

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Evaluación comparativa entre un sistema de captación coanda vs
sistemas tradicionales como captación lateral con sus respectivos
desarenadores**

Marcelo Andrés Marín Burgos

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 12 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Evaluación comparativa entre un sistema de captación coanda vs
sistemas tradicionales como captación lateral con sus respectivos
desarenadores**

Marcelo Andrés Marín Burgos

Sixto Andrés Durán-Ballén Ochoa, PhD

Quito, 12 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Marcelo Andrés Marín Burgos

Código: 00200569

Cédula de identidad: 171836296-3

Lugar y fecha: Quito, 12 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En el presente documento se evaluó el diseño de captaciones existentes en hidroeléctricas en el Ecuador basándose en la hidrología, caudal, topografía y sedimentología de las obras. Propone plantear nuevos diseños de captación sin rejillas coanda aplicando captaciones laterales con su desarenador. Calcula aproximadamente las diferentes dimensiones de cada tipo de captación con la finalidad de observar los parámetros en los cuales es eficiente la implementación de la rejilla coanda y en cuáles no. También se evaluó si la aplicación de las rejillas coanda en los proyectos existentes fue correcta o se podría aplicar una captación tradicional. Para el proyecto hidroeléctrico El Laurel se observó que la implementación de la rejilla fue correcta por todas sus características sedimentológicas del río y los diseños planteados. Por el otro lado en el proyecto hidroeléctrico San José de Minas la implementación de este tipo de captación no es del todo justificada ya que no existe mucha presencia de sedimentos en el río y con una captación tradicional y un desarenador no muy grande podría haber tenido un funcionamiento similar.

ABSTRACT

In this document, the design of existing catchments in hydroelectric plants in Ecuador was evaluated based on the hydrology, flow, topography, and sedimentology of the place. It proposes new catchments designs without coanda grids applying lateral collections with its sand remover. Calculates the different dimensions of each type of catchment to observe the parameters in which the implementation of the coanda grid is efficient and in which it is not. It was also evaluated if the application of the coanda grids in the existing projects was correct or if a traditional catchment could be applied. For the hydroelectric project called El Laurel, it was observed that the implementation of the grid was correct due to all its sedimentological characteristics of the river and the proposed designs. On the other hand, in the hydroelectric project called San José de Minas, the implementation of this type of catchment is not entirely justified since there is not much sediment in the river and with a traditional catchment and a not very large sand trap it could have had a similar performance.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	12
1.1	Antecedentes	12
1.2	Justificación.....	12
1.3	Objetivos	12
1.4	Metodología	13
2	Tipos de Captaciones	14
2.1	Captaciones con rejilla coanda.....	14
2.2	Captaciones laterales.....	15
3	Metodología para los diseños	17
3.1	Diseño y selección de mallas coanda	17
3.2	Diseño de captaciones laterales.....	22
3.3	Diseño para desarenadores	24
4	Levantamiento de información de proyectos a comparar.....	27
4.1	Proyecto Hidroeléctrico el Laurel	27
4.1.1	Datos Generales del Proyecto.....	27
4.1.2	Hidrología.....	27
4.1.3	Diseño.....	30
4.1.4	Cálculo Aproximado de Volúmenes en la Captación.....	32
4.1.5	Problemas de la Experiencia de la Operación	33
4.2	Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas.....	34
4.2.1	Datos Generales del Proyecto.....	34
4.2.2	Hidrología.....	34
4.2.3	Diseño.....	36
4.2.4	Cálculo Aproximado de Volúmenes en la Captación.....	38
4.2.5	Problemas de la Experiencia de la Operación	39

5	Diseño alternativo al proyecto existente para su comparacion	40
5.1	Proyecto Hidroeléctrico El Laurel.....	40
5.1.1	Diseño Alternativo Bocatoma Lateral	40
5.1.2	Diseño Alternativo Desarenador	42
5.1.3	Cálculo Aproximado de Volúmenes.....	43
5.2	Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas	45
5.2.1	Diseño Alternativo Bocatoma Lateral	45
5.2.2	Diseño Alternativo Desarenador	46
5.2.3	Cálculo Aproximado de Volúmenes.....	48
6	Matriz de comparación.....	50
6.1	Proyecto Hidroeléctrico El Laurel.....	50
6.2	Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas	50
7	Conclusiones	51
8	Referencias Bibliografía	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Coeficiente de la barra	24
Tabla 2 - Ubicación estaciones hidrológicas El Laurel.....	28
Tabla 3 - Precipitación de Río de la Plata	28
Tabla 4 - Probabilidad de caudales en el Río de la Plata	29
Tabla 5 - Datos de la malla El Laurel.....	31
Tabla 6 - Caudales Río Cubi	35
Tabla 7 - Caudales de crecida	35
Tabla 8 - Caudales San José de Minas	35
Tabla 9 - Datos de la Malla San José de Minas	37
Tabla 10 - Resultados diseño captación lateral EL	41
Tabla 11 - Datos desarenador El Laurel.....	42
Tabla 12 - Resultados desarenador El Laurel.....	43
Tabla 13 - Resultados diseño captación lateral SJDM	46
Tabla 14 - Datos desarenador San José de Minas	47
Tabla 15 - Resultados desarenador San José de Minas	47
Tabla 16 - Comparación volúmenes en captación El Laurel	50
Tabla 17 - Comparación volúmenes en captación San José de Minas.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 - Efecto coanda.....	14
Ilustración 2 - Rejilla tipo coanda	15
Ilustración 3 - Vista en planta de una bocatoma lateral	16
Ilustración 4 - Sección A-A de bocatoma lateral	16
Ilustración 5 - Selección de mallas coanda	17
Ilustración 6 - Separación y ángulo de las rejillas coanda	19
Ilustración 7 - Estructura rejilla coanda en programa	19
Ilustración 8 - Placa de aceleración en el programa.....	20
Ilustración 9 - Pantalla y espaciamento en el programa.....	20
Ilustración 10 - Caudal en el programa	21
Ilustración 11 - Esquema rejilla coanda	21
Ilustración 12 - Esquema de captación lateral.....	22
Ilustración 13 - Desarenador	26
Ilustración 14 - Desarenador flujo vertical.....	26
Ilustración 15 - Mapa cantón Mira.....	27
Ilustración 16 - Diseño en planta de la captación del proyecto El Laurel.....	30
Ilustración 17 - Vista planta en zona de malla Coanda	31
Ilustración 18 - Fotografía de malla coanda en El Laurel	32
Ilustración 19 - Calculo volumen captación coanda El Laurel	33
Ilustración 20 - Cantón Quito Ilustración 21 - Parroquia San José de Minas	34
Ilustración 22 - Vista planta captación San José de Minas	36
Ilustración 23 - Vista Zona Malla Coanda San José de Minas.....	37
Ilustración 24 - Malla San José de Minas	38
Ilustración 25 - Calculo volumen captación coanda San José de Minas.....	39
Ilustración 26 - Esquema captación lateral El Laurel	40
Ilustración 27 - MathCad para diseño de captaciones laterales EL.....	41
Ilustración 28 - Esquema desarenador El Laurel	43
Ilustración 29 - Volúmenes diseño alternativo El Laurel.....	44
Ilustración 30 - Esquema captación lateral San José de Minas.....	45

Ilustración 31 - Mathcad para diseño de captaciones laterales SJDM	46
Ilustración 32 - Esquema desarenador San José de Minas	48
Ilustración 33 - Volúmenes diseño alternativo San José de Minas	49

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador la mayor fuente de electricidad son las hidroeléctricas ya que aprovechando su geografía. La abundancia de ríos logra generar electricidad utilizando una fuente que no genera contaminación. Los desniveles y rápidas caídas de los ríos permiten aprovechar dependiendo de su caudal y la caída generar una cierta cantidad energía eléctrica. Las captaciones de los ríos necesitan quitar los sedimentos que abarca el río para que esa agua pueda ser utilizada para generar energía. Existen algunos métodos para llevar a cabo la limpieza del agua como las captaciones laterales con rejilla y posteriormente su desarenador. Estas logran desviar el caudal para llevarlo a un desarenador donde se baja la velocidad del flujo permitiendo así que todos los sedimentos caigan al fondo y recolectando solo el agua limpia. Otro método implementado recientemente es uno que utiliza una rejilla coanda. El efecto coanda ayuda que los sedimentos no pasen de esta primera rejilla dejando innecesaria la construcción de un desarenador.

1.2 Justificación

Las captaciones tradicionales que utilizan una captación lateral y su desarenador se las compara con las que tienen rejillas coanda ya que en ciertos casos ayudan a economizar costos y espacio al no tener que construir un desarenador. En captaciones tradicionales es indispensable el uso de desarenadores. Dependiendo de la turbidez del río se evalúa si es eficiente implementar este tipo de captaciones ya que se debe tomar en cuenta varios factores. El estudio busca conocer mas sobre el uso de las rejillas coanda y su implementación en proyectos en el país.

1.3 Objetivos

1. Explicar cómo se diseñan las captaciones laterales, captaciones con rejillas coanda y desarenadores.
2. Investigar sobre los proyectos hidroeléctricos San José de Minas y El Laurel donde esta implementado las rejillas coanda, investigar información general, hidrología y diseño.

3. Diseñar propuesta de captaciones laterales y desarenadores para las hidroeléctricas.
4. Calcular aproximadamente los volúmenes de las captaciones laterales, captaciones con rejilla coanda y desarenadores de los proyectos.
5. Comparar y evaluar si es correcta la implementación de las captaciones con rejilla coanda en los proyectos basándose en las características del río.

