



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

# DISEÑO DE UN CANAL DE SEDIMENTACIÓN Y DESARENADOR EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ATEXCACO, TEZIUTLÁN, PUEBLA

**Isaac Villegas Rodríguez<sup>1\*</sup>; José Méndez Gómez<sup>1</sup>; Feliciano Villegas Rodríguez<sup>1</sup>; Delfino Reyes López<sup>1</sup>; Pablo Zaldívar Martínez<sup>1</sup>; Raymundo Hernandez Loma<sup>1</sup>; María Fernanda Olivares Tejeda<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Domicilio conocido, San Juan Acateno. C.P. 73800, Teziutlán, Y Complejo Regional Centro, Puebla, México.

<sup>2</sup>Alumno. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Domicilio conocido, San Juan Acateno. Teziutlán, Puebla.C.P. 73800. México

[isaacvillegasr@hotmail.com](mailto:isaacvillegasr@hotmail.com). - 231 112 5797 (\*Autor de correspondencia)

## Resumen

En general el agua es uno de los recursos naturales más importantes relacionados con la calidad de vida de los seres humanos, tiene usos como el de riego y producción de energía hidroeléctrica. El agua lleva grandes cantidades de sólidos en suspensión que afecta la operación de centrales hidroeléctricas. Por esto se efectuó el diseño de cada canal de sedimentación y desarenador, con el objetivo de sedimentar los sólidos en suspensión de las aguas de los canales Talconapan y Calapa de la central hidroeléctrica Atexcaco disminuyendo la velocidad del flujo a 0.35 m/s en el canal. Los canales se diseñaron con una sección rectangular con pendiente lateral y longitudinal, ya que presenta mayor eficiencia de conducción y su mantenimiento es más accesible. Los desarenadores Talconapan y Calapa trabajan en serie para tener mayor volumen de captura de arena, puesto que tenemos limitantes topográficas. Contarán cada uno de 3 zonas, transición de entrada, cuerpo del desarenador y transición de salida.

**Palabras clave adicionales:** velocidad, sedimentación, pendiente, arenas.



## Introducción

Los canales de conducción de las hidroeléctricas deberán tener estructuras hidráulicas que permitan bajar la velocidad del flujo para atrapar los sólidos en suspensión. Los sedimentos que se encuentran en el agua, principalmente la arena, afectan los procesos físicos, mecánicos y eléctricos del sistema de generación de energía eléctrica (Kamaleldin *et al.*, 2010). Para ello se requiere diseñar las obras que generalmente constan de un desarenador y un sedimentador. Los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) el material sólido que va en el agua y este no debe llegar al tanque regulador, turbinas ya que las arenas afectan el funcionamiento de estas. La importancia de tener agua sin sedimentos es para evitar mantenimientos frecuentes al canal, tanque regulador y turbinas, el material sólido se va depositando en el fondo de los canales disminuyendo su sección hidráulica y baja la eficiencia de conducción, esto aumenta el costo anual de mantenimiento y produce molestas interrupciones en el servicio de canal (Restrepo, 2007). Debido a lo anterior en este trabajo se diseñaron canales de sedimentación y desarenador para sedimentar los sólidos en suspensión de las aguas de los canales Talconapan y Calapa en el Proyecto Hidroeléctrico Atexcaco. El porcentaje de sólidos, su granulometría y el volumen de flujo, son factores determinantes para definir el dimensionamiento de un canal desarenador.

## Materiales y métodos

### Ubicación del lugar

El canal de sedimentación y desarenador Talconapan con ByPass del “Proyecto hidroeléctrico Atexcaco”, se localiza en las coordenadas que detalla la Tabla 1.

| <b>Tabla1. Ubicación geográfica del sitio de estudio</b> |           |
|--|-----------|
| <b>Coordenadas geográficas extremas</b>                  |           |
| Latitud Mínima Norte                                     | 19°51'45” |
| Longitud Máxima Oeste                                    | 97°24'05” |
| Latitud Máxima Norte                                     | 19°55'45” |
| Longitud Mínima Oeste                                    | 97°28'49” |

Por otro lado, la figura muestra la ubicación de trazos y planos del canal desaforador en carta topográfica; mientras que la figura 2 presenta el azolve del tanque regulador de la hidroeléctrica.

