña presa cuenta con un filtro que es de material de polietileno de alta densidad de 42 pulgadas de diámetro. El fondo de la tubería de polietileno se llena con materiales triturados y el filtro y el muro se unen por medio de una tubería incrustada en la presa de mampostería y que penetra en el tubo de polietileno por un orificio que se le hace a este igual al diámetro de la tubería.

La pequeña presa tiene 2 obras de toma. La obra de toma del margen derecho estará conectada de la siguiente manera: primero una línea de conducción de 150 m de longitud con una tubería de polietileno de alta densidad de 42 pulgadas de diámetro. La excavación para colocar esta tubería tendrá 1.5 m de profundidad y 1.5 m de ancho. Esta tubería estará encofrada con mortero y piedra. La tubería descargará a un desarenador que tendrá las siguientes dimensiones: 130 m de largo, 35 m de ancho y 2 m de profundidad. Después del desarenador inicia un canal de tierra de 1.5 m de ancho por 1.5 m de profundidad y una longitud de 298 m. El canal descargará a una acequia que distribuye el agua en las áreas de temporal. La excavación para la tubería y el canal de tierra lo realizará una máquina retroexcavadora y para el desarenador se utilizará un buldocer D7. A la entrada de la obra de toma se tendrá una rejilla con una malla de 10 cm x 10 cm, su dimensión es de 1.2 m x 1.2 m.

En el margen izquierdo tiene otra obra de toma con una tubería de polietileno de alta densidad de 42 pulgadas de diámetro y 3 m de longitud. Esta tubería estará encofrada y descargará a un canal de tierra de 431 m de largo y 1.5 m de ancho por 1.5 m de profundidad. Este canal descargará a una acequia que distribuye el agua en las tierras de temporal de los escurrimientos superficiales. En la obra de toma se contempla una rejilla similar y con las mismas medidas.

3.5.10. Norma de riego

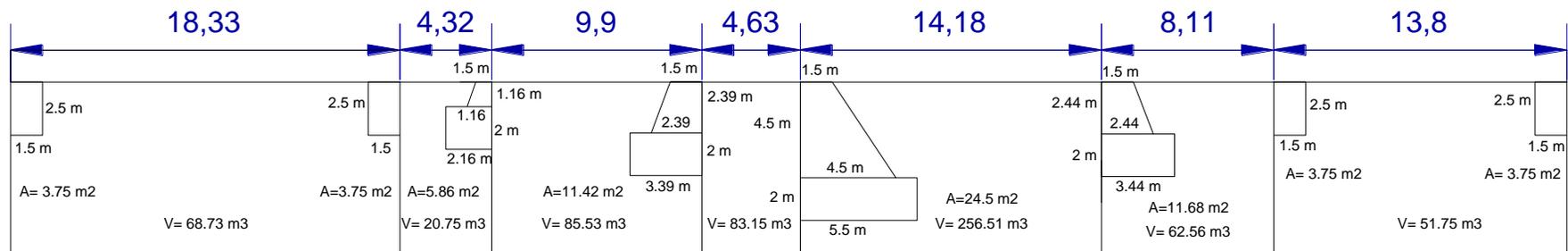
Tomando en cuenta las precipitaciones medias de la región, se determinó la norma de riego para los cultivos de forraje que es aproximadamente: 5,000-6,000 m^3/ha .

3.5.11. Posible área a irrigar

De acuerdo con los cálculos realizados del volumen aprovechable medio anual es de 13,140,330 m^3 , y tomando en cuenta la norma de riego para cultivos de forraje de 5000 a 6000 m^3/ha , vemos que se tiene agua para 2628 has.

3.5.12. Cálculo del volumen de construcción de la presa

Volúmenes de construcción de la presa San Juan del Cohetero



Volúmenes de construcción de la presa: $68.73 + 20.75 + 85.53 + 83.15 + 256.51 + 62.56 + 51.75 = 628.98 \text{ m}^3$

Volúmenes de muros guía= $8.5 \times 2 = 17 \text{ m}^3$

Volumen total de construcción: $628.98 \text{ m}^3 + 17 \text{ m}^3 = 645.98 \text{ m}^3$

Figura 17. Volúmenes de construcción de la presa.