1.4 Metodología

El proyecto se lo realizó obteniendo los estudios realizados para la construcción del proyecto El Laurel y San José de Minas. Estos consisten principalmente en estudios hidrológicos y sedimentológicos los cuales ayudan a determinar el caudal que se tiene del río y la calidad del agua. Los estudios fueron evaluados para poder diseñar una propuesta alterna con una captación lateral y un desarenador para cada proyecto. Utilizando los diseños usados para la construcción se conoce las dimensiones de las captaciones y la forma de las rejillas coanda para de esta manera poder comparar con la propuesta alterna. Se calculó una aproximación de los volúmenes de cada captación para así determinar una vez analizados los estudios del río si la implementación de las rejillas coanda en estos proyectos fue correcta.

La estructura de los capítulos muestra en el capítulo 2 los tipos de captaciones que fueron analizados y el funcionamiento de cada uno. En el capítulo 3 se presenta la metodología para los diseños de estas captaciones y de los desarenadores. El capítulo 4 presenta la investigación de la información de los proyectos a comparar mostrando los estudios hidrológicos, el diseño y el cálculo de volúmenes.

2 TIPOS DE CAPTACIONES

2.1 Captaciones con rejilla coanda

Las rejillas coanda o también conocidos como tamizadores hidráulicos ayudan a separar líquidos y sólidos de una manera eficiente utilizando el efecto coanda donde las partículas del agua se adhieren a la rejilla. Se empezó a desarrollar en 1950 en Estados Unidos para usarlo como tamizador en las minerías. Esta rejilla se la forma con filamentos triangulares con desfase angular lo cual permite cambiar la trayectoria del agua (CBS Ingeniería, 2017). Sus aperturas van de 0.5 mm y 3 mm, aprovechando la velocidad del agua y con el efecto coanda logra que los sólidos no ingresen y se capta una cantidad específica de agua. Esto ayuda a que no se necesita un vertedero de excesos ya que el caudal captado es exacto al caudal requerido. Otra propiedad que estas rejillas tienen es su autolimpieza. Utiliza a su favor la velocidad de caída del agua lo cual permite que los sedimentos no se queden adheridos. Esto evita el ingreso de sedimentos al canal de conducción. Al no pasar sedimentos las captaciones que implementan esta rejilla no requieren de un desarenador. (CBS Ingeniería, 2017)

En la ilustración 1 se muestra una explicación con cucharas de que es el efecto coanda y como el agua se adhiere y cambia de dirección.

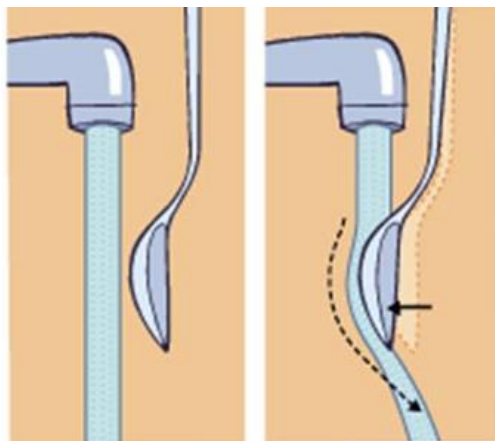


Ilustración 1 - Efecto coanda

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

En la ilustración 2 se puede ver como el efecto coanda funciona adhiriendo el agua que pasa por la rejilla y ocasionando que esta entre sin sedimentos. También el caudal que se capta es

uno específico por lo que no hace falta un vertedero de excesos. Esto es considerado en el dimensionamiento de la rejilla.



Ilustración 2 - Rejilla tipo coanda

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

2.2 Captaciones laterales

En las captaciones tradicionales los sedimentos logran ingresar al canal con mayor facilidad. Por lo cual se deben diseñar con un desarenador posterior a la captación. Las captaciones tradicionales se las consigue creando una represa con un azud logrando que el agua ingrese por un vertedero con rejillas que impedirán el paso de sedimentos de grandes, que pueda traer el río. Después pasa al desarenador donde se baja la velocidad del agua de esta manera las partículas pequeñas caen al fondo y solo se deja pasar el agua que está en la superficie donde no existe presencia de sedimentos. Eso se lo realiza calculando el tiempo de sedimentación para determinar el largo y las dimensiones generales del desarenador. Dependiendo del estudio sedimentológico del río se deberá dimensionar el desarenador. Se debe también tener en cuenta que en el canal de conducción que lleva el agua desde la captación hasta el tanque de carga no debe entrar sedimentos. En las hidroeléctricas es sumamente importante que el agua que ingrese a la tubería de presión no contenga sedimentos ya que con la velocidad de la turbina por más pequeño que sea el sedimento puede dañar a la turbina de los generadores ocasionando que estos se deban cambiar con mayor frecuencia afectando la producción de la central. (Brikke, François & Bredero, Maarte, 2020)

En la siguiente ilustración 3 se puede observar la vista de planta de una bocatoma lateral tradicional la cual se observa el azud que represa el río y la reja que permite el ingreso del agua.

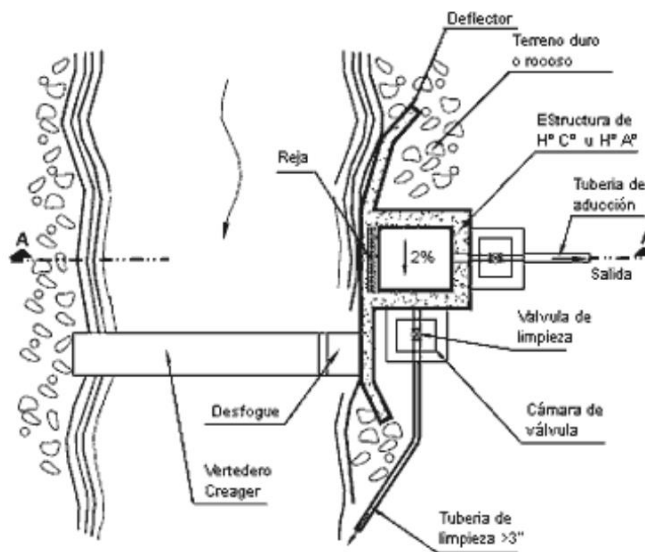


Ilustración 3 - Vista en planta de una bocatoma lateral

Fuente: (Herbas, 2010)

En la ilustración 4 se observa el corte transversal de la captación, todas esas dimensiones se las debe calcular dependiendo del grosor de las barras de la rejilla, el caudal, la velocidad y espacio libre para la construcción.

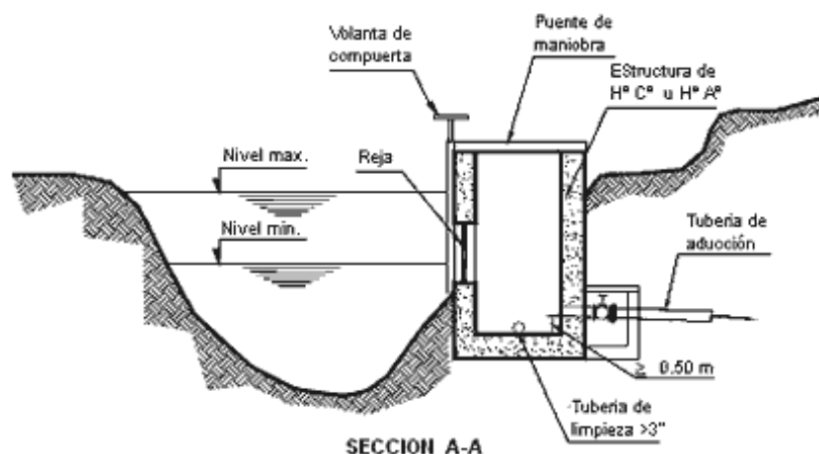


Ilustración 4 - Sección A-A de bocatoma lateral

Fuente: (Herbas, 2010)

3 METODOLOGIA PARA LOS DISEÑOS

3.1 Diseño y selección de mallas coanda

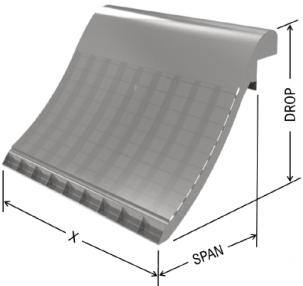
Para el diseño y la selección de las mallas coanda se debe tomar en cuenta el caudal que se desea captar, el perfil de rejilla y el tamaño de las partículas que se desea evitar el paso. Lo principal es la cantidad de caudal que se busca captar por la malla. La capacidad de cada rejilla es diferente dependiendo de sus dimensiones. La profundidad y el alto influyen en el ángulo de caída que tiene la rejilla. Esto influye en la velocidad con la que el agua pasa por la malla. El radio de la malla igual se lo tomará en cuenta dependiendo si la malla será curva o plana. Su dimensión igual toma en cuenta la profundidad del estanque que debe ir antes de la malla coanda.

Esta rejilla se la forma con filamentos triangulares con desfase angular evitando de esta manera el paso de sólidos. Considerando que el espaciamiento es de 1 mm y utilizando la siguiente tabla se selecciona el tipo de malla coanda más eficiente para la captación. Dependiendo de la inclinación que tenga la rejilla la velocidad del flujo cambiara, es importante conocer cuánto se busca captar para dependiendo de eso saber el perfil de malla que se debe utilizar. El perfil no solo cambia en su inclinación sino en sus dimensiones, ya que si se busca captar más agua la rejilla será más grande. (CBS Ingeniería)

En la siguiente ilustración 5 se puede observar los diferentes perfiles de mallas coanda con sus capacidades de flujo, ancho y alto.

