

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular

Tema: Implementación de un desarenador para la Central Hidroeléctrica San José de Minas.

AUTOR:

Bryan Daniel López Molina

QUITO DM, abril DE 2024

Tabla de contenido

1. Capítulo I: Introducción.....	4
1.1. Justificación.....	4
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Alcance.....	5
2. Fundamentación teórica.....	5
2.2 Energía hidroeléctrica	5
2.3 Desarenador	6
2.4 Información básica para el diseño	6
2.5 Clasificación de los desarenadores	8
2.6 Elementos de un desarenador	9
2.6.1 Transición o entrada.....	9
2.6.2 Cámara de sedimentación.....	9
2.6.3 Vertedero.....	10
2.6.4 Compuerta de lavado o fondo.....	11
2.6.5 Canal directo	12
2.7 Consideraciones para el diseño hidráulico.....	12
2.7.1 Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar	12
2.7.2 Cálculo de la velocidad de flujo v en el tanque.....	14
2.7.3 Cálculo de la velocidad de caída w (en aguas tranquilas).....	14
2.7.4 La fórmula de Scotti – Foglieni.....	16
2.7.5 Cálculo de dimensiones del tanque	16
2.7.6 Proceso de cálculo de dimensiones del tanque.....	18
2.7.7 Cálculo de la longitud de la transición.....	19
2.8 TIPOS DE TURBINAS.....	19
3. Diseño del desarenador.....	21
3.1 Características de la central	21
3.1.1 Tenemos algunas restricciones para la implantación del desarenador en la central:	22
3.2 Cálculo del desarenador	24
3.2.1 Diámetro de la partícula que deseamos sedimentar	24
3.2.2 Cálculo de la velocidad de flujo v en el tanque.....	24
3.2.3 Cálculo de la velocidad de caída w	25
3.2.4 Cálculo de las dimensiones del tanque	27

3.3	Recomendaciones de diseño final.....	28
4.	Resultados y planos.....	28
4.1.	Criterios de diseño.....	28
4.2	Resultados del desarenador.....	29
4.1	Cuantificación de los planos obtenidos	31
4.2	Cronograma para la implementación del desarenador	33
5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	36
5.1.	Conclusiones.....	36
5.2.	Recomendaciones	38
6.	Bibliografía	40

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1	Central Hidroeléctrica Coca codo Sinclair Fotografía sacada de Google fotos	6
Ilustración 2.	Elementos de un desarenador típico.....	9
Ilustración 3	Turbina Francis.....	20
Ilustración 4	Turbina Pelton.....	21
Ilustración 5	Turbina Kaplan	21
Ilustración 6	Posible ubicación del desarenador	22
Figura 1.	Desarenador convencional.....	7
Figura 2.	Desarenador (Planta y Corte longitudinal)	7
Figura 3	(vista en planta captación y posible ubicación del desarenador)	23

Índice de tablas

Tabla 1	diámetro de partículas en función de la altura de caída	13
Tabla 2	diámetro de partículas en función del tipo de turbinas.....	13
Tabla 3	Valores de la constante a en función del diámetro de la partícula.....	14
Tabla 4	Velocidades de sedimentación w calculado por Arkhangelski (1953) en función del diámetro de partículas).....	15
Tabla 5	Valores de la constante k.....	15

1. Capítulo I: Introducción

1.1. Justificación

La existencia de sedimentos en el río genera problemas, ya que, al tener una captación directa, esta no recibe tratamiento. Por lo tanto, es esencial para el proyecto llevar a cabo un diseño adecuado de un desarenador para gestionar los sedimentos presentes en la toma de agua cruda.

La presencia de partículas como arena y sedimentos en el agua que fluye hacia la CHSJM (Central Hidroeléctrica San José de Minas) constituye una preocupación sustancial debido a sus potenciales efectos adversos en la integridad y el rendimiento de los componentes críticos de la infraestructura. En este contexto, es importante abordar de manera proactiva los riesgos asociados con el desgaste prematuro de las turbinas, las bombas y otros elementos esenciales para el funcionamiento eficiente de la central hidroeléctrica.

1.2. Planteamiento del problema

La central está ubicada en el río Cubi en el cual existe muchos sólidos (arenas y gravas), al inicio del estudio se planteó la colocación de una malla coanda para retener todos estos sólidos, sin embargo, al entrar en funcionamiento la central hidroeléctrica se dieron cuenta que la malla coanda no era suficiente para retener todos los sólidos que este río transporta, estos sólidos al ingresar al canal de captación de la central y llegar a las turbinas, producen un desgaste en ellas.

En un principio los estudios sugerían un cambio de turbinas cada 5 años, sin embargo, el desgaste prematuro de las turbinas ha ocasionado que se las tenga que cambiar cada año, por lo que representa un gasto gigante para el presupuesto de la Central, es por esta razón que se busca implementar el desarenador para recudir este gasto.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un desarenado para la Central Hidroeléctrica San José de Minas

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la disposición de los componentes del desarenador en la zona del canal de conducción.
- Diseñar las estructuras Hidráulicas del desarenador.
- Cuantificar el volumen de obra para realizar la programación de ejecución del desarenador.
- Planificar las obras del desarenador para reducir el tiempo de paralización de la operación de la central, para poder acoplar las nuevas obras a las actualmente construidas.
- Evaluar financieramente la propuesta de la obra del desarenador.

1.4. Alcance

En el presente trabajo se enfocará en el diseño de un desarenador para la zona del canal de conducción de la Central hidroeléctrica San José de Minas, producto de los antecedentes brindados por la central hidroeléctrica. Recopilación de información topográfica de la zona, datos hidrológicos, la cual será proporcionada por la central.

2. Fundamentación teórica

2.2 Energía hidroeléctrica

Los seres humanos llevan siglos aprovechando la energía de las corrientes fluviales, utilizando ruedas hidráulicas giradas por los ríos inicialmente para procesar granos y telas. Hoy en día, la

energía hidroeléctrica proporciona alrededor del 16 % de la electricidad mundial. (NUNEZ, 2010)

La energía hidroeléctrica ha desempeñado un papel clave y creciente en el mix eléctrico de Ecuador al desplazar a los combustibles fósiles y ayudar a satisfacer la mayor demanda nacional de electricidad. En 2011, la energía hidroeléctrica representaba el 55% del mix eléctrico del país, y la electricidad procedente de combustibles fósiles, el 43%. En 2021, la energía hidroeléctrica producirá el 79% de la electricidad de Ecuador, y los combustibles fósiles menos del 20%. (Roca, 2023)



Ilustración 1 Central Hidroeléctrica Coca codo Sinclair Fotografía sacada de Google fotos

2.3 Desarenador

Los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para separar (decanar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal (agua, 2010)

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm. (OPS, 2005)

2.4 Información básica para el diseño

La información básica para el diseño es la siguiente (OPS, 2005)

- a) Caudal medio
- b) Caudal máximo
- c) Carga superficial
- d) Velocidad de sedimentación requerida
- e) Contenido de sólidos (aunque se puede caracterizar según valores típicos considerando la procedencia del agua)

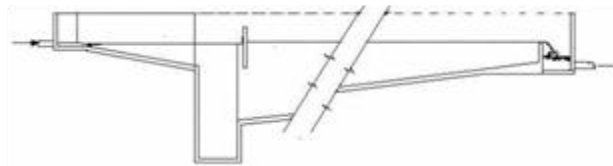


Figura 1. Desarenador convencional

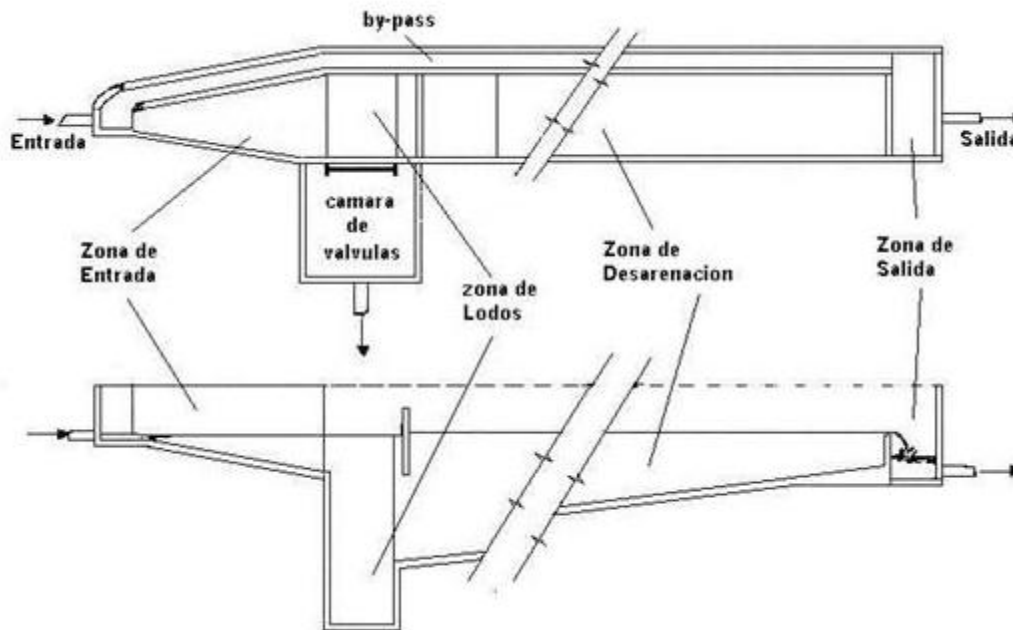


Figura 2. Desarenador (Planta y Corte longitudinal)