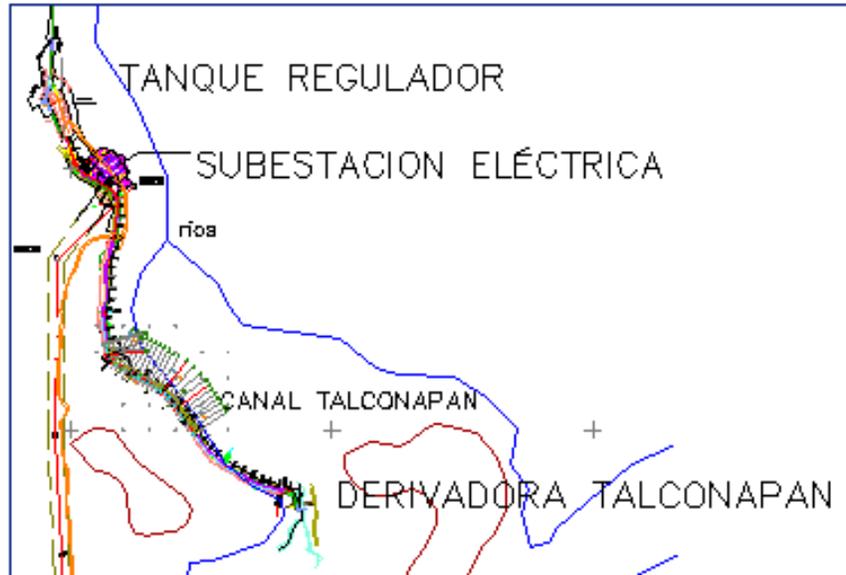


Figura 1. Ubicación de trazos y planos del canal desarenador en carta topográfica.



Figura 2. Azolve tanque regulador

### Orografía

La mayor parte del municipio se localiza dentro de la región morfológica de la sierra norte; sólo el extremo norte a partir de la cota 1,000 pertenece al declive del golfo. El relieve del municipio muestra como característica general un descenso constante, irregular al principio y más homogéneo al final en dirección sur-norte (INEGI, 2005).

### Hidrografía

INEGI (2005) menciona que el municipio de Teziutlán se localiza en la vertiente hidrográfica septentrional del Estado de Puebla, vertiente constituida por las cuencas parciales de los ríos que desembocan en el Golfo de México. El municipio es recorrido por varios ríos permanentes que en general lo bañan de sur a norte, destacan los siguientes: el río Xolóatl, que nace en las estribaciones del cerro Tesivio y recorre el



municipio por más de 15 kilómetros, comunicándose posteriormente al río Las Margaritas afluente del río Viejo que a su vez es tributario del Tecolutla.

### **Clima**

El Municipio se localiza en la transición de los climas templados de la sierra norte, a los cálidos del declive del golfo; se identifican tres climas:

- Clima templado húmedo con lluvias en verano. Se presenta en una pequeña área del extremo sur del municipio.
- Clima templado húmedo con lluvias todo el año. Se intensifica en una franja latitudinal al centro y sur del municipio.
- Clima semicálido húmedo, con abundante lluvias todo el año. Se presenta en el norte del municipio (INEGI, 2005).

### **Información requerida para la obra proyectada**

#### **Velocidad de sedimentación**

La velocidad de sedimentación es la que permite que los sólidos suspendidos decanten al fondo del canal, esta es abajo de  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  (Sparrow, 2008).

#### **Velocidad de entrada y gasto**

Se determinó la velocidad de entrada al canal de sedimentación y el gasto, a través del aforo con el método del molinete, de esta manera se obtuvo el gasto que fluye en el canal y la velocidad.

#### **Cálculo de los sólidos suspendidos**

Para caracterizar los sólidos suspendidos, principalmente arena, se sacaron 6 muestras de agua con sólidos, en los meses de septiembre y octubre del 2011 en el canal Talconapan. Se utilizaron vasos de precipitados para determinar el porcentaje de sólidos arrastrados, se pesaron los vasos en la balanza analítica para determinar su peso, conociendo el peso del vaso se agregaron 100 mL de la muestra. Agregada la muestra al vaso, se colocó en la estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta que se evaporara el agua. Evaporada el agua, se compararon ambos pesos del vaso y la diferencia se expresó como porcentaje de sólidos suspendidos.