Coanda Screen

- Removable screen elements (B and C series only)
- Heavy and light duty options available
- Welded stainless steel



Profile	Capacity/X ft ³ /s/ft	Capacity/X liters/s/m	Drop in (mm)	Span in (mm)
A0.1	0.1	9.3	6 (152)	6 (152)
A0.25	0.25	23	11 (279)	12 (305)
A0.5	0.5	46	19 (483)	20 (518)
A1.0	1.0	93	30 (762)	29 (749)
A2.0	2.0	186	50 (1270)	44 (1133)
B3.0	3.0	279	67 (1702)	56 (1422)
B4.0	4.0	372	82 (2083)	69 (1753)
C3.0	3.0	279	56 (1422)	64 (1626)
C4.0	4.0	372	68 (1727)	80 (2032)
C5.0	5.0	464	80 (2032)	95 (2413)
C6.0	6.0	557	91 (2311)	110 (2794)

Ilustración 5 - Selección de mallas coanda

Fuente: (ELGIN Separation Solutions)

Para un caudal de 100 L/s existirían algunas opciones las cuales se deberán analizar dependiendo del espacio que se tiene para la captación. Para este caudal teórico se podrían utilizar el perfil A0.5 que tiene una capacidad de 46 L/s por cada metro de rejilla. Para esto se debería ver cuantos metros de este perfil se necesitarían para obtener 100 L/s utilizando la siguiente formula.

$$\text{Caudal Necesario} = \text{Metros de Rejilla} * \text{Capacidad Perfil} \times m$$

$$\text{Metros de Rejilla} = \frac{\text{Caudal Necesario}}{\text{Capacidad Perfil} \times m}$$

$$\text{Metros de Rejilla} = \frac{100 \frac{L}{s}}{46 \frac{L}{s} \times m}$$

$$\text{Metros de Rejilla} = 2.18 m$$

Se puede ver en la resolución que de un perfil A0.5 se necesitarían 2.18 m de rejilla para lograr captar 100 L/s teóricos. Este proceso se lo debe realizar como un pre-dimensionamiento de la rejilla que se lo confirmara con el programa *Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens*.

Una vez se tenga una idea del perfil que se va a utilizar se podrá comprobar las dimensiones de los paneles Coanda, su inclinación, la aceleración de caída y las condiciones del flujo en el programa. Se debe diseñar para que la cantidad de caudal que pase por el panel coanda sea el más optimo ajustando todos los parámetros. Dependiendo de eso se deberá tomar en cuenta el salto hidráulico ya que este puede generar que el agua que va con velocidad en algún punto no tope la rejilla. Para el correcto funcionamiento de esta rejilla y ya que se la diseña para un caudal específico se debe asegurar que el flujo de agua tope en todo momento a la rejilla a que pueda realizar el efecto coanda y atrapar el agua. De esta manera se logrará captar la cantidad de agua para la cual se está diseñado evitando que el salto hidráulico afecte la captación. Este programa se usó en diseño de las captaciones para las hidroeléctricas San José de Minas y El Laurel las cuales son evaluadas en el capítulo 5. El ángulo y la separación de las

rejillas es importante y son tomados en cuenta en el programa para el cálculo de la cantidad de caudal que pasa.

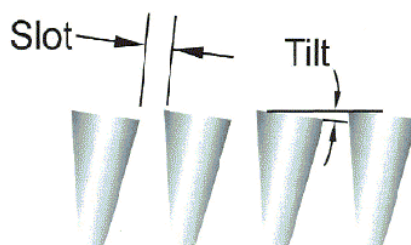


Ilustración 6 - Separación y ángulo de las rejillas coanda

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

En la siguiente ilustración 7 se observa el programa que se utiliza para el diseño de las rejillas coanda las cuales permiten obtener las dimensiones para la construcción. En esta parte se muestra las configuraciones de la estructura de la rejilla y sus dimensiones.



Ilustración 7 - Estructura rejilla coanda en programa

Fuente: (Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens)

En la ilustración 8 se ve las características de la placa de aceleración la cual va a determinar cuanta descarga se tendrá de la rejilla. En esta se ajusta la altura de la pantalla, en ángulo de inclinación y para cuanta descarga se diseña.

Structure	Accelerator Plate	Screen	Flow Condition
Crest Shape <input checked="" type="radio"/> Ogee Crest (discharge coefficient varies) <input type="radio"/> Generic Crest (constant discharge coefficient)		Solve for... Design Discharge	
<input type="button" value="Put Ogee Crest Design Details on Clipboard"/>		Accelerator Drop (Ha)	0.685 m
		Top-of-Screen Inclination	60 degrees
		Design Discharge, Q0	1.005 m ³ /s
		Approach Channel Weir P-Height	0.48 m

Ilustración 8 - Placa de aceleración en el programa

Fuente: (Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens)

En la ilustración 9 se muestra las especificaciones de la pantalla de la rejilla, en esta el espaciamiento de la rejilla que es de 1 mm, está el ángulo de inclinación lo cual determinara cuantas rejillas estarán, en este caso 443 rejillas formaron parte de la pantalla.

Structure	Accelerator Plate	Screen	Flow Condition
Screen Units	mm	Screen Coefficient, C_{cv}	
Screen Slot Size, s	1 mm	<input checked="" type="radio"/> Default Equation $C_{cv} = 3.537 (\delta + \psi)^{-0.539}$	
Screen Wire Width, w	1.5 mm	<input type="radio"/> Wahl (2001) - OBSOLETE	
Screen Wire Tilt Angle, phi	5 degrees	<input type="radio"/> Custom Equation	
Wire Offset Height	0.21983 mm	$C_{cv} = m2(\delta + \psi)^2 + m1(\delta + \psi) + b$	
Number of Slots	443		

Ilustración 9 - Pantalla y espaciamiento en el programa

Fuente: (Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens)

En la ilustración 10 se debe ingresar las condiciones del caudal del río, también esta muestra la profundidad del estanque que se debe hacer antes de la rejilla en este caso teórico se usó un caudal de un rio de 1000 L/s lo cual genero un reservorio de 0.445 m antes de la rejilla.

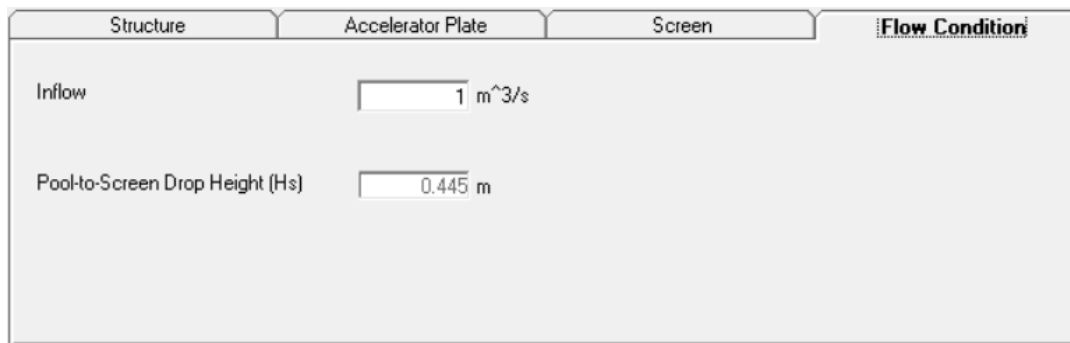


Ilustración 10 - Caudal en el programa

Fuente: (Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens)

Una vez obtenidos las dimensiones de la rejilla se puede proceder a el diseño de la captación del río. En la ilustración 11 se puede ver un esquema con las dimensiones obtenidas del programa. Cabe recalcar que al utilizar este tipo de rejillas ya no se necesitara el diseño de desarenadores ya que una de las propiedades principales de este tipo de captaciones es que poco paso de sedimentos. Se debe tomar en cuenta que se deben considerar varios aspectos como el caudal de diseño, el caudal ecológico, las curvas de duración del río, la sedimentología, limitación de espacio, crecidas del rio, altura de carga los cuales son los principales parámetros de diseño.

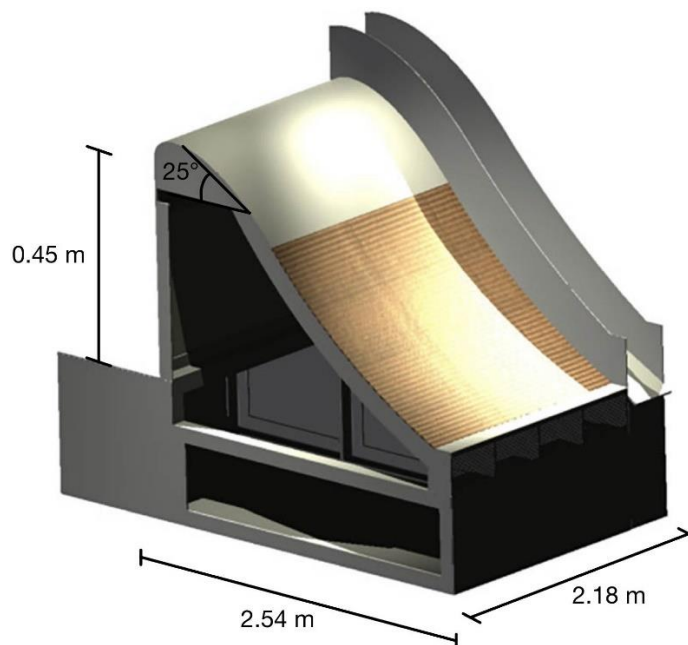


Ilustración 11 - Esquema rejilla coanda

3.2 Diseño de captaciones laterales

En el diseño de la captaciones laterales o caucasianas se capta el agua de fuentes hídricas superficiales. Primero se debe conocer es la cantidad que se puede y se quiere captar de la fuente hídrica en este caso del río. Después de realizar los estudios hidrológicos del río se realiza la evaluación de cuanto caudal puedo obtener del río durante el año. Se toma un promedio el cual se lo llama caudal medio y este es usado como el caudal de diseño (Moreno, 2004). Dependiendo de esto se procederá a diseñar la captación de ese caudal observando limitantes como el espacio y la topografía del terreno. Obteniendo el caudal promedio diario se inicia con el cálculo, conociendo la altura del río, el espacio que se tiene para el diseño y el caudal que se busca captar. Se utilizará el ángulo de inclinación de las barras y se lograran obtener los datos para su diseño. Para facilitar el diseño se realizará un programa en MathCad donde se podrá iterar varias veces para obtener el diseño óptimo para cada captación.