2.5 Clasificación de los desarenadores

2.5.1 En función a su operación

- a) Desarenadores de purga continua, aquellos en los que las partículas decantadas son inmediatamente removidas y evacuadas por un permanente caudal de lavado, que evita que éstas queden depositadas en el desarenador. (Bustos, 2015)

- b) Desarenadores de purga discontinuos o intermitente, aquellos en los que los sedimentos decantados se almacenan temporalmente en la(s) nave(s) de desarenación, para luego ser removidos y evacuados mediante operaciones de purga que se efectúan periódicamente. (Bustos, 2015)

2.5.2 En función a la velocidad de escurrimiento

- a) Se considera de baja velocidad, cuando la velocidad media de la corriente en el desarenador se encuentra entre 0.20 y 0.60 m/s. Estos desarenadores garantizan la remoción de partículas finas. (Bustos, 2015)

- b) Se considera de alta velocidad, cuando la velocidad media de la corriente en el desarenador se encuentra entre 0.60 y 1.50 m/s. Estos desarenadores sólo garantizan la remoción de partículas medias o gruesas de material. (Bustos, 2015)

2.5.3 Por disposición de las naves de desarenación

- a) En serie: desarenadores conformados por dos o más depósitos construidos uno a continuación del otro. (Bustos, 2015)

- b) En paralelo: desarenadores conformados por dos o más depósitos distribuidos paralelamente y diseñados para que cada uno de ellos opere con una fracción del caudal total derivado para la C.H. (Bustos, 2015)

2.6 Elementos de un desarenador

Los elementos básicos de un desarenador son los siguientes:

- Transición de entrada
- Cámara de sedimentación
- Vertedero
- Sistema o compuerta de lavado
- Canal directo o bypass (Bustos, 2015)

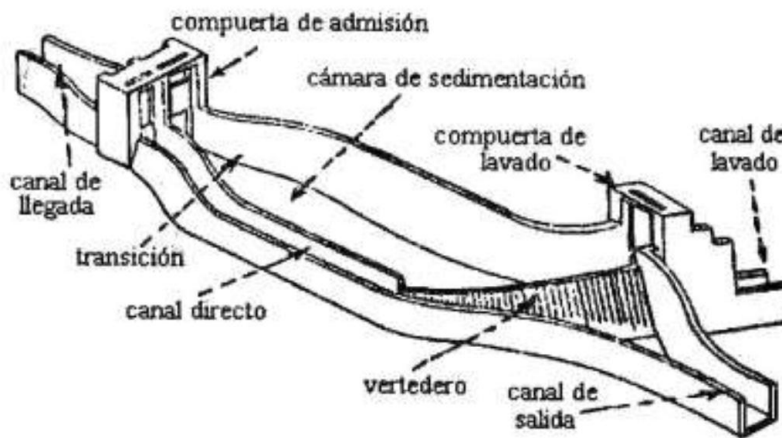


Ilustración 2. Elementos de un desarenador típico

2.6.1 Transición o entrada

Une el canal con el desarenador (agua, 2010)

2.6.2 Cámara de sedimentación

Lugar en el cual las partículas sólidas caen al fondo, debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de la sección transversal. Según Dubuat, las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversas materias son (agua, 2010).

- Para arcilla 0.081 m/s
- Para arena fina 0.16 m/s
- Para arena gruesa 0.216 m/s

De acuerdo con lo anterior, la sección transversal de un desarenador se diseña para velocidades que varían entre 0.1 m/s y 0.4 m/s con una profundidad media de 1.5 m a 4 m. Observar que,

para una velocidad elegida y un caudal dado, una mayor profundidad implica un ancho menor y viceversa. (agua, 2010)

La forma de la sección transversal puede ser cualquiera, aunque generalmente se escoge una rectangular o una trapezoidal simple o compuesta. La primera simplifica considerablemente la construcción, pero es relativamente cara pues las paredes deben soportar la presión de la tierra exterior y se diseñan por lo tanto como muros de sostenimiento. La segunda es hidráulicamente más eficiente y económica pues las paredes trabajan como simple revestimiento. Con el objeto de facilitar el lavado, concentrando las partículas hacia el centro, conviene que el fondo no sea horizontal si no que tenga una caída hacia el centro. La pendiente escogida es de 1:5 a 1:8 (agua, 2010)

2.6.3 Vertedero

Al final de la cámara se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal. Las capas superiores son las que primero se limpian, es por esto por lo que la salida del agua desde el desarenador se hace por medio de un vertedero, que hasta donde sea posible debe trabajar con descarga libre. (agua, 2010).

También mientras más pequeña sea la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión arrastran. Como máximo se admite que esta velocidad puede llegar a $v=1$ m/s (agua, 2010).

De la ecuación de Francis para un vertedero rectangular sin contracciones, se tiene:

$$Q = C \cdot L \cdot h^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

C = 1.84 (para vertederos de cresta aguda)

C = 2.00 (para vertederos de perfil Creager)

L = longitud de la cresta (m)

h = carga sobre el vertedero (m)

Siendo el área hidráulica sobre vertedero:

$$A = L h$$

La velocidad, por la ecuación de continuidad, será:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{C \cdot L \cdot h^{\frac{2}{3}}}{L \cdot h} = C \cdot h^{\frac{1}{2}}$$

Y la carga sobre el vertedero

$$h = \left(\frac{v}{C} \right)^2$$

Donde para los valores de v y C , se puede concluir que el máximo valor de h no debería pasar de 25 cm. (agua, 2010)

Casi siempre el ancho de la cámara de un desarenador no es suficiente para construir el vertedero recto y perpendicularmente a la dirección del agua. Por esto se ubica una curva que comienza en uno de los muros laterales y continua hasta cerca de la compuerta de desfogue. Esta forma facilita el lavado permitiendo que las arenas sigan trayectorias curvas y al mismo tiempo el flujo espiral que se origina las alejas del vertedero. (agua, 2010)

2.6.4 Compuerta de lavado o fondo

Sirve para desalojar los materiales depositados en el fondo. Para facilitar el movimiento de las arenas hacia la compuerta, al fondo del desarenador se le da un gradiente fuerte del 2% al 6%. El incremento de la profundidad obtenido por efecto del gradiente no se incluye en el tirante de cálculo, sino que el volumen adicional obtenido se lo toma como deposito para las arenas sedimentadas entre dos lavados sucesivos. (agua, 2010)

Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de los sedimentos que trae el agua para asegurar una adecuada capacidad del desarenador y no necesita lavarlo con demasiada frecuencia (agua, 2010)

Para lavar una cámara del desarenador se cierran las compuertas de admisión y se abren las de lavado con lo que el agua sale con gran velocidad arrastrando la mayor parte de los sedimentos. Entre tanto el caudal normal sigue pasando al canal sea a través del canal directo o a través de otra cámara del desarenador. (agua, 2010)

Para lavar una cámara del desarenador, se abren parcialmente las compuertas de admisión y el agua que circula con gran velocidad sobre los sedimentos que han quedado, erosionándolos y completando el lavado (en forma práctica, el operario se puede ayudar de una tabla para direccionar el agua, a fin de expulsar los sedimentos del desarenador). Generalmente, al lavar un desarenador, se cierran las compuertas de admisión. Sin embargo, para casos de emergencia el desarenador debe vaciarse inclusive con las compuertas abiertas. Por este motivo las compuertas de lavado deben diseñarse para un caudal igual al traído por el canal más el canal

de lavado que se obtiene dividiendo el volumen del desarenador para el tiempo de lavado. (agua, 2010)

Hay que asegurarse que el fondo de la o las compuertas este más alto que le punto del rio al cual se conducen las aguas de lavado y que la ardiente sea suficiente para obtener una velocidad capaz de arrastrar las arenas. (agua, 2010).