#### **Determinación de la granulometría**

Para determinar la granulometría se sacaron muestras de 1 kg de arena sedimentada en el tanque regulador de la central hidroeléctrica Atexcaco en 4 diferentes puntos: Entrada al tanque regulador, mitad tanque regulador, final tanque regulador y entrada a tubería durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2011. Las muestras fueron llevadas a laboratorio, donde se pusieron a secar en la estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Secada la muestra se pesaron 100 g en la balanza granataria para hacer el análisis granulométrico, el cual consistió en hacer pasar la muestra de arena por los tamices del número 10, 40, 60, 140, 200 y 325.



## Las dimensiones del canal desarenador

### Cálculo del ancho o la sección transversal del canal desarenador

- Conociendo el gasto de diseño, velocidad de entrada, velocidad de sedimentación, porcentaje de sólidos arrastrados y la granulometría, se procedió al cálculo de las dimensiones del canal desarenador, utilizando la fórmula de canales de Manning, despejando el área hidráulica se determinó la sección hidráulica del canal.

$$Q = \frac{1}{n} c A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Donde:

Q= gasto,  $m^3 s^{-1}$

n= coeficiente de rugosidad para concreto, a dimensional

c=coeficiente de conversión de unidades =  $1 m^{1/3}s^{-1}$

A= área hidráulica, o sección transversal,  $m^2$

R= radio hidráulico, m

S= pendiente, a dimensional

### Cálculo del largo del canal desarenador

- Conociendo el ancho o sección transversal que nos dio la velocidad de sedimentación, se utilizó la fórmula de Owens (s/a) para calcular la longitud del tanque.

$$L = \frac{A VE}{0.16 V_s} \quad (2)$$

Donde:

L= longitud del canal desarenador, m

A= ancho o sección hidráulica del canal desarenador, m

VE= velocidad de entrada,  $m s^{-1}$

Vs= Velocidad de sedimentación,  $m s^{-1}$

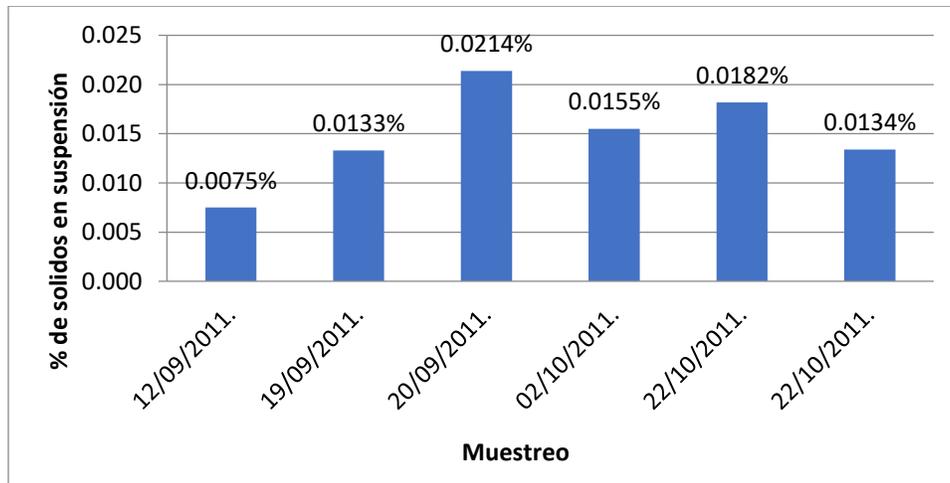
0.16=Factor de conversión de unidades

- La profundidad del desarenador depende de la relación volumen de sedimentación y de la frecuencia del mantenimiento del desarenado.
- Se determinaron los volúmenes de obra y el catálogo de actividades para la construcción del desarenador y sedimentador Talconapan.
- Se realizaron los planos del diseño hidráulico y estructural del desarenador y sedimentador Talconapan.,y Calapa

## Análisis y discusión de resultados

### Características de los sólidos suspendidos

Después de analizar las muestras de sólidos suspendidos del canal Talconapan se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se detallan en la Figura 3.