En la ilustración 12 se puede ver un esquema con las partes de la rejilla de una captación lateral, todas estas deberán ser calculadas con las fórmulas presentadas posteriormente. En esta se observa A_f que es el área de flujo, A_s el área de las rejillas, a es espaciamiento entre rejillas, s el grosor de la rejilla, l la altura de las rejillas, b el ancho de toda la captación tradicional y β el ángulo de inclinación de las rejillas.

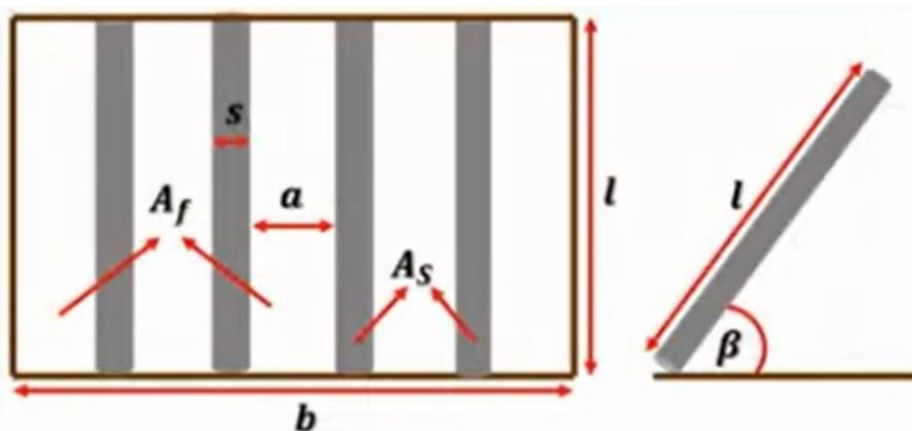


Ilustración 12 - Esquema de captación lateral

Fuente: (Moreno, 2004)

$$Af = \frac{c * Q}{k * Va}$$

$$Af = a * (n + 1) * l$$

$$As = n * s * l$$

$$At = Af + As$$

$$At = b * l * \text{sen}(\beta)$$

Fuente: (Moreno, 2004)

Donde:

Af = área de flujo

As = área de las barras

At = área total

c = coeficiente de colmatación (1.5 – 2.0)

k = coeficiente de forma de barra

Va = velocidad

Q = caudal de diseño

n = numero de barras

a = espacio entre barras

s = grosor de la barra

b = profundidad de la barra

l = longuitud de la barra

β = inclinación

Fuente: (Moreno, 2004)

Para los coeficientes *c* de colmatación dependerá de la superficie libre de la reja, y el coeficiente de arrastre *Cx* o *k* de arrastre utilizamos la siguiente tabla 1 que dependerá del tipo de barra que se vaya a utilizar. Este coeficiente depende del arrastre o resistencia que puede generar la barra contra el agua según su forma.








Forma		Coefficiente de arrastre frontal C_x
Esfera	→ 	0.47
Semiesfera	→ 	0.42
Cono	→ 	0.50
Cubo	→ 	1.05
Cubo inclinado	→ 	0.80
Cilindro largo	→ 	0.82
Cilindro corto	→ 	1.15

Tabla 1 - Coeficiente de la barra

Fuente: (Clancy L. J., 1975)

Utilizando estos coeficientes y las fórmulas presentadas se puede tener un diseño de la captación lateral con sus espaciamientos de barras, números de barra, largo y alto de la captación.

3.3 Diseño para desarenadores

Para el diseño de captaciones tradicionales sin las mallas coanda debido al paso de sedimentos se debe construir después de la captación un desarenador. El principal objetivo de este es disminuir la velocidad del flujo para que de esta manera las partículas caigan por la fuerza de gravedad el fondo del desarenador. Para este diseño se necesita el caudal de diseño, el diámetro máximo de los sedimentos, la velocidad de sedimentación y la sección mínima. Con todos esos datos podremos calcular el empuje ascensional que es la fuerza de flotación, la velocidad sedimentación efectiva, la longitud del desarenador, tiempo de decantación y el tiempo de sedimentación. Se creó un Excel para facilitar el diseño del desarenador y poder iterar varias veces hasta conseguir el diseño óptimo para cada captación. (Boss Tech, 2014)

Las fórmulas que se utiliza para este diseño son las siguientes, empuje ascensional, la velocidad de sedimentación, la longitud del desarenador y el tiempo de sedimentación.

$$W = 0.152 * V_s$$

$$V'_s = V_s - W$$

$$L = \frac{V_d * h}{V_s - W}$$

$$t_s = \frac{h}{V'_s}$$

Fuentes: (Gonzalez, 2022)

Donde:

W = empuje Ascensional

V_s = velocidad Sedimentacion

V'_s = velocidad Sedimentacion Efectiva

V_d = velocidad Horizontal

L = longitud

h = altura

td = tiempo de Decantacion

ts = tiempo de Sedimentacion

Fuentes: (Gonzalez, 2022)

En la siguiente ilustración 13 se puede ver un esquema de cuál es la función del desarenador que permite que los sedimentos grandes como grava caigan al inicio y los sedimentos más pequeños como arena tengan el tiempo necesario para que caigan al final del desarenador. Esto permite que el agua sin sedimentos de la superficie avance hacia el canal de conducción.

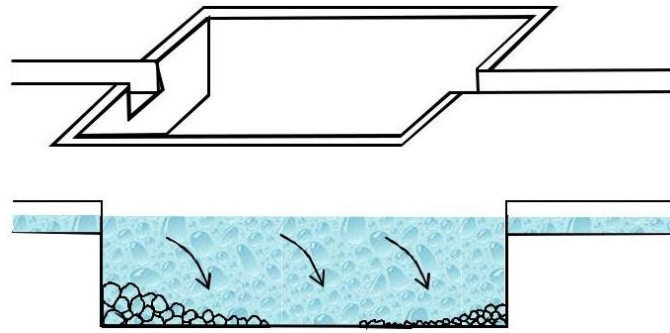


Ilustración 13 - Desarenador

Fuente: (Cajias, 2017)

En la ilustración 14 se puede ver un corte transversal de un desarenador donde se ve la velocidad ascensional que ejercen en las partículas de arena, y al fondo la arena ya en reposo. Esta velocidad ascensional es importante calcularla para poder conocer que tan largo debe ser el desarenador.

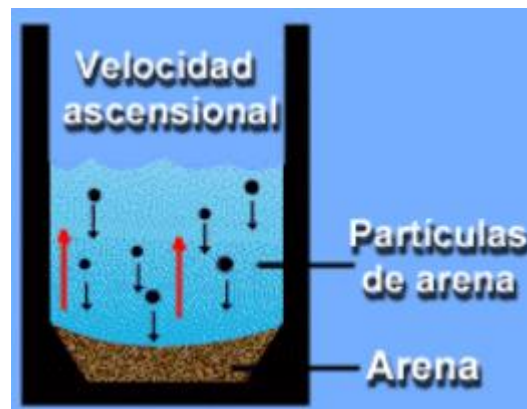


Ilustración 14 - Desarenador flujo vertical

Fuente: (USAL, n.d.)

4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE PROYECTOS A COMPARAR

4.1 Proyecto Hidroeléctrico el Laurel

4.1.1 Datos Generales del Proyecto

El proyecto El Laurel está ubicado en la cuenca del Río de la Plata, al noroccidente de la provincia del Carchi cercano a la frontera con Colombia. La captación está ubicada en la parroquia La Concepción del cantón Mira como se observa en la ilustración 15. Cuenta con una caída de 93 metros los cuales le permiten a la central generar 1MW. En su captación se utilizaron mallas coanda, por lo que no requirió de un desarenador y en su diseño se puede ver como pasa de la captación al canal de conducción.



Ilustración 15 - Mapa cantón Mira

Fuente: (Mira, 2013)

4.1.2 Hidrología

El estudio hidrológico de este proyecto estuvo a cargo de Edison Heredia y Rita Benítez, donde apoyado de dos estaciones hidrológicas cercanas Lita y Blanca logro obtener los caudales del río de la Plata. Esto debido a que no existían instrumentos en el río de la Plata.

En la siguiente tabla 2 se muestran el nombre, ubicación, elevación y área de las estaciones hidrológicas utilizadas para los cálculos hidrológicos del río de la plata para el proyecto el laurel.

Estaciones Hidrológicas													
COD	Nombre	Tipo	Latitud				Longitud				Elev. msnm	Provincia	Área
H012	LITA AJ MIRA	LG	0°	50'	20"	N	78°	27'	28"	W	505	CARCHI	464.1
H013	BLANCO AJ MIRA	LG	0°	45'	42"	N	78°	16'	28"	W	890	CARCHI	160.3

Tabla 2 - Ubicación estaciones hidrológicas El Laurel

Fuente: (Heredia Claderón & Benitez Bustamante, 2015)

Los datos de estas estaciones ayudaron a poder calcular valores aproximados de la cuenca del Río de la Plata. Ya que estas poseen una climatología parecida ya que se encuentran cercanas, se puede calcular la hidrología con el área de la cuenca utilizando un factor de seguridad. Observando su precipitación media se obtuvieron los siguientes datos de la tabla 3 los cuales a su vez nos permitieron obtener las curvas de intensidad.