Se considera que para que el lavado pueda efectuarse en forma rápida y eficaz esta velocidad debe ser de 3 – 5 m/s. (agua, 2010).

Muchas veces, esta condición además de otras posibles de índole topográfica, impiden colocar al desarenador, inmediatamente después de la toma que es la ubicación ideal, obligando desplazarlo aguas abajo en el canal. (agua, 2010).

2.6.5 Canal directo

Por el cual se da servicio mientras se está lavando el desarenador. El lavado se efectúa generalmente en un corto tiempo, pero con cualquier motivo, reparación o inspección, es necesario secar la cámara del desarenador y la otra al canal directo. (agua, 2010)

En el caso de ser el desarenador de dos o más cámaras, el canal directo ya no es necesario pues una de las cámaras trabaja con un caudal total mientras la otra se lava. (agua, 2010)

2.7 Consideraciones para el diseño hidráulico

2.7.1 Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar

- Los desarenadores se diseñan para un determinado diámetro de partícula, es decir, que se supone que todas las partículas de diámetro superior al escogido deben depositarse. Por ejemplo, el valor del diámetro máximo de partícula normalmente admitido para las plantas hidroeléctricas es de 0.25 mm. En los sistemas de riego generalmente se acepta hasta un diámetro de 0.5 mm (agua, 2010).
- Se debe tener en cuenta el usar convenientemente la curva granulométrica representativa del material en suspensión y fondo para un periodo de retorno equivalente a criterio del diseñador (se sugiere 50 años). Información básica necesaria para determinar la cámara

de colmatación, determinación del periodo de purga y el porcentaje de material en suspensión que no podrá ser retenido. (agua, 2010).

- Para el uso en la agricultura, el diámetro mínimo de la partícula a eliminar sería de 0.5 mm, y para energía 0.2 mm. Para proyectar la decantación del material de material sólido de diámetro menor, el diseñador deberá utilizar otras técnicas sobre la base de experiencias que permitan garantizar la eficiencia de la retención. (agua, 2010).
- También se debe prever a que lugares se va a orientar o depositar los materiales decantados. (agua, 2010)
- La sección más eficiente para decantar resulta, ser compuesta por paredes verticales en la parte superior y trapecial en la parte inferior. (agua, 2010)
- En sistemas hidroeléctricos el diámetro puede calcularse en función de la altura de caída como se muestra en la **tabla 1**, o en función del tipo de turbina como se muestra en la **tabla 2**. (agua, 2010)

Tabla 1 diámetro de partículas en función de la altura de caída

Diámetro de partículas (d) que son retenidas en el desarenador (mm)	Altura de caída (H) (m)
0.6	100 – 200
0.5	200 – 300
0.3	300 – 500
0.1	500 - 1000

Tabla 2 diámetro de partículas en función del tipo de turbinas

Diámetro de partículas (d) a eliminar en el desarenador (mm)	Tipo de turbina
1 – 3	Kaplan
0.4 – 1	Francis
0.2 – 0.4	Pelton

2.7.2 Cálculo de la velocidad de flujo v en el tanque

La velocidad en un desarenador se considera lenta, cuando está comprendida entre 0.20 m/s a 0.60 m/s. La elección puede ser arbitraria o puede realizar utilizando la fórmula de Campo.

$$v = a\sqrt{d} \text{ (cm/s) (agua, 2010)}$$

Donde:

d = diámetro (mm)

a = constante en función del diámetro

Tabla 3 Valores de la constante a en función del diámetro de la partícula

a	d (mm)
51	< 0.1
44	0.1 - 1
36	> 1

2.7.3 Cálculo de la velocidad de caída w (en aguas tranquilas)

Para este aspecto, existen varias fórmulas empíricas, tablas y nomogramas, algunas de las cuales consideran:

- Peso específico del material a sedimentar (ρ_s): gr/cm³ (medible)
- Peso específico del agua tributaria (ρ_w): gr/cm³ (medible)

Así se tiene:

- **Tabla 4** preparada por Arkhangelski, la misma que permite calcular w (cm/s) en función del diámetro de partículas d (en mm)
- La experiencia generando por Sellerio, la cual se muestra en el nomograma de la **figura 3**, la misma que permite calcular w (en cm/s) en función del diámetro d (en mm).
- La fórmula de Owens:

$$w = k\sqrt{d(\rho_s - 1)}$$

Donde:

w = velocidad de sedimentación (m/s)

d = diámetro de partículas (m)

ρ_s = peso específico del material (g/cm^3)

k = constante que varía de acuerdo con la forma y naturaleza de los granos, sus valores se muestran en la tabla 4

Tabla 4 Velocidades de sedimentación w calculado por Arkhangelski (1953) en función del diámetro de partículas)

d (m)	W (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

Tabla 5 Valores de la constante k

Forma y naturaleza	k
Arena esférica	9.35
Granos redondeados	8.25
Granos cuarzo $d > 3$ mm	6.12
Granos cuarzo $d < 0.7$ mm	1.28

2.7.4 La fórmula de Scotti – Foglieni

$$w = 3.8 \sqrt{d} + 8.3 d$$

Donde:

w = velocidad de sedimentación (m/s)

d = diámetro de la partícula (m)

Para el cálculo de w de diseño, se puede obtener del promedio de los w_s con los métodos enunciados anteriormente. En algunos casos puede ser recomendable estudiar en el laboratorio la fórmula que rija las velocidades de caída de los granos de un proyecto específico (agua, 2010)

2.7.5 Cálculo de dimensiones del tanque

1. **Despreciando el efecto del flujo turbulento sobre la velocidad de sedimentación, se puede plantear las siguientes relaciones:**

Caudal: $Q = b h v \rightarrow$ ancho del desarenador:

$$b = \frac{Q}{kv} \quad (8)$$

Tiempo de caída:

$$w = \frac{h}{t} \rightarrow t = \frac{h}{w} \quad (9)$$

Tiempo de sedimentación:

$$v = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{v} \quad (10)$$

De donde la longitud, aplicando la teoría simple de sedimentación es:

$$L = \frac{hv}{w} \quad (11)$$

2. **Considerando los efectos retardatorios de la turbulencia**

Con el agua en movimiento la velocidad de sedimentación es menor e igual a $w - w'$, donde w' es la reducción de la velocidad por efectos de la turbulencia. (agua, 2010)

Luego, la ecuación (11) se expresa

$$L = \frac{hv}{w-w'} \quad (12)$$

En la cual se observa que manteniendo las otras condiciones constantes la ecuación (12) proporciona mayores valores de la longitud del tanque que la ecuación (11).

Eghiazaroff, expresó la reducción de la velocidad como:

$$w' = \frac{v}{5.7+2.3h} \text{ m/s} \quad (13)$$

Levin, relacionó esta reducción con la velocidad de flujo con un coeficiente:

$$w' = \alpha v \text{ m/s} \quad (14)$$

Bastelli et al, considera:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}} \quad (15)$$

Donde **h** se expresa en **m**.

En el cálculo de los desarenadores de bajas velocidades se puede realizar una corrección, mediante el coeficiente K, que varía de acuerdo con las velocidades de escurrimiento en el tanque, es decir: (agua, 2010)

$$L = K \frac{hv}{w} \quad (16)$$

Donde se obtiene de la **tabla 6**.

Tabla 6 Coeficiente para el cálculo de desarenadores de baja velocidad

Velocidad de escurrimiento (m/s)	K
0.20	1.25
0.30	1.50
0.50	2

En los desarenadores de altas velocidades, entre 1 m/s a 1.50 m/s Montagre, precisa que la caída de los granos de 1mm están poco influenciados por la turbulencia, en el valor K en términos del diámetro, se muestra en la **tabla 7**. (agua, 2010)

Tabla 7 Coeficiente para el cálculo de desarenadores de alta velocidad

Dimensiones de las partículas a eliminar d (mm)	K
1	1
0.50	1.3
0.25 – 0.30	2

El largo y el ancho de los tanques pueden en general, construirse a más bajo costo que las profundidades, en el diseño se deberá adoptar la mínima profundidad práctica, la cual para velocidades entre 0.20 y 0.60 m/s puede asumirse entre 1.50 y 4.00 m. (agua, 2010)

2.7.6 Proceso de cálculo de dimensiones del tanque

Según el “Manual: criterio de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico”, El proceso de cálculo se puede realizar de la siguiente manera:

a. Asumiendo una profundidad (por ejemplo, $h = 1.50$ m)

a.1 Aplicando la teoría de simple sedimentación

- Calcular la longitud con la ecuación:

$$L = K \frac{hv}{w}$$

- Calcular el ancho de desarenador con la ecuación:

$$b = \frac{Q}{kv}$$

- Calcular el tiempo de sedimentación con la ecuación:

$$t = \frac{h}{w}$$

- Calcular el volumen de agua conducido en ese tiempo con la ecuación

$$V = Q t$$

- Verificar la capacidad del tanque con la ecuación:

$$V = b h L$$

a.2 Considerando los efectos retardatorios de la turbulencia

- Calcular α , según Bastelli el al:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}}$$

- Calcular w' , según Levín:

$$w' = \alpha v$$

- Calcular w' , según Eghiazaroff:

$$w' = \frac{v}{5.7+2.3h}$$

- Calcular la longitud L utilizando la ecuación:

$$L = \frac{hv}{w-w'}$$

Para valores de w' obtenidos de las ecuaciones de Bestelli y Eghiazaroff

- Calcular L, corregida según la ecuación:

$$L = K \frac{hv}{w}$$

- De los valores de L obtenidos, elegir uno de ellos.
- Definido h, b, y L se tienen las dimensiones del tanque del desarenador.
- Para facilidad del lavado, al fono del desarenador se dará una pendiente del 2%. Esta inclinación comienza al finalizar la transición.