3.5.13. Análisis del presupuesto

Cuadro 9. Relación de agregados para un m^3 de construcción.

CONCEPTO	U.M.	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
Cemento	Ton	0.177	2,567.00	454.36
Arena	m^3	0.700	318.00	222.60
Grava	m^3	0.660	318.00	209.88
Piedra bola	m^3	0.660	318.00	209.88
			Total:	1,096.72

Cuadro 10. Componente de mezclas para la construcción total de la obra.

Agregados de componentes	Volumen m^3	Cemento ton	Arena m^3	Grava m^3	Piedra m^3
	645.98	114.33	452.18	426.34	426.34

Cuadro 11. Fuente de financiamiento de la presa de mampostería.

CONCEPTO	U.M.	CANTIDAD	P.U	IMPORTE	PROGRAMA	PRODUCTOR
Cemento	Ton	114.33	2,567.00	293,485.11	249,462.34	44,022.76
Arena	m^3	452.18	318.00	143,793.24	122,224.25	21,568.98
Grava	m^3	426.34	318.00	135,576.12	115,239.70	20,336.41
Piedra bola	m^3	426.34	318.00	135,576.12	115,239.70	20,336.41
Mano de obra que considera: limpia y trazo, excavación para empotramiento y desplante de cortina, construcción de la Presa	jornal	983.5	153.45	150,918.08	128,280.36	22,637.71
Total				859,348.67	730,446.36	128,902.30
				100 %	85 %	15 %

Cuadro 12. Costos y financiamiento del proyecto.

OBRA	IMPORTE	PROGRAMA	PRODUCTOR
Construcción de la presa de mampostería	859,348.67	730,446.36	128,902.30
Excavación del canal y desarenador con retro excavadora	212,455.00	180,586.75	31,868.25
Suministro de 150 m de tubería PE de 42" N-12 serie 30 banda verde 6m c/cople.	693,750.00	589,688.00	104,063.00
Instalación de tubería de 42".	150,000.00	127,500.00	22,500.00
Rejillas (2) para entrada a tubería.	10,000.00	8,500.00	1,500.00
Encofrado de tubería (1.5 x 1.5) 150 m.	230,371.61	195,815.87	34,555.74
Elaboración del proyecto	10,000.00	8,500.00	1,500.00
Puesta en marcha	30,000.00	25,500.00	4,500.00
Total	2,195,925.28	1,866,536.48	329,389.79
%	100	85	15

4. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

Con la construcción de la presa derivadora de mampostería se aprovecharon los escurrimientos superficiales por las lluvias, transformando la agricultura de temporal a riego; incrementando la producción de los cultivos básicos del ejido, como el maíz y el sorgo escobero. Por lo que podemos concluir que la captación y derivación de agua por medio de obras hidráulicas en el ejido San Juan del Cohetero incrementa la producción agrícola y pecuaria del ejido, aumentando los ingresos de los habitantes de la comunidad por ciclo agrícola.

Como recomendación, diremos que es deseable, que en aquellos lugares donde existen escurrimientos superficiales provocados por las lluvias o en algunos casos la combinación de los escurrimientos superficiales con las aguas subálveas, se construyan pequeñas presas de derivación y almacenamiento para pasar de una agricultura de temporal a una de riego. Este tipo de obras impactan positivamente, pues ayudan en la conservación del suelo y del agua.

5. LITERATURA CITADA

- I. Arreguín, C.F.I. 2000. Obras de excedencias. Ed. IMTA. .1ª Edición. Morelos. México.
- II. Arteaga, T.R.E. 1985. Normas y Criterios Generales que rigen el proyecto de un Bordo de Almacenamiento. Departamento de Irrigación, UACH., Chapingo, México.
- III. Arteaga. T.R.E. 2008. Obras hidráulicas-Apuntes de clase. Inédito, Departamento de irrigación, UACH, Chapingo, México.
- IV. Comisión Nacional del Agua. 2011. Estadísticas del agua en México: Contexto geográfico y socioeconómico. Edición 2011. México, D.F. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- V. Gonzalo Lugo Cruz. 2004. Obras de derivación. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Zacatenco. México, D.F.
- VI. Héctor García Gutiérrez. 2001. Presas derivadoras. Facultad de ingeniería. División de ingeniería civil, topografía y geodésica. Departamento de ingeniería hidráulica. U.N.A.M.
- VII. Juan M. Alfaro Morales. 2013. Diseño y cálculo para la construcción de una presa de mampostería “en el ejido la Maroma, municipio de Zaragoza Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad saltillo. Saltillo Coahuila.
- VIII. Koolhaas, Michel. 2003. Embalses Agrícolas: Diseño y Construcción. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay, 336 pp.