Cuenca del Río de la Plata				
Área	Rango		Precipitación	Ai*Pi
Km ²			mm	
2.05	800		800	1640.0
18.99	800	900	850	16141.5
33.07	900	1000	950	31416.5
34.19	1000	1200	1100	37609.0
16.85	1200	1500	1350	22747.5
13.66	1500	2000	1750	23905.0
8.11	2000	2500	2250	18247.5
1.38	2500	0000	2750	3795.0
128.30			11800	155502.0
Precipitación Media= 1212 mm				

Tabla 3 - Precipitación de Río de la Plata

Fuente: (Heredia Claderón & Benitez Bustamante, 2015)

En el estudio hidrológico igual se presentó las probabilidades de los caudales de Río de la Plata que se presentan en la tabla 4. En este se pueden observar los caudales en m³/s en cada mes del año con su respectiva probabilidad de ocurrencia.

Caudales Río de la Plata en m ³ /s												
Prob.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5%	11.5	9.4	10.0	10.7	10.2	6.9	4.1	3.5	3.3	7.8	10.4	10.4
10%	10.0	8.1	8.7	9.4	8.8	5.9	3.4	2.8	2.8	6.5	8.9	8.9
20%	8.4	6.7	7.3	8.1	7.4	4.8	2.7	2.1	2.2	5.1	7.3	7.2
30%	7.4	5.8	6.4	7.2	6.4	4.1	2.3	1.6	1.9	4.2	6.2	6.2
40%	6.5	5.1	5.7	6.5	5.7	3.5	1.9	1.3	1.6	3.6	5.4	5.4
50%	5.8	4.5	5.1	5.8	5.0	3.1	1.6	1.0	1.4	3.0	4.7	4.7
60%	5.2	4.0	4.5	5.3	4.4	2.7	1.4	0.8	1.2	2.5	4.0	4.0
70%	4.5	3.4	3.9	4.7	3.8	2.2	1.1	0.6	1.0	2.1	3.4	3.4
80%	3.8	2.9	3.3	4.1	3.2	1.8	0.9	0.4	0.8	1.6	2.8	2.8
90%	3.0	2.2	2.6	3.3	2.5	1.3	0.6	0.2	0.6	1.1	2.1	2.1
95%	2.4	1.7	2.1	2.8	2.0	1.0	0.4	0.1	0.4	0.8	1.6	1.6

Tabla 4 - Probabilidad de caudales en el Río de la Plata

Fuente: (Heredia Claderón & Benitez Bustamante, 2015)

Con la tabla 4 se puede graficar las diferentes curvas para poder observar de mejor manera los meses con mayor caudal y sus distintas probabilidades. Se observa en la gráfica 1 los meses de julio, agosto y septiembre son los que tiene caudales más bajos ya que es época de verano donde existen menos lluvias.

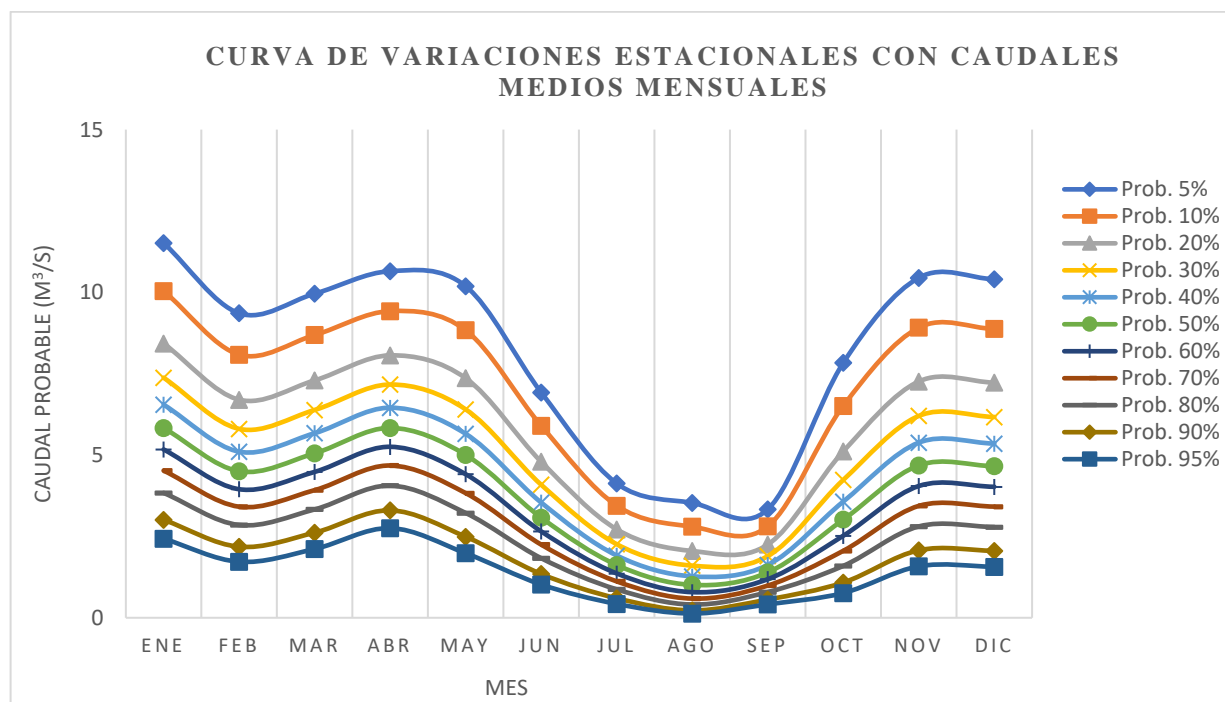


Gráfico 1 - Curvas de variación de caudales mensuales

Fuente: (Heredia Claderón & Benitez Bustamante, 2015)

El estudio hidrológico determino que el caudal promedio diario para el cual debe ser diseñado esta central es de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, esto tomando en cuenta el caudal ecológico adaptado. Se observo en el estudio hidrológico que un 66% del tiempo va a tener un caudal mayor para el cual va a ser diseñado. Obteniendo así un 34% del tiempo donde la central operara con un caudal menor del diseño. Se observaron igualmente estudios sobre las posibles crecidas en diferentes periodos de retorno lo cuales son importantes para diseños de vertedero de excesos. (Heredia Claderón & Benitez Bustamante, 2015)

4.1.3 Diseño

En el diseño de la captación para este proyecto se utilizó la malla coanda la cual esta mostrada en planos. En la zona de color verde se puede observar la malla que transporta el agua a el canal de conducción. Aquí se puede comprobar que los diseños se los realiza sin desarenadores por la utilización de la malla.

La siguiente ilustración 16 muestra los planos en vista en planta de la captación mostrando el azud, la rejilla, el canal de conducción y el vertedero de excesos.

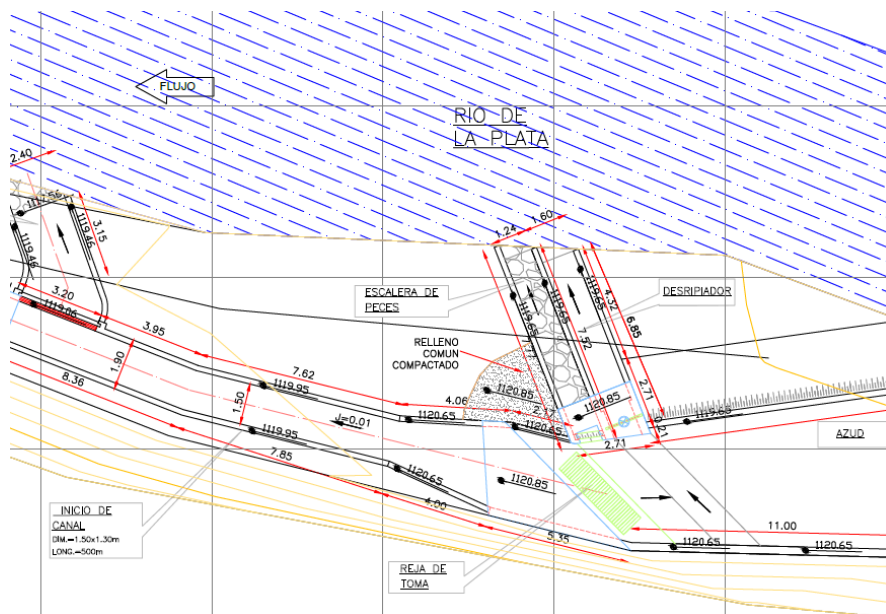


Ilustración 16 - Diseño en planta de la captación del proyecto El Laurel

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

En la siguiente ilustración 17 se ve el plano más detallado de las medias de la rejilla y como fue implementada en todo el sistema de captación.

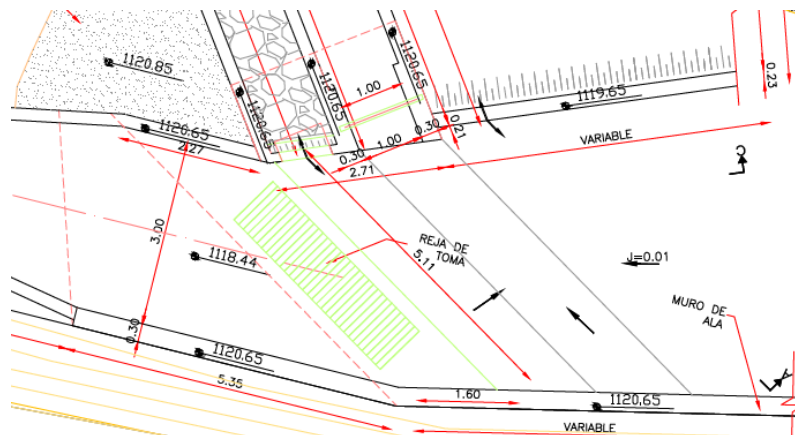


Ilustración 17 - Vista planta en zona de malla Coanda

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

El diseño de la captación del río se la realiza dependiendo del diseño de la malla ya que se busca acoplar todo el sitio de captación para que la malla logre su mayor eficiencia. Calculando las dimensiones de la malla en el programa se debe diseñar para que los espacios cumplan con los requerimientos para un buen funcionamiento de esta.