2.7.7 Cálculo de la longitud de la transición

La transición debe ser hecha lo mejor posible, pues la eficiencia de la sedimentación depende de la uniformidad de la velocidad en la sección transversal, para el diseño se puede utilizar la fórmula de Hind: (agua, 2010)

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2tg 22.5^\circ} \quad (17)$$

Donde:

L = longitud de transición

T1 = espejo de agua del desarenador

T2 = espejo de agua en el canal

2.8 TIPOS DE TURBINAS

Hay tres tipos principales de turbina, dependiendo del caudal de agua y de la diferencia de altura son la turbina Francis, la turbina Pelton y la turbina Kaplan.

- La turbina Francis fue desarrollada en 1848 por el ingeniero francés James B. Francis y es el tipo de turbina hidráulica más utilizado. Es una turbina de flujo centrípeto en la que el agua llega al rotor a través de un conducto en espiral; después, un rodillo en la parte fija dirige el caudal para invertir las palas del rotor. Se utiliza para saltos de altura media (de 10 a 400 metros) y caudales de agua de 2 a 100 metros cúbicos por segundo. (Enel Green Power, 2023)

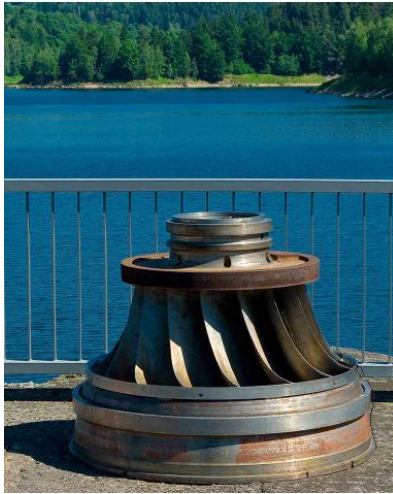


Ilustración 3 Turbina Francis

- La turbina Pelton fue introducida en 1879 por el carpintero e inventor americano Lester Allan Pelton. Su principio de funcionamiento refleja el de la clásica noria con paletas de los antiguos molinos de agua, reelaborada para aumentar su eficiencia: el agua se transporta a la tubería forzada, que cuenta con una boquilla en el extremo, una obturación que aumenta la velocidad del agua. El chorro de agua que sale de la boquilla golpea las palas del rotor, que tienen forma de cuchara. La turbina Pelton se utiliza para grandes saltos (entre 300 y 1400 metros) y caudales de menos de 50 metros cúbicos por segundo, con el fin de obtener mayores velocidades. (Enel Green Power, 2023)



Ilustración 4 Turbina Pelton

- La turbina Kaplan, que vio la luz en 1913 gracias al profesor austriaco Viktor Kaplan, sigue el principio de las hélices de un barco. La turbina Kaplan es una turbina de tipo axial en la que el caudal de agua hace que los álabes de la hélice giren hacia adentro y hacia afuera en dirección axial con respecto al eje de rotación de la hélice. Gracias a la posibilidad de ajustar el ángulo de incidencia de las palas, tiene la ventaja de proporcionar un excelente rendimiento con pequeños saltos, pero también con grandes variaciones en el caudal (desde 200 metros cúbicos por segundo para subir). (Enel Green Power, 2023)



Ilustración 5 Turbina Kaplan

3. Diseño del desarenador

3.1 Características de la central

La CHSJM es una central de pasada, es decir que no consta de un embalse propio, puesto que aprovecha el recurso hídrico del río Cubi hasta 2.7 m³/s que es el caudal de diseño. La central capta el agua del río mediante una toma lateral, en donde su primer filtro para eliminar cualquier

material, es una malla Coanda, la cual sirve para retirar partículas mayores a 1.5 mm, una vez pasado este primer filtro las aguas son conducidas por un canal de flujo libre por 5km hasta el tanque de carga, desde este punto parte la tubería de presión para liberar los 200 m de altura y llegar a la casa de máquinas en donde se encuentra una turbina Pelton de 5,95 MW de potencia instalada.

La central entrega 35 GW-h en promedio durante 1 año. Con esta energía se puede cubrir 150.000 familias es decir 650.000 personas aproximadamente

La central hidroeléctrica consta de una limitada área para la implantación del desarenador, debido a que la captación lateral del río es muy angosta, y para evitar costos excesivos por excavación y movimientos de tierras, se tratara de implementar en la vía de acceso a la central.



Ilustración 6 Posible ubicación del desarenador

3.1.1 Tenemos algunas restricciones para la implantación del desarenador en la central:

- No podemos movernos a la izquierda (en sentido agua abajo) ya que es el canal en donde se capta el agua para transportarla a la central.
- En la parte derecha tenemos un peñasco de 40m de altura aproximadamente, por lo que hacer un corte y estabilizarlo, incrementaría el costo del desarenador.

- La longitud máxima del desarenador no puede superar los 50m de longitud puesto que es la distancia máxima que tenemos hasta llegar a la captación.
- La altura que puede tener el desarenador son 5m desde el suelo hasta la losa en donde se asentará, incluyendo 30cm de espesor de esta.
- No se puede paralizar la central.

Tomando en cuenta estas restricciones que nos da la central para la implementación del desarenador tenemos que:

- El desarenador no debería tener un ancho mayor a 6 metros
- La longitud del desarenador no debe ser mayor a 50 metros
- La altura del desarenador no debería ser mayor que 5 metros ya que si se profundiza más se podría desestabilizar el canal que lleva el agua a la central
- El tiempo de construcción aproximado es de 4-6 meses, pero no se puede paralizar la central ya que representaría una pérdida enorme para la empresa que administra la central

Vista topográfica en planta y posible ubicación del desarenador:

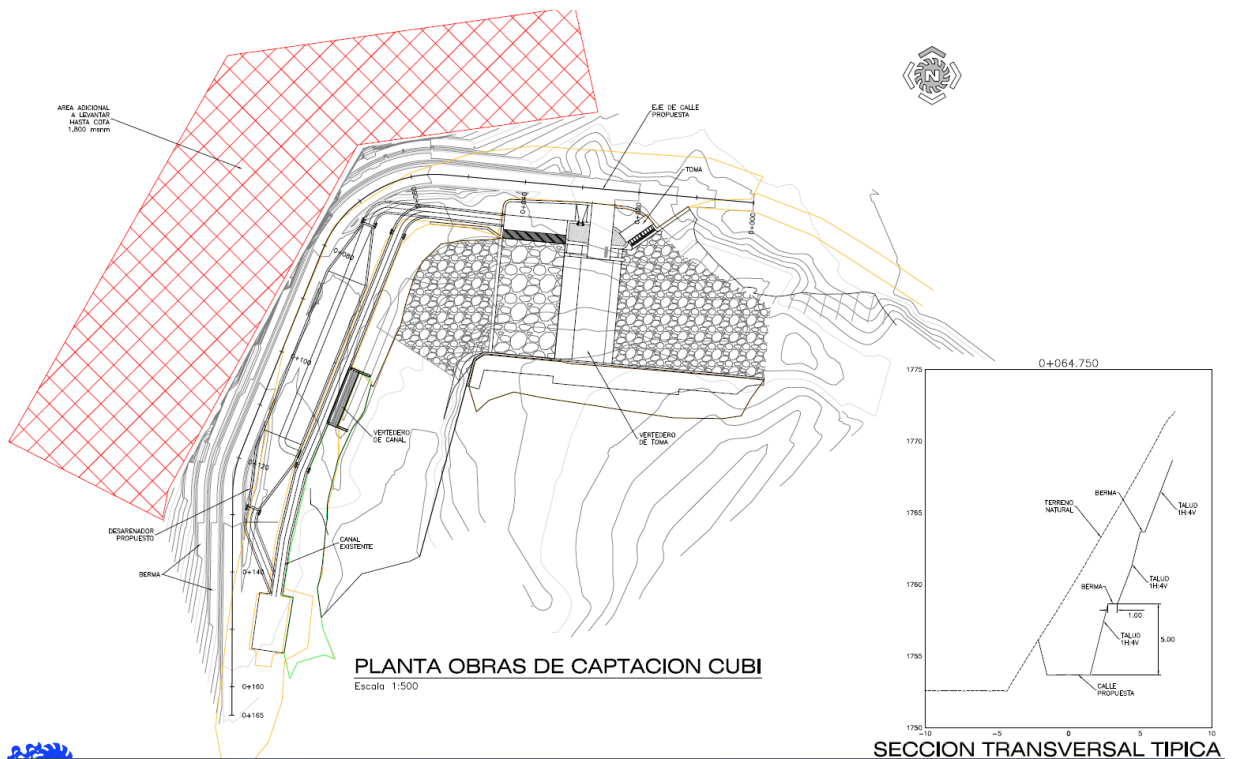


Figura 3 (vista en planta captación y posible ubicación del desarenador)