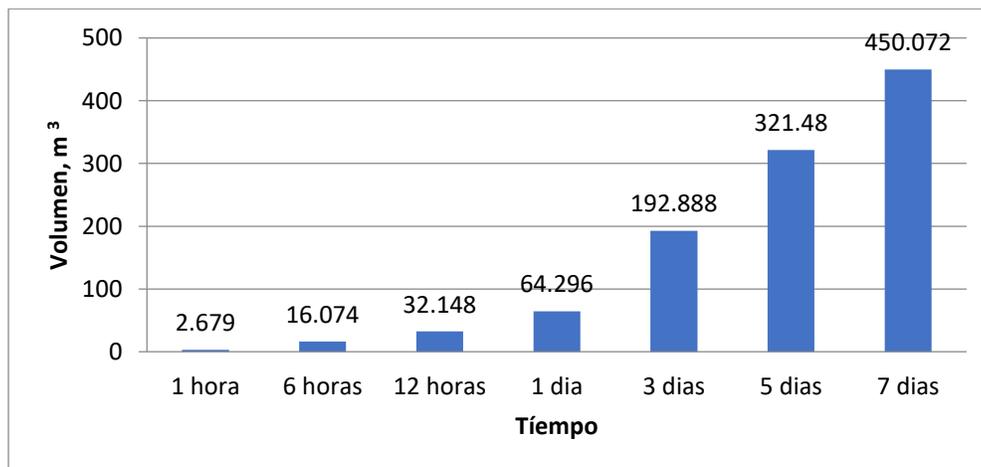


**Figura 3.** Porcentaje de sólidos en suspensión en agua de las muestras del canal Talconapan.

Se puede observar en la Figura 3 que el porcentaje de arrastre en sólidos varía de 0.0075% a un 0.0214%, en el canal Talconapan, sumando los 6 muestreos nos da un total de 0.0893% dividiendo esta cantidad entre el número de muestras (seis) nos da un porcentaje promedio de 0.0148%.

#### Determinación del volumen acumulado de arena

Con el promedio de porcentaje de sólidos arrastrados de 0.0148%, se determinó el volumen de arena acumulado y el tiempo en días, en el tanque regulador de la central hidroeléctrica Atexcaco, como lo muestra la Figura 4.



**Figura 4.** Volumen acumulado de arena durante un periodo de 1 hora a 7 días.

#### Granulometría

Se determinaron las características del tamaño de la arena a sedimentar, el tamaño de la partícula influye en la velocidad de diseño. La malla que más retuvo arenas fue la número 100 en donde solo deja pasar el 37.07% de partículas menores de 0.149 mm, que son las partículas que no causarían daños de mayor importancia en los procesos



físicos, mecánicos y electrónicos tal como lo menciona Sparrow (2008), que las partículas que mayor daño causan son los de diámetro mayor a 0.25 mm, ver Tabla 2.

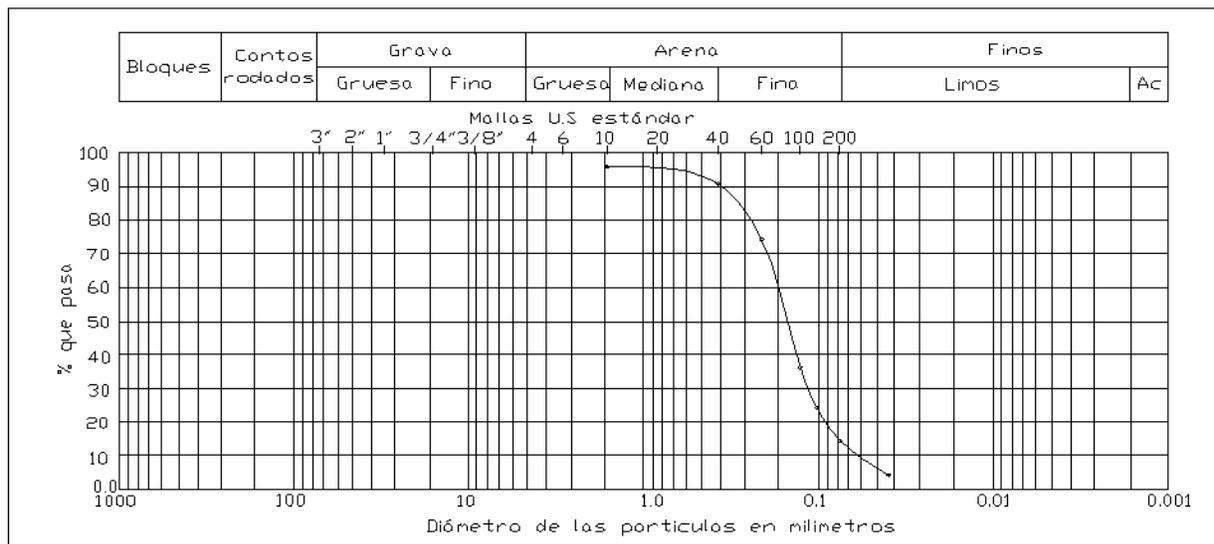
**Tabla 2.** Caracterización granulométrica de la muestra 5 tomada el 16 de octubre de 2011 a la mitad del tanque regulador.