En la siguiente tabla 5 se muestra las dimensiones de la rejilla Coanda con todas sus especificaciones.

DATOS DE LA MALLA	
Longitud de la malla	7.23m
Radio	2.24m
Angulo de arco	34.52°
Angulo de ingreso al coanda	5°
Alto placa de aceleración	0.45m
Alto de acercamiento de la placa	0.15m
Radio de la placa de aceleración	1.45m
Apertura de malla coanda	1.00mm

Tabla 5 - Datos de la malla El Laurel

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

La siguiente ilustración 18 muestra una imagen de la malla coanda instalada en el río de la plata y su funcionamiento dejando. Se puede ser como cierto caudal pasa por encima de la placa de aceleración donde el agua ingresa sin los sedimentos.



Ilustración 18 - Fotografía de malla coanda en El Laurel

Fuente: (CBS Ingeniería)

4.1.4 Cálculo Aproximado de Volúmenes en la Captación

Utilizando las medidas de los diseños se procederá a sacar volúmenes aproximados de la captación utilizando la rejilla Coanda. Estos ayudaran a poder compararlos con diseños aproximados del mismo rio, pero con captación lateral con su desarenador. Para el cálculo aproximado del volumen utilizado se calcularon las medidas de la rejilla y utilizando un espesor de 20 cm en las paredes se procedió al cálculo de volumen aproximado de las paredes de los laterales, pared del azud y el suelo.

En la siguiente ilustración 19 se ve una captura de una hoja de MathCad donde se calcula el volumen total aproximado de la captación utilizando rejilla coanda. Usando el largo, altura de la malla, altura del azud, ancho de los muros y el radio se obtuvieron los siguientes valores.

Calculo de Volúmenes		
Captación Malla Coanda:		
$Largo := 7.23 \text{ m}$	$Altura_Malla := 0.45 \text{ m}$	$Altura_Azud := 2.70 \text{ m}$
$Ancho_Muro := 20 \text{ cm}$	$Radio := 2.24 \text{ m}$	
$Vol_Suelo_Muro_Azud := 2 (Largo \cdot Radio \cdot Ancho_Muro) = 6.478 \text{ m}^3$		
$Vol_Lados := 2 (Radio \cdot Altura_Azud \cdot Ancho_Muro) = 2.419 \text{ m}^3$		
$Volumen_Cap_Coanda := Vol_Suelo_Muro_Azud + Vol_Lados = 8.897 \text{ m}^3$		

Ilustración 19 - Calculo volumen captación coanda El Laurel

Fuente: (Marín, Calculo Volúmenes Malla Coanda, 2022)

El valor obtenido de volumen aproximado en la captación con rejilla coanda en el proyecto hidroeléctrico El Laurel es de 8.897 lo cual nos permitirá comparar con el volumen de una captación sin este tipo de rejilla.

4.1.5 Problemas de la Experiencia de la Operación

Uno de los problemas en esta hidroeléctrica es la presencia de no solo partículas en el agua si no que sin que haya grandes crecidas el río trae bastante basura lo cual tapa y no permite el correcto funcionamiento de las rejillas coanda. Por esta razón se tuvo que implementar una trampa de basura antes para que la rejilla pueda funcionar correctamente.

4.2 Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas

4.2.1 Datos Generales del Proyecto

El proyecto San José de Minas está ubicado en el río Cubi, que capta el agua de los ríos Perlabi y Cubi. En el cantón Quito, provincia Pichincha esta central logra generar 6MW después de transportar el agua por el canal de 4.5km hacia la tubería de presión donde baja 270 metros. La pendiente media del río es de 3.50% con lo que se logra aprovechar y cortar el tramo para generar energía. En la ilustración 20 se puede ver la ubicación del cantón Quito dentro del Ecuador y en la ilustración 21 la ubicación de la parroquia San José de Minas dentro del cantón.



Ilustración 20 - Cantón Quito



Ilustración 21 - Parroquia San José de Minas

Fuente: (Alfonfin, 2010)

4.2.2 Hidrología

Los estudios hidrológicos del proyecto San José de Minas fueron realizados por el ingeniero Esteban Uribe utilizando herramientas en el sitio ya que el río Cubi si disponía de un medidor por lo que la obtención de los datos fue más fácil y exacta. Con la recolección de datos de varios años se sacó un promedio general de los caudales en los diferentes meses pudiendo obtener el caudal medio de cada mes que es lo que se utilizó para los diseños de la captación y poder analizar el mejor tipo de captación para este río.

En la tabla 5 se pueden ver los resultados obtenidos de los diferentes caudales en los diferentes meses. Se presentan el caudal medio, el caudal máximo y el caudal mínimo de cada mes y un promedio anual.

Valores medios mensuales [m^3/s]													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Qmed	5.16	6.78	6.13	7.05	5.97	4.75	3.78	3.26	3.02	3.34	4.08	4.33	4.80
Qmáx	13.78	20.59	13.27	15.56	11.72	8.35	8.83	6.78	6.27	6.87	11.97	8.73	7.56
Qmín	0.34	0.72	1.25	0.87	0.34	1.31	1.02	0.69	0.96	0.48	0.18	0.41	2.27

Tabla 6 - Caudales Río Cubi

Fuente: (Uribe)

También se presentaron análisis de los caudales de crecida en diferentes periodos de retorno. Esto es importante ya que en este estudio se puede determinar los vertederos de excesos que se deben realizar a que la central no tenga que parar operación por grandes crecidas. En la tabla 6 se pueden ver el caudal de crecida máximo con su periodo de retorno de 10 hasta 100 años.

Tr (años)	Caudal (m^3/s)
10	50
20	66
50	87
100	118

Tabla 7 - Caudales de crecida

Fuente: (Uribe)

El estudio hidrológico pudo concluir que a niveles normales de operación la central podría captar $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$ y en el nivel máximo de $8.50 \text{ m}^3/\text{s}$. Para el caudal de crecida en un tiempo de retorno de 100 años se calculó que se necesitaría un vertedero de excesos de $5.80 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto se puede ver en la tabla 8 del estudio hidrológico. (Uribe)

Descripción	Q captado (m^3/s)	Q compuerta (m^3/s)	Q vertedero emergencia (m^3/s)
Nivel normal de operación	2.70	2.70	0.00
Nivel normal máximo	8.50	2.70	5.80

Tabla 8 - Caudales San José de Minas

Fuente: (Uribe)

El estudio hidrológico finalmente determino que la hidroeléctrica podría producir con 3 m³/s después de sacar un promedio de todos los caudales en varios años de registro. Al ser una zona donde la variación de caudales es muy grande dependiendo de los meses del año se comprobó que se es justificado elevar un poco el caudal medio para generar en meses más energía y en los meses de poca lluvia que la central no trabaje a su máxima capacidad. (Uribe)

4.2.3 Diseño

El diseño de la hidroeléctrica San José de Minas usaba una captación de paso con un azud de derivación y toma lateral tradicional. Con fines de mejorar, optimizar y economizar se implementó el sistema de mallas Coanda. Esta no tiene un diseño de desarenador ya que pasa directo de la rejilla coanda a el canal de conducción. La obra de captación se la realizo en función de las dimensiones de la malla para lograr satisfacer las necesidades del diseño.

En la ilustración 22 se puede ver la vista en planta de la captación del río Cubi donde el rio pasa primeramente por una rejilla normal para evitar paso de troncos o piedras, después entra y cae en la rejilla coanda donde posteriormente sale por el canal de conducción.

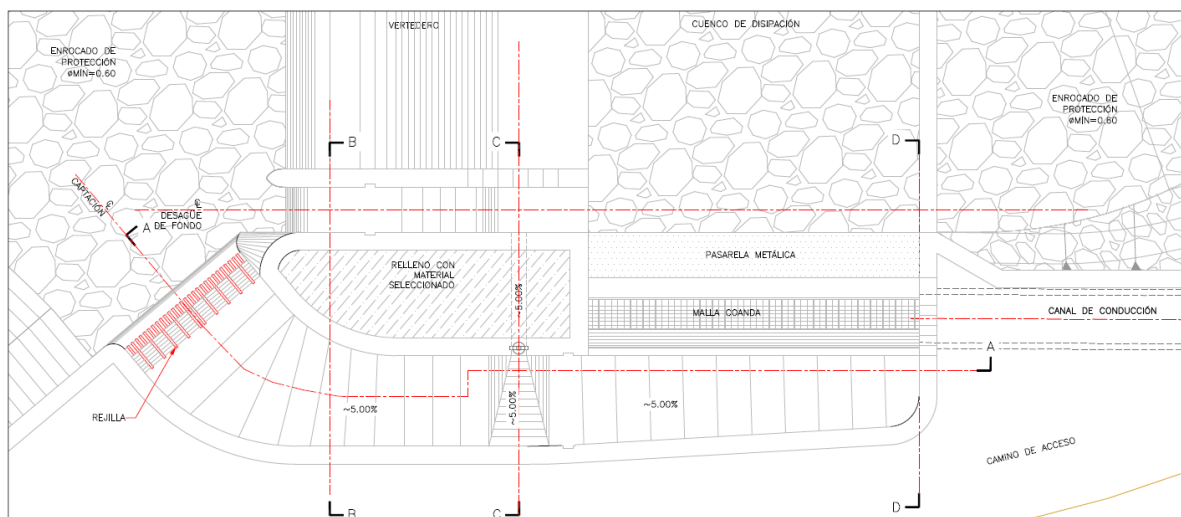


Ilustración 22 - Vista planta captación San José de Minas

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

En la ilustración 23 se observa con mayor detalle las medidas de la captación y las zonas donde está ubicada la malla. Se ve de igual manera el canal de lavado para los sedimentos estancados.