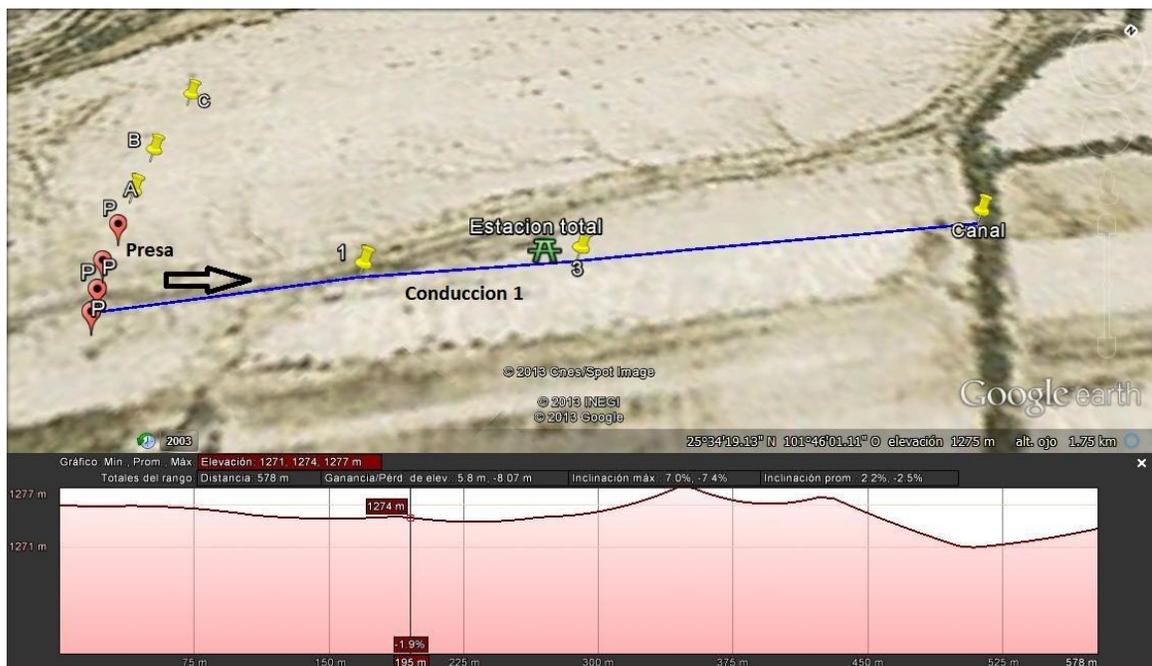
- IX. Octavio Velasco Sánchez. 1975. Presas de Derivación. Modelo México 4. Plan Nacional de Obras Hidráulicas para el Desarrollo Rural. México, D.F.
- X. Ray k. Linsley, Jr. Max A. Kohler., Joseph L.H. Paulhus. 1980. Hidrología para ingenieros. 2^a edición. p. 49-50.
- XI. Rubén M. González. Salvador M. Ochoa, Ricardo D. Valdez C., Roberto P. Reséndiz, Ricardo M. González. 1991. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas: Alternativas de manejo y utilización de los recursos de zonas áridas. 1^a edición. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 124-133.
- XII. Salvador Muñoz Castro. 2000. Hidrología superficial. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. p. 13-62.
- XIII. SARH. Colegio de postgraduados. 1991. Manual de conservación de suelo y agua. Montecillo, Estado de México. México. 581 pp.
- XIV. Secretaria de Planeación y Desarrollo. 2001. Conservación y Uso Sustentable del Agua. 1^a edición. Instituto Coahuilense de Ecología. Saltillo, Coahuila.
- XV. Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). 1982. Manual para la Estimación de Avenidas Máximas en Cuencas y Presas Pequeñas. Dirección general de obras hidráulicas y de ingeniería agrícola para el desarrollo rural, México, D.F.
- XVI. Secretaria de Recursos hidráulicos (S.R.H.). 2004. "Presas de derivación modelo México 4".
- XVII. S.R.H. 1967. Diseño de presas pequeñas. México. D.F.