| N° de Malla  | Apertura (mm) | Retención (g) | % RP  | % RA   | % QP  |
|--------------|---------------|---------------|-------|--------|-------|
| 10           | 2.000         | 3.60          | 3.61  | 3.61   | 96.39 |
| 40           | 0.420         | 5.10          | 5.11  | 8.72   | 91.28 |
| 60           | 0.250         | 17.30         | 17.33 | 26.05  | 73.95 |
| 100          | 0.149         | 36.80         | 36.87 | 62.93  | 37.07 |
| 140          | 0.105         | 12.50         | 12.53 | 75.45  | 24.55 |
| 200          | 0.074         | 10.70         | 10.72 | 86.17  | 13.83 |
| 325          | 0.044         | 9.50          | 9.52  | 95.69  | 4.31  |
| Restante     |               | 4.30          | 4.31  | 100.00 | 0.00  |
| <b>TOTAL</b> |               | <b>99.8</b>   |       |        |       |

%RP= porcentaje retenido en mallas  
 %RA= porcentaje acumulado en mallas  
 %QP= porcentaje que pasa en mallas

Se trazó la gráfica de la curva granulométrica, de la cual se obtuvo que el tamaño de arena que domina, es la retenida en la malla 100 (0.149 mm), teniendo los coeficientes de curvatura y uniformidad, respectivamente y que se muestran en la Figura 5.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
 Facultad De Ingeniería Agronómica  
 Laboratorio De Usos Múltiples Agua Y Suelo



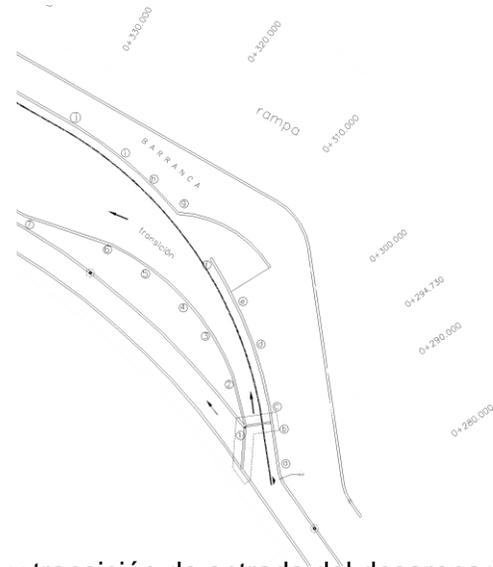
Cu = 3.17  
 Cc = 1.14  
 Lugar: mitad tanque regulador  
 Fecha: 16 octubre 2011  
 Tipo de suelo: arena  
 No muestra: 5