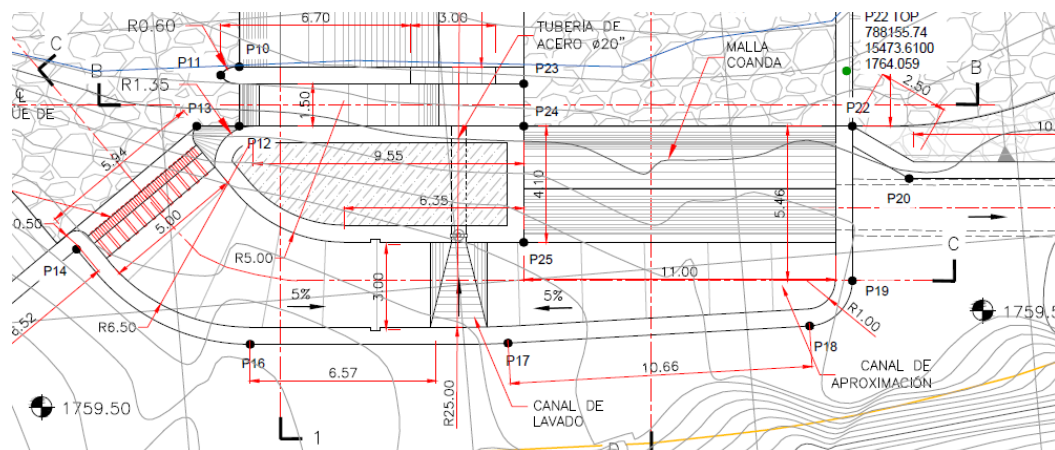


Ilustración 23 - Vista Zona Malla Coanda San José de Minas

Fuente: (CBS Ingeniería, 2017)

Los diseños de las mallas Coanda fueron de 10.32m con un radio de 2.45m y un ángulo de arco de 34.52°. Esto fue diseñado para un caudal de 2.70 m³/s. La placa de aceleración es de acero inoxidable de 40 cm. Todos estos datos se los puede ver en la tabla 9 que se obtuvo del informe de la constructora.

DATOS DE LA MALLA	
Longitud de la Malla	10.32m
Radio	2.45m
Angulo de Arco	34.52°
Angulo de ingreso al Coanda	50°
Alto Placa de Aceleración	0.40m
Alto de Acercamiento de la placa	0.15m
Radio de la placa de aceleración	1.13m
Apertura de malla Coanda	1.00mm

Tabla 9 - Datos de la Malla San José de Minas

Fuente: (CBS Ingeniería)

En la ilustración 24 se puede ver la malla Coanda que fue implementada en la captación del río Cubi para la central hidroeléctrica San José de Minas.



Ilustración 24 - Malla San José de Minas

Fuente: (CBS Ingeniería)

4.2.4 Cálculo Aproximado de Volúmenes en la Captación

Utilizando las medidas de los diseños se procedió a sacar volúmenes aproximados de la captación utilizando la rejilla Coanda. Estos ayudaron a poder compararlos con diseños aproximados del mismo río, pero con captación lateral con su desarenador.

Para este cálculo se necesitó el largo de la captación, la altura de la malla, la altura del azud, con un espesor de paredes de 20 cm y el ancho de la malla. La ilustración 25 se ve una captura de pantalla de Mathcad donde se ve el cálculo del volumen aproximado según las dimensiones dadas en los diseños. Con el largo de 11m, una altura de malla de 40 cm, una altura de azud de 2.45 m y el ancho de la malla de 4.10 m dio como resultado un aproximado de 22.058 m³ el volumen general de toda la captación. Con este valor se analizó la viabilidad de la implementación de este tipo de captación en este río tomando en cuenta que se presentan dos captaciones una antes tradicional y después la de la rejilla coanda.

Calculo de Volúmenes		
Captación Malla Coanda:		
$Largo := 11 \text{ m}$	$Altura_Malla := 0.40 \text{ m}$	$Altura_Azud := 2.45 \text{ m}$
$Ancho_Muro := 20 \text{ cm}$	$Ancho := 4.10 \text{ m}$	
$Vol_Suelo_Muro_Azud := 2 (Largo \cdot Ancho \cdot Ancho_Muro) = 18.04 \text{ m}^3$		
$Vol_Lados := 2 (Ancho \cdot Altura_Azud \cdot Ancho_Muro) = 4.018 \text{ m}^3$		
$Volumen_Cap_Coanda := Vol_Suelo_Muro_Azud + Vol_Lados = 22.058 \text{ m}^3$		

Ilustración 25 - Calculo volumen captación coanda San José de Minas

Fuente: (Marín, Calculo Volúmenes Malla Coanda, 2022)

4.2.5 Problemas de la Experiencia de la Operación

Algunos problemas que se han podido presenciar después de algunos años en funcionamiento es al momento de las crecidas. El río empieza a traer ya no solo partículas de arena sino rocas de grandes tamaños las cuales golpearon a las rejillas al momento de pasar por ellas deformándolas y cambiando su eficiencia. Al cambiar mínimamente el ángulo de las rejillas como se vio anteriormente cambia las cantidades de caudal que ingresan a veces no permite que el agua fluya con normalidad afectando al efecto de autolimpieza que poseen este tipo de rejillas.

5 DISEÑO ALTERNATIVO AL PROYECTO EXISTENTE PARA SU COMPARACION

5.1 Proyecto Hidroeléctrico El Laurel

5.1.1 Diseño Alternativo Bocatoma Lateral

Para el diseño de la bocatoma lateral como ya se mencionó el capítulo 3 apartado 3.2 se muestra una captura de pantalla programa realizado en Mathcad el cual ingresando el espesor de la rejilla de 4cm, el caudal de diseño de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, la velocidad de entrada de 1 m/s , el grosor de la barra de $\frac{3}{4} \text{ in}$, el largo de la barra de 1 m , el coeficiente de colmatación de 1.5 y el coeficiente de arrastre de 0.82 se inició el cálculo.

Primero se obtuvo el área del flujo que dio 1.829 m^2 con lo cual se sacó el número de barras necesarias dando 45 barras en toda la captación. Después se calculó el área de las barras, con lo que sumando con el área de flujo nos dio el área total de 2.687 m^2 . Para la profundidad de la barra se usó el área total, el largo de la barra y el ángulo que va a tener dando el resultado de 2.687 m . Por último, para calcular el largo de la captación se sumó el número de barras por el espesor más el número de barras menos 1 y multiplicado por el espaciamiento, dando un largo de 2.617 m . Todos estos cálculos se los ven en la ilustración 27 y el esquema de las dimensiones en la ilustración 26.

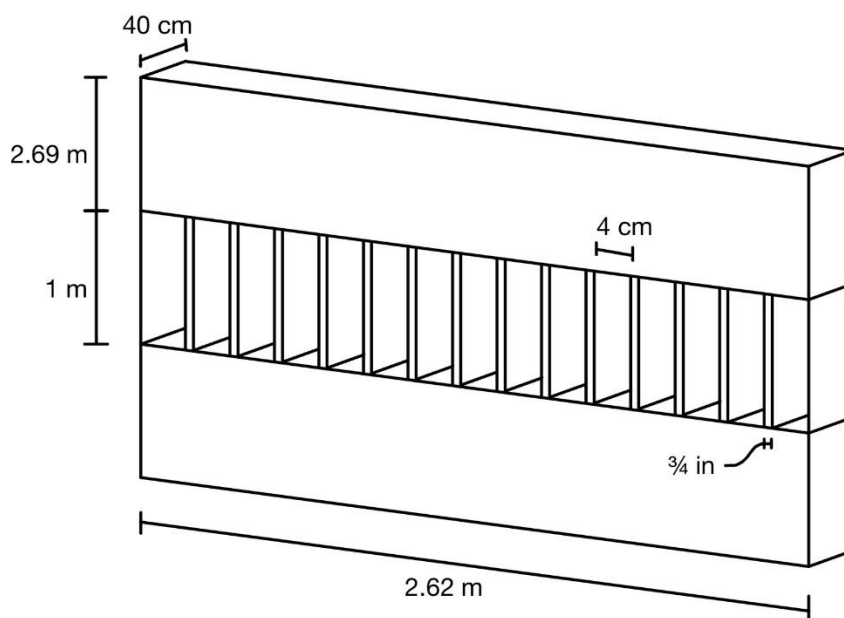


Ilustración 26 - Esquema captación lateral El Laurel

Diseño de Captación Lateral

Datos:

$$a := 4 \text{ cm} \quad Q := 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad Va := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad s := \frac{3}{4} \text{ in} = 1.905 \text{ cm} \quad \beta := 90^\circ \quad l := 1 \text{ m}$$

$$c := 1.5 \quad k := 0.82$$

Cálculos:

$$Af := \frac{c \cdot Q}{k \cdot Va} = 1.829 \text{ m}^2 \quad n := \frac{Af}{l \cdot a} - 1 = 44.732 \quad \text{ceil}(n) = 45 \text{ barras}$$

$$As := \text{ceil}(n) \cdot s \cdot l = 0.857 \text{ m}^2 \quad At := Af + As = 2.687 \text{ m}^2 \quad b := \frac{At}{l \cdot \sin(\beta)} = 2.687 \text{ m}$$

$$\text{Largo_Captacion} := (\text{ceil}(n) \cdot s) + ((\text{ceil}(n) - 1) \cdot a) = 2.617 \text{ m}$$

Ilustración 27 - MathCad para diseño de captaciones laterales EL

Fuente: (Marín, Diseño de Captaciones Laterales, 2022)

En la siguiente tabla 10 están los datos ingresados en el MathCad y los resultados del diseño de captación lateral para el proyecto El Laurel.