3.2 Cálculo del desarenador

Se plantea diseñar un desarenador de baja velocidad ($v < 1\text{m/s}$) con la finalidad de separar y eliminar el material sólido que arrastra el agua en un canal con un caudal de $Q = 2.7\text{ m}^3/\text{s}$.

Para el cálculo del diseño del desarenador tenemos los siguientes datos.

Caudal de ingreso = $2.7\text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro de la partícula = 0.2 mm

Densidad del material = $2.1\text{ mg}/\text{cm}^3$

Factor de mayoración = 20%

- El factor de mayoración en el diseño de desarenadores puede variar dependiendo de las normativas, las recomendaciones de diseño específicas y las condiciones del proyecto. Generalmente, el factor de mayoración se sitúa entre un rango del 1.1 (10%) al 1.5 (50%), aunque estos valores pueden ajustarse según la situación particular.

Valores típicos:

- Factor de mayoración mínimo :1.1 (10%).
- Factor de mayoración típico: 1.2 (20%)
- Factor de mayoración máximo:1.5 (50%).

Caudal de diseño = $2.7\text{ m}^3/\text{s} * 1.2 = 3.24\text{ m}^3/\text{s}$

3.2.1 Diámetro de la partícula que deseamos sedimentar

Diámetro máximo de partículas que queremos sedimentar es de 0.2mm de diámetro con un peso relativo de $2100\text{ kg}/\text{cm}^3$

3.2.2 Cálculo de la velocidad de flujo v en el tanque

Utilizaremos la fórmula de Camp

$$v = a * \sqrt{d} \text{ cm/s}$$

Donde:

d = diámetro de la partícula (mm)

a = constante en función del diámetro

a	d (mm)
51	< 0.1
44	0.1 - 1
36	> 1

Para:

$$d = 0.2 \text{ mm}$$

$$a = 44$$

$$v = 44 * \sqrt{0.2} = 19.67 \text{ cm/s}$$
$$= 0.20 \text{ m/s}$$

Como la velocidad de flujo es menor que 1 m/s vemos que es adecuada

3.2.3 Cálculo de la velocidad de caída w

Para este aspecto, se disponen de diversas fórmulas empíricas, tablas y nomogramas, entre los cuales hemos considerado:

3.2.3.1 Tabla de ARKHANGELSKI

Usaremos la siguiente tabla para determinar el w (cm/s) en función del diámetro (mm) de la partícula.

Por lo tanto:

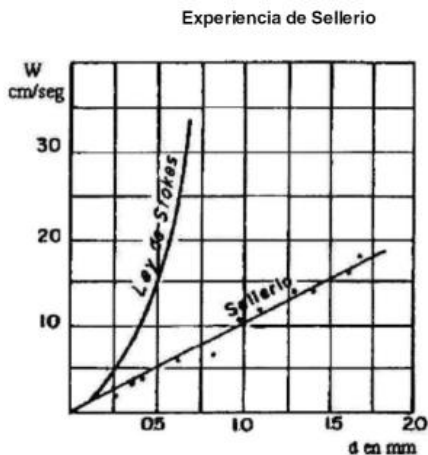
$$d = 0.20 \text{ mm} \rightarrow w = 2.16 \text{ cm/s}$$

$$w = 0.0216 \text{ m/s}$$

d (m)	W (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

3.2.3.2 Nomograma STOKES Y SELLERIO

Ingresamos el diámetro de nuestra partícula en el siguiente nomograma y obtendremos los diferentes valores de w (cm/s) según *Stokes* y *Sellerio*



Según Stokes $w = 0.04 \text{ m/s}$

Según Stokes $w = 0.025 \text{ m/s}$

3.2.3.3 Formula de OWENS

$$w = k * \sqrt{d * (\rho_s - 1)}$$

Donde:

$$\rho_s = 2.1 \text{ mg/cm}^3$$

k = constante que varía de acuerdo con la forma y naturaleza de los granos se tomara en un valor ubicado entre 9.35 y 1.28

$$k = 1.28$$

$$w = 1.28 * \sqrt{0.2 * (2.1 - 1)} = 0.0134 \text{ m/s}$$

3.2.3.4 Fórmula de SCOTTI - FOGLIENI

$$w = 3.8 * \sqrt{d} + 3.8 * d$$

Donde:

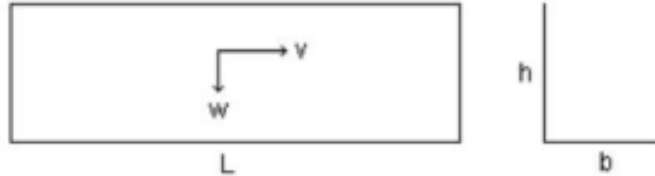
D = diámetro de la partícula

$$w = 3.8 * \sqrt{0.2} + 3.8 * 0.2 = 0.03883 \text{ m/s}$$

Una vez calculados todos los w haremos un promedio

FÓRMULAS	RESULTADOS	m/s
ARKHANGELSKI	0.0216	m/s
MONOGRAMA DE STOKES Y SELLERIO	0.025	m/s
	0.04	m/s
FORMULA DE OWENS	0.0134	m/s
FORMULA DE SCOTTI - FOGLIENI	0.03883	m/s
PROMEDIO	0.027770951	m/s

3.2.4 Cálculo de las dimensiones del tanque



Calculamos:

- **Ancho del desarenador**

Para calcular el ancho b necesitamos asumir una altura h , para así poder calcular las dimensiones que mejor se adhieran a nuestras limitaciones del proyecto; es por esta razón que escogimos una altura h de 3,5m

$$Q = (b * h) * v$$

$$b = Q / (h * v)$$

$$b = 3.24 / (3.5 * 0.20) = 5.06 \text{ m}$$

Por constructibilidad asumimos números redondos

Por lo tanto, $b = 5.1 \text{ m}$

- **Longitud del desarenador**

$$L = \frac{h * v}{w}$$

$$L = \frac{3 * 0.2}{0.0277709} = 24.79 \text{ m}$$

Por lo tanto, $L = 25 \text{ m}$

- **Tiempo de sedimentación**

$$t = \frac{h}{w}$$

$$t = \frac{3}{0.0277709} = 126.027 \text{ seg}$$

- **Volumen de agua conducido en ese tiempo**

$$V = Q * t$$

$$V = 3.24 * 126.027 = 350.006 \text{ m}^3$$

- **Verificando la capacidad del tanque**

$$Vol = b * h * L$$

$$Vol = 5.1 * 3.5 * 25 = 446.25 m^3$$

- **Cálculo de la longitud de transición**

Utilizamos la fórmula de Hind

$$LT = \frac{T_1 - T_2}{2tg 22.5^\circ}$$

$$LT = 4.16 m$$

$$LT = 4.20 m$$

Longitud total del desarenador = 33.4 m.

Inclinación de la losa = 7%

Altura máxima = 5.54 m.

3.3 Recomendaciones de diseño final

El desarenador deberá tener doble pendiente en las paredes en donde se recogen los lodos, aproximadamente esta pendiente es del 15% - 20%.

Esta pendiente en las paredes facilitará la recolección de lodos aguas arriba del desarenador, así como se muestra en los planos presentados.