**Figura 5.** Curva de granulometría de la muestra 5 tomada el 16 de octubre de 2011 a la mitad de tanque regulador.

## Diseño hidráulico del desarenador

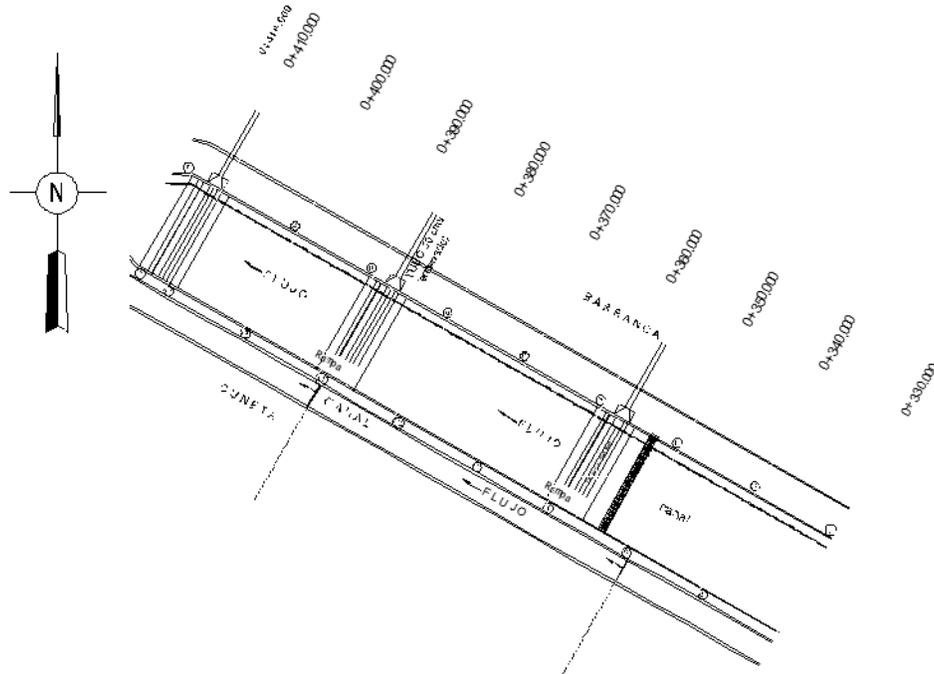
Como resultado de los cálculos, el diseño hidráulico del canal de sedimentación y desarenador, fue con un gasto de diseño de  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , con una pendiente  $S = 0.0006$  y un coeficiente de rugosidad  $n = 0.020$  y una sección rectangular que comienza en el km 0+290 y termina en el km 0+445 y consta de 3 zonas.

Transición de entrada, la cual une el canal con el desarenador. Tiene como función conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad, que esta tiende a disminuir. Inicia en el km 0+294.730 y termina en el km 0+330, una altura de muros de 2.20 m y tendrá una compuerta rectangular deslizable de 2.70 m de ancho por 1.50 m de altura una en el Bia pas y otra al canal desarenador (Figura 6)



**Figura 6.** Entrada del canal desarenador (derecha) y transición de entrada del desarenador (izquierda).

La figura 6 se muestran la transición de entrada del desarenador de la cámara de sedimentación, en la cual las partículas sólidas caen al fondo, debido a la disminución de la velocidad producida que debe ser inferior de  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  por el aumento de la sección transversal. Parte de la estructura en la cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad trabaja en serie. Inicia en el km 0+330 y termina en el km 0+414, y una altura de muros de la margen izquierda de 2.20 m y de la margen derecha de 2.90 m, cuenta con 3 compuertas laterales con un diámetro de 50 cm que permitirán retirar la arena o dar mantenimiento (Figura 7).



**Figura 7.** Cámara de sedimentación.



**Figura 8.** Canal Calapa (derecha) y canal Talconapan (izquierda).

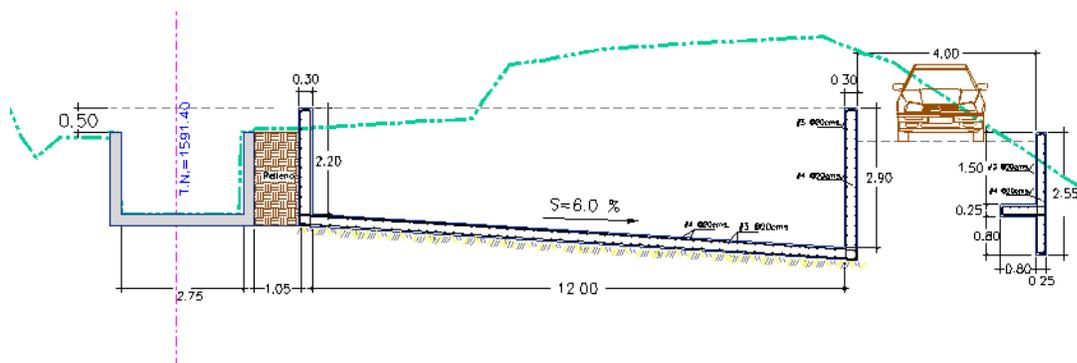
La Figura 7 la cámara de sedimentación muestra la transición de salida, la cual une al desarenador con el canal. Su función es lograr que el agua pase de la sección del desarenador a la sección del canal. Inicia en el km 0+414 y termina en el km 0+445.20, una altura de muros de 2.20 m y una compuerta de control de 2.70 m de ancho por 1.50 m de altura y rampa (Figura 9).