- XVIII. S.R.H. 1975. Presas Derivadoras. Plan Nacional de Obras hidráulicas para el desarrollo rural. Subsecretaría de Construcción. México, D.F.
- XIX. U.S. Soil Conservation Service 1969. Engineering Field Manual.

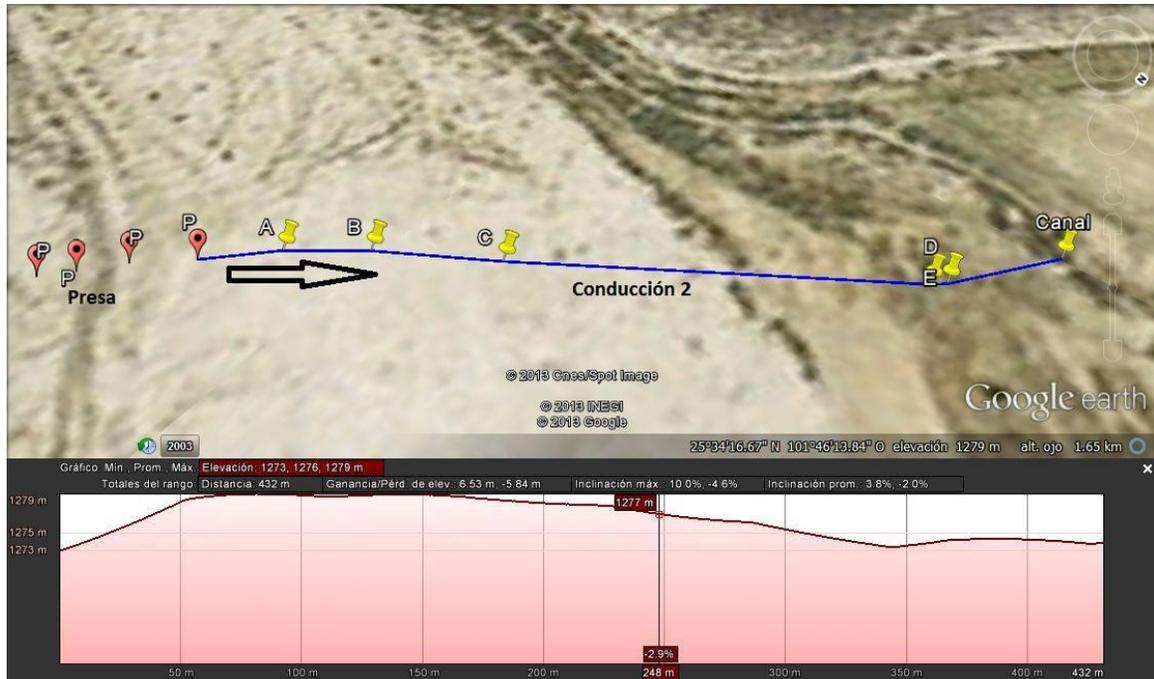
6. ANEXOS



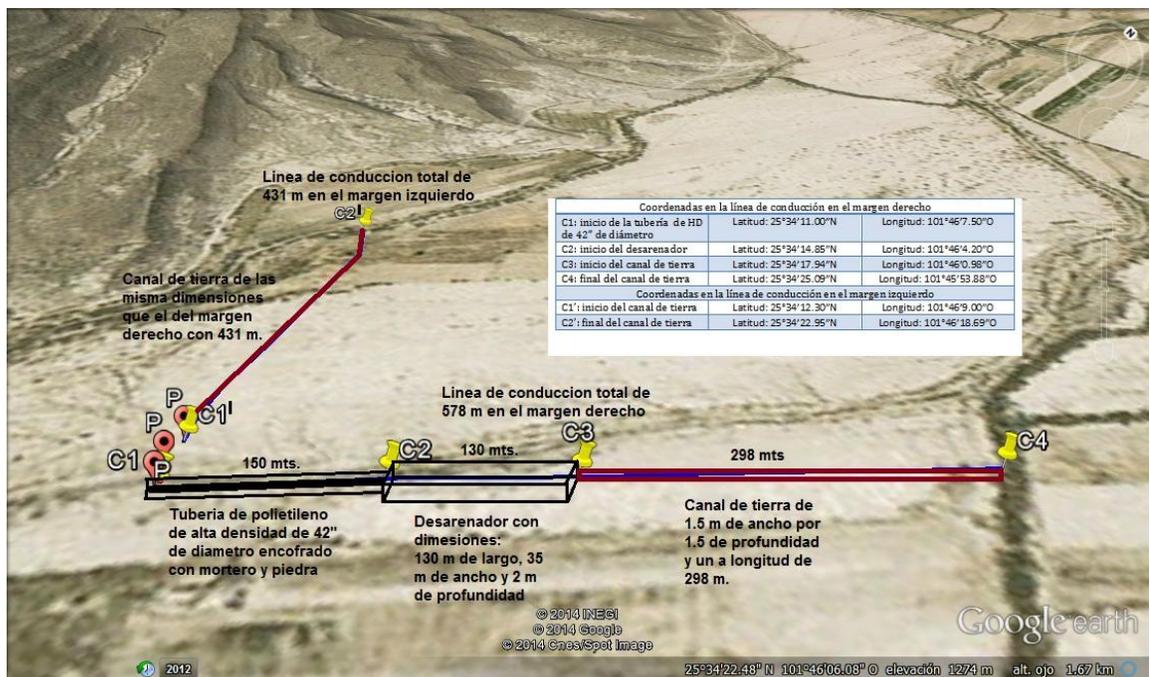
La presa tiene dos obras de toma, y se ubican en cada uno de los márgenes.