4. Resultados y planos

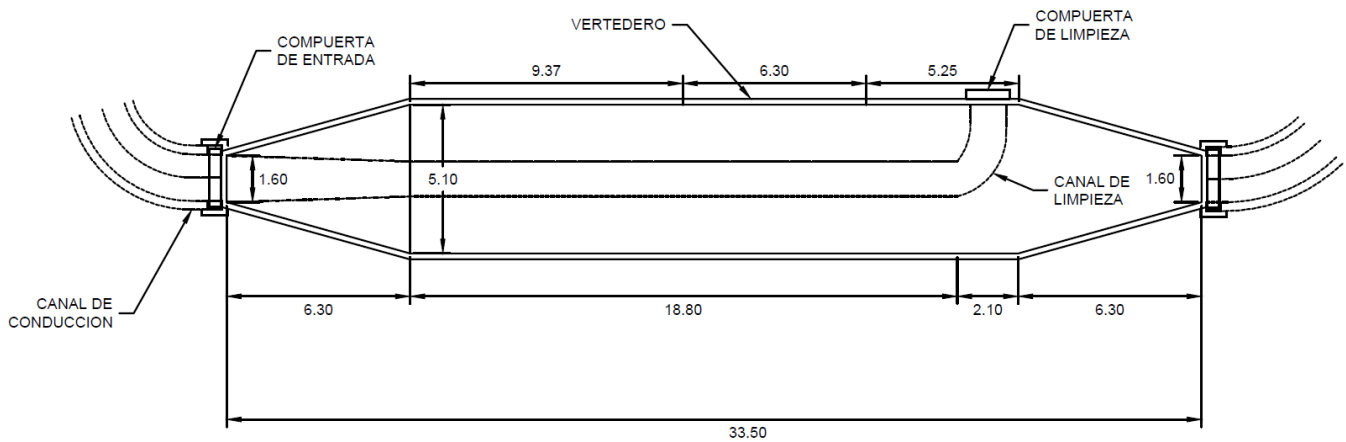
4.1. Criterios de diseño

Según la organización panamericana de la salud los criterios para diseñar un desarenador son los siguientes:

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años
- El periodo de operación es de 24 horas por día
- La profundidad del desarenador será entre 2,5 y 4 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre 4 y 7
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre 5 y 20
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10 % para facilitar el deslizamiento del sedimento

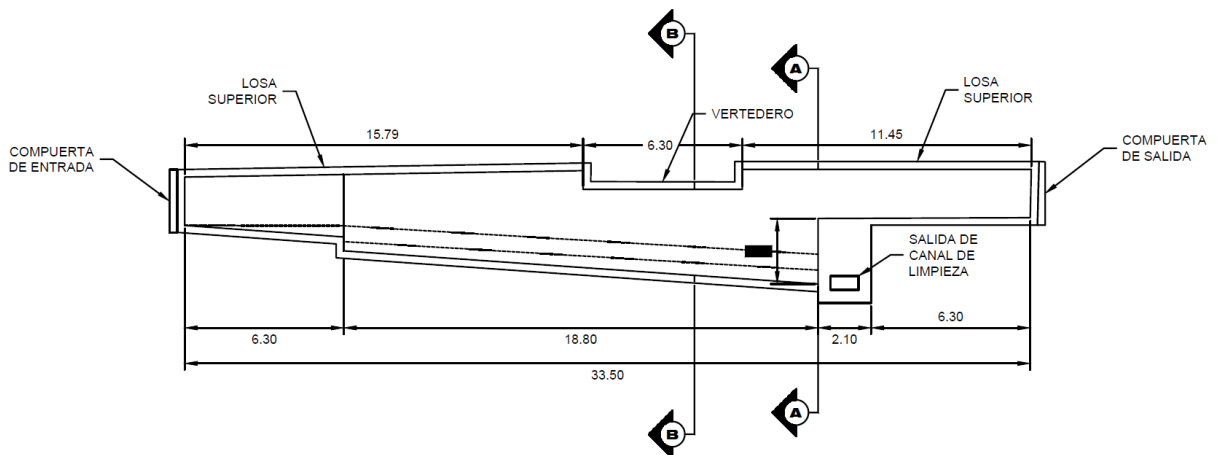
4.2 Resultados del desarenador

Una vez realizado todo el cálculo para el diseño del desarenador obtuvimos los siguientes datos que se muestran en los siguientes planos:



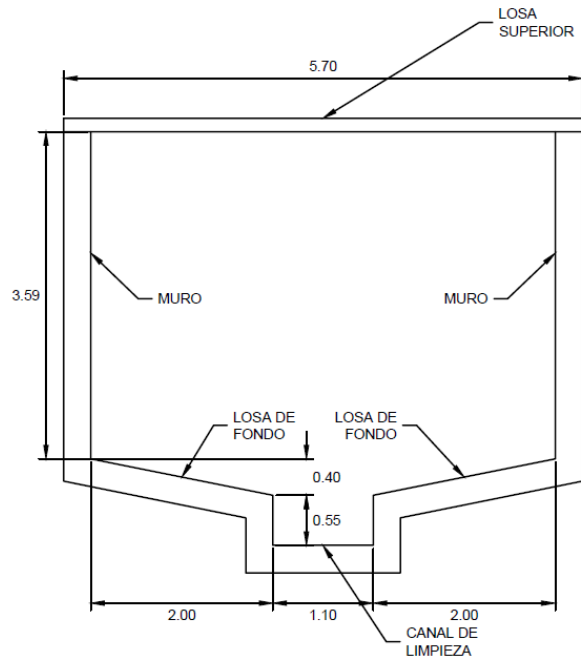
PLANTA DESARENADOR PROPUESTO CUBI

Escala 1:250



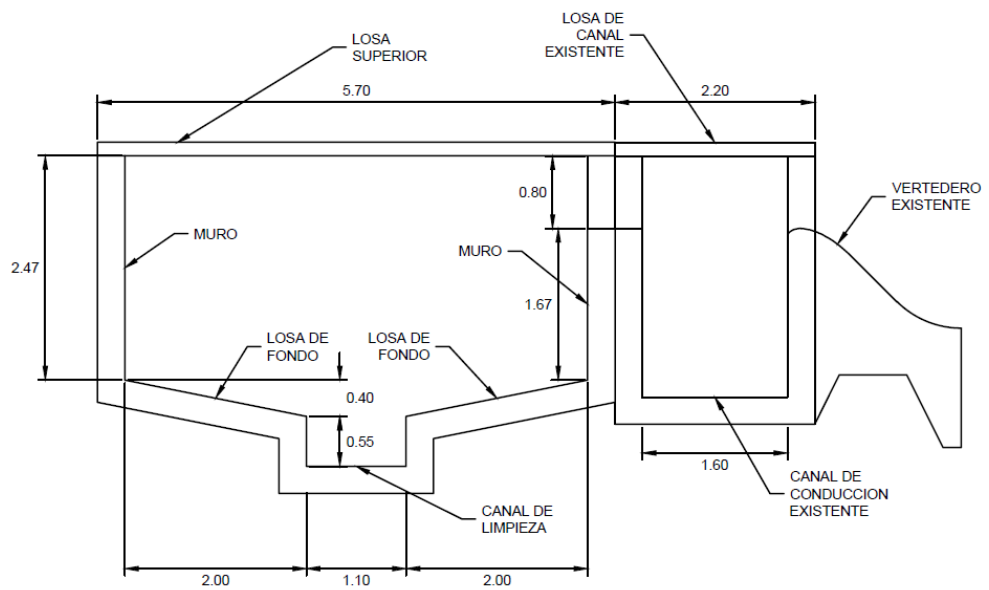
PERFIL DESARENADOR PROPUESTO CUBI

Escala 1:250



SECCION A-A

Escala 1:75



SECCION B-B

Escala 1:75

4.1 Cuantificación de los planos obtenidos

Gracias a la cuantificación otorgada por la central y a los precios unitarios otorgados los algunos proveedores obtuvimos los siguientes rubros, cantidades y precios para los materiales a utilizar:

NO. RUBRO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
	DESARENADOS APROVECHAMIENTO CUBÍ				596,418.21
	1) ACTIVIDADES PREVIAS Y GENERALES				12,900.50
1	Replanteo y nivelación (desarenador)	m2	1,000.00	0.47	470.00
2	Desbroce y limpieza (desarenador)	m2	1,000.00	2.5	2,500.00
3	Replanteo y nivelación (paso lateral)	m2	650.00	0.47	305.50
4	Desbroce y limpieza (paso lateral)	m2	650.00	2.5	1,625.00
5	Subdren Perimetral tipo frances (desarenador)	m	160.00	20	3,200.00
6	Subdren perimetral tipo frances (paso lateral)	m	240.00	20	4,800.00
	2) DESARENADOR				484,263.24
	2.1) Canal de aproximación				53,697.02
7	Rotura del muro existente	m3	1.76	230.79	406.19
8	Excavación material común	m3	281.25	10.37	2,916.58
9	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	421.88	21.55	9,091.47
10	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	3.36	140.12	470.80
11	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	51.25	230.79	11,827.99
12	Concreto de reposición ciclópeo	m3	65.00	157.15	10,214.75
13	Relleno con material de excavación	m3	430.50	9.73	4,188.80
14	Relleno con material de préstamo	m3	107.63	15.63	1,682.19
15	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	5,637.50	2.00	11,275.00
16	Cinta PVC Tipo A-22	m	66.80	24.30	1,623.24
	2.2) Transición de ingreso				66,858.83
17	Excavación material común	m3	140.40	10.37	1,455.95
18	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	210.60	21.55	4,538.43
19	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	7.83	140.12	1,097.14
20	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	43.28	230.79	9,988.59
21	Concreto de reposición ciclópeo	m3	22.75	157.15	3,575.16
22	Relleno con material de excavación	m3	265.80	9.73	2,586.23
23	Relleno con material de préstamo	m3	66.45	15.63	1,038.61
24	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	5,236.88	2.00	10,473.76
25	Cinta PVC Tipo A-22	m	54.99	24.30	1,336.26
26	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m	18.90	26.58	502.36
27	Uniformizadores de flujo metálicos (incluye sujeción y placas de arranque)	Kg	6,371.86	4.75	30,266.34
	2.3)Cuerpo del desarenador				178,470.12
28	Excavación material común	m3	897.70	10.37	9,309.15
29	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	1,346.55	21.55	29,018.15
30	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	30.46	140.12	4,268.06
31	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	150.98	230.79	34,844.67
32	Concreto de reposición ciclópeo	m3	224.43	157.15	35,268.39
33	Relleno con material de excavación	m3	1,615.86	9.73	15,722.32
34	Relleno con material de préstamo	m3	403.97	15.63	6,313.97
35	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	16,607.80	2.00	33,215.60
36	Cinta PVC Tipo A-22	m	206.36	24.30	5,014.55
37	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m	145.25	26.58	3,860.75
38	Baranda metálica de protección para estructura del desarenador	m	101.40	14.18	1,437.85

39	Escaleras metálicas	gl	1.00	196.66	196.66
	2.4) Canal de descarga				59,935.71
40	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	211.20	21.55	4,551.36
41	Excavación bajo canal existente	m3	26.20		
42	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	11.30	140.12	1,583.36
43	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	109.60	230.79	25,294.58
44	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	12,056.00	2.00	24,112.00
45	Cinta PVC Tipo A-22	m	180.84	24.30	4,394.41
	2.5) Transición de salida				114,351.56
46	Excavación material común	m3	438.75	10.37	4,549.84
47	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	658.13	21.55	14,182.59
48	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	24.47	140.12	3,428.56
49	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	135.25	230.79	31,214.35
50	Concreto de reposición ciclópeo	m3	71.09	157.15	11,172.38
51	Relleno con material de excavación	m3	830.63	9.73	8,081.98
52	Relleno con material de préstamo	m3	207.66	15.63	3,245.67
53	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	16,365.25	2.00	32,730.50
54	Cinta PVC Tipo A-22	m	171.84	24.30	4,175.80
55	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m	59.06	26.58	1,569.88
	2.6) Compuertas				10,950.00
56	Compuertas en el canal actual	glb	1.00	2,700.00	2,700.00
57	Compuerta de ingreso al desarenador	glb	1.00	2,500.00	2,500.00
58	Compuerta de limpieza	glb	1.00	1,750.00	1,750.00
59	Compuerta de salida del desarenador	glb	1.00	2,500.00	2,500.00
60	Válvula de purga en el canal actual	glb	1.00	1,500.00	1,500.00
	3.A) PASO LATERAL MARGEN IZQUIERDO SOBRE EL LECHO ACTUAL				1,443,288.85
	3.1) Muro de protección				290,992.71
61	Excavación en lecho del río	m3	1,272.94	21.34	27,164.54
62	Ataguía o jarilon	m3	613.80	72.23	44,334.77
63	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	50.84	140.12	7,123.70
64	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	439.72	230.79	101,482.98
65	Concreto de reposición ciclópeo	m3	86.14	157.15	13,536.90
66	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	47,375.22	2.00	94,750.44
67	Cinta PVC Tipo A-22	m	106.97	24.30	2,599.37
68	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa	m	0.00	26.58	0.00
	3.2) Sub base y Piedraplen				803,306.68
69	Excavación en lecho del río	m3	159.38	21.34	3,401.17
70	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	14.88	140.12	2,084.99
71	Muro de contención de gaviones	m3	552.50	99.61	55,034.53
72	Piedraplen	m3	1,062.50	27.36	29,070.00
73	Subbase clase III	m3	425.00	11.94	5,074.50
74	Capa de rodadura (lastrado)	m3	382.50	15.83	6,054.98
75	Baranda lateral	m	100.00	14.18	1,418.00
76	Cuneta perimetral f'c = 25 Mpa	m	120.00	26.58	3,189.60
	3,3) Puente sobre descarga				348,989.46
77	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	0.90	140.12	126.11
78	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	55.35	230.79	12,774.08
79	Concreto de reposición ciclópeo	m3	10.84	157.15	1,703.95
80	Acero de refuerzo, f'y = 420 Mpa	kg	5,963.31	2.00	11,926.63
81	Cinta PVC Tipo A-22	m	54.00	24.30	1,312.20
82	Vigas metálicas IPN 180, incluye anclajes	Kg	1,601.44	4.75	7,606.83
83	Rejas metálicas con varillas de Ø 14 @ 15	Kg	7,512.50	2.10	15,776.25
	3. B) PASO LATERAL MARGEN DERECHO EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO DEL MURO ACTUAL				99,254.48
	3.1) Excavación en talud existente				83,893.20

61	Replanteo y nivelación (desarenador)	m2	600.00	2.50	1,500.00
62	Desbroce y limpieza (desarenador)	m2	600.00	1.36	816.00
63	Excavación material común	m3	4,500.00	12.44	55,998.00
64	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m	240.00	26.58	6,379.20
65	Adquisición de propiedad	Ha	0.09	80,000.00	7,200.00
66	Estudios de topografía, suelos y geotécnia	gl	1.00	12,000.00	12,000.00
3.2) Excavación en talud existente					15,361.28
66	Replanteo y nivelación (desarenador)	m2	270.00	2.50	675.00
67	Desbroce y limpieza (desarenador)	m2	270.00	1.36	367.20
68	Subbase clase III	m3	425.00	11.94	5,074.50
69	Capa de rodadura (lastrado)	m3	382.50	15.83	6,054.98
70	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m	120.00	26.58	3,189.60

4.2 Cronograma para la implementación del desarenador

En el siguiente cronograma se detalla el trabajo por meses y el porcentaje a realizar para cada rubro:

CRONOGRAMA DE TRABAJOS

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	Mes			
			1	2	3	4
DESARENADOS APROVECHAMIENTO CUBÍ						
1) ACTIVIDADES PREVIAS Y GENERALES						
1	Replanteo y nivelación (desarenador)	m2	100%			
2	Desbroce y limpieza (desarenador)	m2	100%			
3	Replanteo y nivelación (paso lateral)	m2	100%			
4	Desbroce y limpieza (paso lateral)	m2	100%			
5	Subdren perimetral tipo francés (desarenador)	m	60%	40%		
6	Subdren perimetral tipo francés (paso lateral)	m	20%	80%		
2) DESARENADOR						
2.1) Canal de aproximación						
7	Rotura del muro existente	m3		100%		
8	Excavación material común	m3	60%	40%		
9	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	40%	60%		
10	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3		100%		
11	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3	20%	80%		
12	Concreto de reposición ciclópeo	m3	20%	80%		

13	Relleno con material de excavación	m3	20%	40%	40%	
14	Relleno con material de préstamo	m3		30%	40%	30%
15	Acero de refuerzo, fy = 420 Mpa	kg	80%	20%		
16	Cinta PVC Tipo A-22	m		100%		
2.2) Transición de ingreso						
17	Excavación material común	m3	20%	80%		
18	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	20%	60%	20%	
19	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3	20%	80%		
20	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3		60%	40%	
21	Concreto de reposición ciclópeo	m3	20%	60%	20%	
22	Relleno con material de excavación	m3				100%
23	Relleno con material de préstamo	m3				100%
24	Acero de refuerzo, fy = 420 Mpa	kg	50%	50%		
25	Cinta PVC Tipo A-22	m	100%			
26	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m				100%
27	Uniformizadores de flujo metálicos (incluye sujeción y placas de arranque)	kg	40%	30%	30%	
2.3)Cuerpo del desarenador						
28	Excavación material común	m3	40%	50%	10%	
29	Excavación con rocas sueltas, antiguo lecho del río	m3	50%	50%		
30	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3		80%	20%	
31	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3		40%	40%	20%
32	Concreto reposición ciclópeo	m3		20%	80%	
33	Relleno con material de excavación	m3			100%	
34	Relleno con material de préstamo	m3			40%	60%
35	Acero de refuerzo, fy = 420 Mpa	kg	40%		50%	10%
36	Cinta PVC Tipo A-22	m			100%	