**Figura 9.** Salida del desarenador y rampa de acceso.

### Sección tipo del canal desarenador

La Figura 10 muestra el resultado del diseño del desarenador donde se tiene un ancho de 12 m por una longitud de 84 m, en la cual se obtendrá una velocidad menor a  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  para un gasto de  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , ocupando el modelo de Manning, (Sparrow, 2008). La pendiente transversal del 6%, permitirá retirar las arenas con mayor eficiencia con determinado gasto.



**Figura 10.** Sección transversal del desarenador, indica altura de muros y la pendiente

### Conclusiones

El diseño de un canal de sedimentación y desarenador depende principalmente de gasto de diseño, de la topografía del lugar, tamaño de los sedimentos en suspensión y la velocidad del flujo que debe ser cercana a  $0.3 \text{ m/s}$  la cual es variable dentro del canal de sedimentación y desarenador lo cual se logra con la pendiente transversal mayor al 6%



Actualmente el funcionamiento de los desarenadores se ha tenido volúmenes entre 700 y 1200m<sup>3</sup> de arena en un periodo de cada 30 días. Lo que representa una eficiencia de atrape de sedimentos de arena del 91%.

### Referencias Bibliográficas

- ACI 318 S-08. 2008. Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario.
- Anaya G. M., Martínez M. M. R., Trueba C. A., Figueroa S. B y Fernández M. O. 1981. Manual de Conservación del suelo y del agua. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- Bandii, M. H.; J. Landeros y E. Cerna. 2008. El recurso de agua y sustentabilidad. International Journal Of GoodConscience. Vol. 3. Núm. 1.
- Campos, A. 2008. Estimación probabilística del volumen de acarreo en suspensión en cuencas sin aforos de la Región Hidrológica. Redalyc. Vol 10. Núm. 3 (Sinaloa).
- Castro, A. 2006. Minicentrales Hidroeléctricas. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid. pp. 174.
- Carta Topográfica de Teziutlán, Puebla clave E14B15, escala 1:50000, INEGI, 2000.
- CEPIS, 2005. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Organización Panamericana de la Salud. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Lima.
- Crane, M. 2005. Producción y distribución de energía eléctrica. Industrias Basadas en Recursos Naturales.
- Comisión Federal De Electricidad. 2006. IV Foro Mundial Del Agua. Uso y Aprovechamiento Del Agua Para La Generación De Energía Eléctrica.
- García, F. M. y J.A. Maza A. 1998. Manual de Ingeniería de Ríos. Cap.7. Origen y Propiedades de los Sedimentos. Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Gómez, .R. M. 2007. Las presas hidroeléctricas un reto para la sustentabilidad de las cuencas de México. Posgrado y Colegio de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM.
- ICCA, 1983. Instituto interamericano cooperación para la agricultura, VII seminario latinoamericano de Irrigación.
- INEGI, 2005. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática, Aguascalientes, México. 132pp.
- Kamaleldin, E. B., Eltahir, O. E., Sami, A. F., Alnazir, S. A., Muna, m., y Ishraqa, O. S. 2010. Nile Basin Reservoir Sedimentation Prediction and Mitigation.



Mendoza, R. J. A., Montañés, S. M.T., Palomares, G. A. E., 1998. Ciencia y Tecnología Del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.

Morris, G.L., Fan J. Reservoir Sedimentation Hand book. Chapter 5: Sediment properties, pp.5.1–5.28 and chapter 7: Sediment yield from watersheds, pp 7.1–7.44. McGraw–Hill Companies, Inc. New York, USA. 1998.

Murgueza, D. 2002. Micro centrales hidroeléctricas. pp 81.

Norma Técnica Complementaria Al Reglamento del Distrito Federal. 2010. Distrito federan NTC-002-SPCDF-PV-2010.

Ortiz, Solorio, M.L.M., M. Anaya Garduño y J. Estrada Berg Wolf. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Colegio de Postgraduados-CONAZA. México.

Quintero, B. K. B. 2009. Metodologías de diseño de obras hidráulicas en estudios de pre factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas. Tesis de licenciatura.