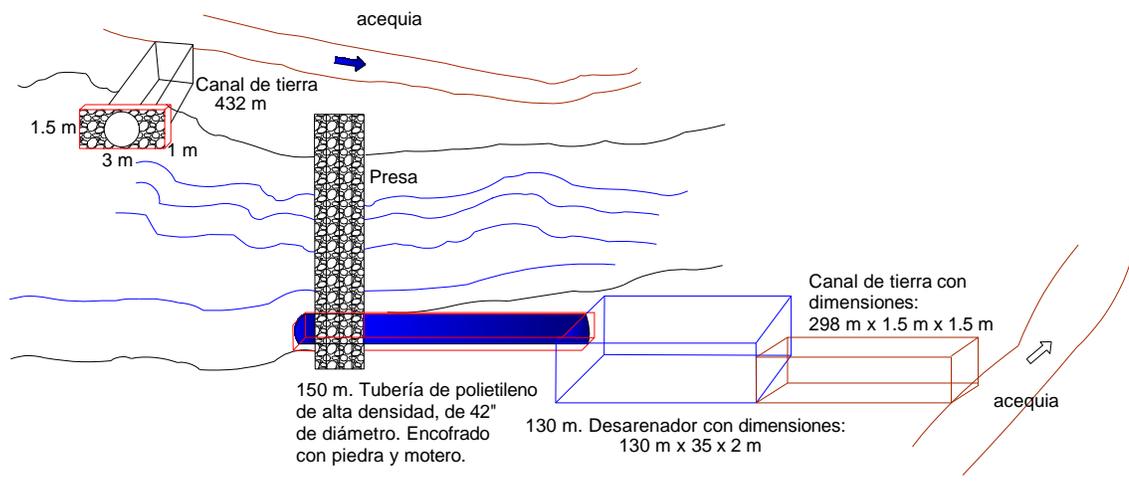
Perfil del terreno en la conducción de la obra de toma del margen derecho.



Perfil del terreno en la conducción de la obra de toma del margen izquierdo.



Las dos conducciones llegan a una sequía, y esta conduce el agua hacia las tierras de cultivo.



Vista del proyecto ejecutado.



Cauce del arroyo San Miguel, donde se construyó la presa derivadora de mampostería.