37	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m				100%
38	Baranda metálica de protección para estructura del desarenador	m	40%		30%	30%
39	Escaleras metálicas	glb			100%	
2.4) Canal de descarga						
40	Excavación con roca sueltas, antiguo lecho del río	m3			45%	55%
41	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3			30%	70%
42	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3			25%	75%
43	Concreto de reposición ciclópeo	m3			100%	
44	Acero de refuerzo, fy = 420 Mpa	kg		40%	60%	
45	Cinta PVC Tipo A-22	m			100%	
2.5) Transición de salida						
46	Excavación material común	m3		40%	40%	20%
47	Excavación con roca sueltas, antiguo lecho del río	m3		40%	40%	20%
48	Hormigón de replantillo f'c = 18 Mpa	m3		30%	70%	
49	Concreto muros laterales, f'c=25 Mpa	m3			20%	80%
50	Concreto de reposición ciclópeo	m3		10%	80%	10%
51	Relleno con material de excavación	m3			30%	70%
52	Relleno con material de préstamo	m3			10%	90%
53	Acero de refuerzo, fy = 420 Mpa	kg	40%	20%	20%	20%
54	Cinta PVC Tipo A-22	m	80%		10%	10%
55	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m			20%	80%
2.6) Compuertas						
56	Compuertas en el canal actual	glb			60%	40%
57	Compuerta de ingreso al desarenador	glb			60%	40%
58	Compuerta de limpieza	glb			60%	40%
59	Compuerta de salida del desarenador	glb			60%	40%
60	Válvula de purga en el canal actual	glb			60%	40%

3.B) PASO LATERAL MARGEN DERECHO EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO DEL MUR						
3.1) Excavación en talud existente						
61	Replanteo y nivelación (desarenador)	m2	100%			
62	Desbroce y limpieza (desarenador)	m2	100%			
63	Excavación material común	m3	30%	40%	30%	
64	Cunetas perimetrales , f'c = 25 Mpa para plazoleta	m				100%
3.2) Excavación en talud existente						
66	Replanteo y nivelación (desarenador)	m2	100%			
67	Desbroce y limpieza (desarenador)	m2	100%			
68	Subbase calse III	m3			70%	30%
69	Capa de rodadura (lastrado)	m3				100%
70	Cunetas perimetrales, f'c = 25 Mpa para plazoleta	m				100%

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El lugar donde se va a implementar el desarenador esta definido por la topografía del proyecto, por esta razón que no se pudo optimizar las dimensiones tanto en longitud como en ancho.
- La disposición recomendada en el presente trabajo de titulación garantiza que todas las partes del desarenador sean accesibles para inspección y mantenimiento, lo cual es crucial para el funcionamiento continuo y prolongado de la instalación.
- El mantenimiento correcto de un desarenador es aproximadamente 1 vez al mes para asegurar el correcto funcionamiento del equipo, pero para la apertura de las compuertas de limpieza y eliminar todos los sedimentos acumulados, estas deben abrirse con mayor

frecuencia, aproximadamente 1 vez cada 2 semanas en época de sequía, o escasez de lluvias y 1 vez a la semana en época de lluvias, así garantizaremos que no exista la acumulación excesiva de sedimentos y que el desarenador cumpla con su función.

- El diseño de las estructuras hidráulicas del desarenador ha sido realizado con precisión para asegurar que las condiciones de flujo y sedimentación sean óptimas, cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos. Las dimensiones del desarenador son: transición inicial de 6.30 m. de longitud, con una entrada de 1.6 m. un ángulo de apertura de 16° para terminar con un ancho de 5.1 m. y de profundidad de 1.90 m con 7% de inclinación; el cuerpo del desarenador tiene un ancho de 5.1 m. y una longitud de 18.8 m. de longitud con una profundidad de 3m de altura y una inclinación del 7%; la transición de salida tiene una longitud de 6.3 m, un ancho de 5,1 m. con un ángulo de cerramiento de 16° , y una profundidad de 1.90 m. con un volumen de 441.63 m³.
- El lugar en donde se espera construir el desarenador no afectará con el funcionamiento de la central al momento de la construcción, la central no se pararía, ya que si esta se llegara a parar, la pérdida para la empresa sería significativa, es por esto que se propone construir el desarenador en un plazo aproximado de 4 meses, y posterior a eso realizar el empalme del desarenador a las obras ya existentes, la central contempla una paralización anual de 7 días para realizar el debido mantenimiento, por lo que se hará coincidir este tiempo de paralización por mantenimiento para adjuntar las obras del desarenador a la estructura ya construida, aunque por esta ocasión se extenderá la paralización por 15 días.
- Lo óptimo hubiera sido diseñar un desarenador de doble cámara, ya que en caso de mantenimiento se puede cerrar una cámara para dar el mantenimiento adecuado y la otra cámara siga con su función sin que se vea afectado el tiempo de paralización, sin embargo, debido a las condiciones del terreno no fue posible hacerlo, porque existe un talud que limita las dimensiones del desarenador.

- El costo total de la obra es de aproximadamente \$600.000 de los cuales el 36% corresponde al acero estructural, y el 39% al hormigón y el 25% en obras menores, considerando que no se realizarán excavaciones en el talud lateral derecho y que se optimizarán las excavaciones laterales.
- La central tiene un gasto anual de \$150.000 para cambios de turbina, este gasto representa una inversión gigante para la empresa, ya que las turbinas tienen una vida útil de 8 años; si se decide implantar el desarenador a la central, sería beneficioso puesto que el desarenador tiene un costo aproximado de \$600.000, lo que implica que en 5 años de operación de la central se pagaría el desarenador, y a partir de año 5 los \$130.000 serían utilidad para la empresa ya que \$20.000 por años serían la provisión que la empresa debe realizar para el cambio de turbinas en el año 8 aproximadamente

5.2. Recomendaciones

- Se debe considerar el diseño de un desarenador al inicio del proyecto de una central hidroeléctrica para no tener limitaciones al momento de introducir el desarenador.
- La construcción del desarenador debe ser cuidadosamente planificada para cumplir con el plazo de 4 meses sin interrumpir la operación de la central. Es crucial coordinar estrechamente con el equipo de mantenimiento para sincronizar la paralización de 2 semanas para mantenimiento con la conexión del desarenador. Esto significa que sería una semana más de lo planificado. Se debe tomar en cuenta el costo por día de paralización de la central (\$4 461.07), esto es debido a que nosotros esperamos paralizar 7 días más de lo que se planea paralizar la central por mantenimiento, este valor se deberá incluir en el costo final del desarenador.
- Se recomienda buscar proveedores de hormigón y acero que ofrezcan más competitivos sin comprometer la calidad, esto es porque los costos más elevados que tenemos en el análisis de precios unitarios son de hormigón y acero.

- El buen mantenimiento de un desarenador es crucial para la operación eficiente y segura de una central hidroeléctrica. Implementar un programa de mantenimiento preventivo riguroso y capacitar adecuadamente al personal encargado asegura la optimización del rendimiento del sistema, la reducción de costos operativos y la prolongación de la vida útil de los equipos. Estas acciones contribuyen a maximizar la generación de energía y minimizar las interrupciones y costos asociados con fallos no planificados.

6. Bibliografía

- agua, A. n. (2010). Manual : criterios de diseño para obras hidraulicas par ala formulacion de proyectos hidraulicos. En A. n. agua, *Manual : criterios de diseño para obras hidraulicas par ala formulacion de proyectos hidraulicos* (págs. 74-88). Lima.
- Bustos, E.-N. (agosto de 2015). *diseño de desarenadores*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/diseo-de-desarenadores/52479142>
- Enel Green Power. (24 de abril de 2023). *Enel Green Power*. Obtenido de Enel Green Power: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/turbina-hidroelectrica>
- NUNEZ, C. (05 de Septiembre de 2010). *national geographic*. Obtenido de national geographic: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- OPS. (2005). GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES. *Organizacion Panamericana de la Salud*, 03.
- Roca, J. A. (25 de Septiembre de 2023). *El periodico de la energía*. Obtenido de El periodico de la energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-energia-hidroelectrica-ya-supone-casi-el-80-del-mix-electrico-de-ecuador/>