Dimensiones de Captación Lateral	
Espacio entre barras	4 cm
Grosor de las barras	¾ in
Longitud de la barra	1 m
Numero de barras	45
Tipo de barra	Cilindro Largo
Área de Flujo	1.83 m ²
Área de las barras	0.86 m ²
Área total	2.687 m ²
Profundidad de la barra	2.69 m
Largo de Captación	2.62 m

Tabla 10 - Resultados diseño captación lateral EL

5.1.2 Diseño Alternativo Desarenador

Para el diseño alternativo del proyecto El Laurel se deben diseñar una desarenador ya que al no tener una rejilla coanda está si permite el paso de partículas de arena. En este se darán las dimensiones mínimas dependiendo de todas las características del río.

Para facilitar se hizo un Excel que realizo los cálculos presentador en el capítulo 3 apartado 3.3 donde con el caudal de diseño de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, la altura 2 m, la velocidad de sedimentación de 0.02 m/s , la velocidad horizontal de 0.1m/s , la sección mínima de 3.7 m^2 y el ancho de 3 m. Estos datos se ven en la tabla 11.

Desarenador Datos		
Qd (Caudal de Diseño)	1	m ³ /s
H (Altura)	4	m
dlim (Diámetro Limite)	0.2	mm
Vs (Velocidad de Sedimentación)	20	mm/s
Vd (Velocidad Horizontal)	100	mm/s
S (Sección Mínima)	3.7	m ²
B (Ancho)	3	m
h (Altura)	2	m
W (Empuje Ascensional)	3.04	mm/s

Tabla 11 - Datos desarenador El Laurel

Se calculo el empuje ascensional con multiplicando 0.152 por la velocidad de sedimentación (Gonzalez, 2022). Con ese valor se logra tener la velocidad de sedimentación efectiva que se le resta a la velocidad de sedimentación que es 100 mm/s menos el empuje ascensional de 3.04 mm/s . Este empuje va para arriba y la velocidad de sedimentación para abajo por esta razón para obtener la efectiva se las tiene que restar. Para obtener el largo se necesita la velocidad horizontal en el desarenador que es de 0.1 m/s , la altura que es de 2 m y la velocidad de sedimentación efectiva calculada. Dando un largo de 11.792 m los cuales nos servirán para el cálculo de volúmenes. Por último, se calculó el tiempo de sedimentación dividiendo la altura de 2 m para la velocidad de sedimentación efectiva dando 117.92 segundos que se demorara una partícula de arena en topar el fondo del desarenador.

Resultados		
W (Empuje Ascensional)	3.04	mm/s
	$W = 0,152 V_s$	
V's (Velocidad Sedimentación Efectiva)	16.96	mm/s
	$V'_s = V_s - W$	
L (Longitud)	11.8	m
	$L = \frac{Vd \cdot h}{V_s'} = \frac{Vd \cdot h}{V_s - W}$	
td (Tiempo de Decantación)	1.97	min
	$t_s = \frac{h}{V_s'}$	
ts (Tiempo de Sedimentación)	1.97	min

Tabla 12 - Resultados desarenador El Laurel

Fuente: (Marín, Diseño de Desarenadores, 2022)

En la ilustración 28 se puede ver un esquema completo con las dimensiones calculadas para el desarenador de El Laurel.

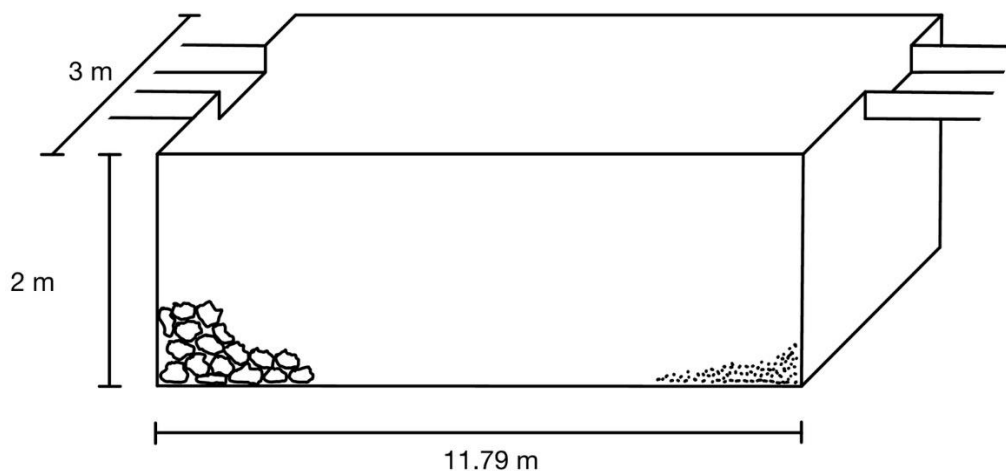


Ilustración 28 - Esquema desarenador El Laurel

5.1.3 Cálculo Aproximado de Volúmenes

Para el cálculo de los volúmenes de los diseños alternativos se deben sumar los de la captación más los del desarenador. Para el cálculo de el volumen en la captación lateral se usó el largo de la captación que es 2.65 m, la altura que es 2.70 m y el espesor de las paredes de 40 cm.

Para sacar el volumen aproximado se multiplico estos datos dando como resultado un volumen de 2.862 m^3 , los cuales posteriormente se sumarán los del desarenador. Para el cálculo aproximado del volumen de desarenador se usó el largo de 11.80 m , el ancho de 3 m , la altura de 2 m y el espesor de las paredes de 20 cm . En este al ser un tanque se debe calcular primero los laterales multiplicando el espesor de las paredes por la altura y el largo. Al ser dos paredes laterales se las multiplica por dos y se obtuvo un valor de 9.44 m^3 . Después se calculó las paredes frontales de la misma manera solo cambiando el ancho por el largo dando un valor de 2.4 m^3 . Para el cálculo del suelo se multiplico el largo por el ancho y el espesor de las paredes dando 7.08 m^3 . Estos valores se los sumaron para obtener el valor total aproximado del desarenador dando 18.92 m^3 . Este valor se lo suma a el valor de la captación lateral de 2.862 m^3 para de esta manera poder comparar con el otro tipo de captación. El valor del volumen total dio 21.782 m^3 aproximadamente entre el desarenador y la captación, sin contar el resto de las obras civiles que conlleva una captación de río. En la ilustración 29 se ve una captura de pantalla del programa de Mathcad donde está todo este proceso.

Calculo de Volúmenes

Captación Lateral:

$$Largo_{CL} := 2.65 \text{ m} \quad Altura_{CL} := 2.70 \text{ m} \quad Ancho_{Paredes} := 40 \text{ cm}$$

$$Volumen_{Cap_{Lateral}} := Largo_{CL} \cdot Altura_{CL} \cdot Ancho_{Paredes} = 2.862 \text{ m}^3$$

Desarenador:

$$Largo_{Des} := 11.80 \text{ m} \quad Ancho_{Des} := 3 \text{ m} \quad Altura_{Des} := 2 \text{ m} \quad Ancho_{Paredes} := 20 \text{ cm}$$

$$Vol_{Laterales} := 2 (Largo_{Des} \cdot Altura_{Des} \cdot Ancho_{Paredes}) = 9.44 \text{ m}^3$$

$$Vol_{Frontales} := 2 (Altura_{Des} \cdot Ancho_{Des} \cdot Ancho_{Paredes}) = 2.4 \text{ m}^3$$

$$Vol_{Suelo} := Largo_{Des} \cdot Ancho_{Des} \cdot Ancho_{Paredes} = 7.08 \text{ m}^3$$

$$Volumen_{Desarenador} := Vol_{Laterales} + Vol_{Frontales} + Vol_{Suelo} = 18.92 \text{ m}^3$$

Volumen Total:

$$Volumen_{Total} := Volumen_{Cap_{Lateral}} + Volumen_{Desarenador} = 21.782 \text{ m}^3$$

Ilustración 29 - Volúmenes diseño alterno El Laurel

Fuente: (Marín, Calculo de Volúmenes de Captaciones Laterales y Desarenador, 2022)

5.2 Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas

5.2.1 Diseño Alternativo Bocatoma Lateral

Para el diseño alternativo de la captación lateral se siguió el mismo proceso que para el proyecto El Laurel, usando el espaciamiento entre barreras de 6 cm, el caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, la velocidad de 1 m/s , el grosor de la barrera de $\frac{3}{4} \text{ in}$, el largo de la barrera de 2 m, el coeficiente de colmatación de 1.5 y el coeficiente de arrastre de 0.82. Con estos valores obtenemos el área de flujo de 5.488 m^2 , el número de barras de 45, el área de las barras de 1.715 m^2 , el área total de 7.202 m^2 , la profundidad de la barra de 3.601 m y el largo de la captación de 3.497 m. En la ilustración 31 se ve una captura de pantalla del programa en MathCad para el diseño de captaciones laterales. En la ilustración 30 un esquema de todos los dimensionamientos.

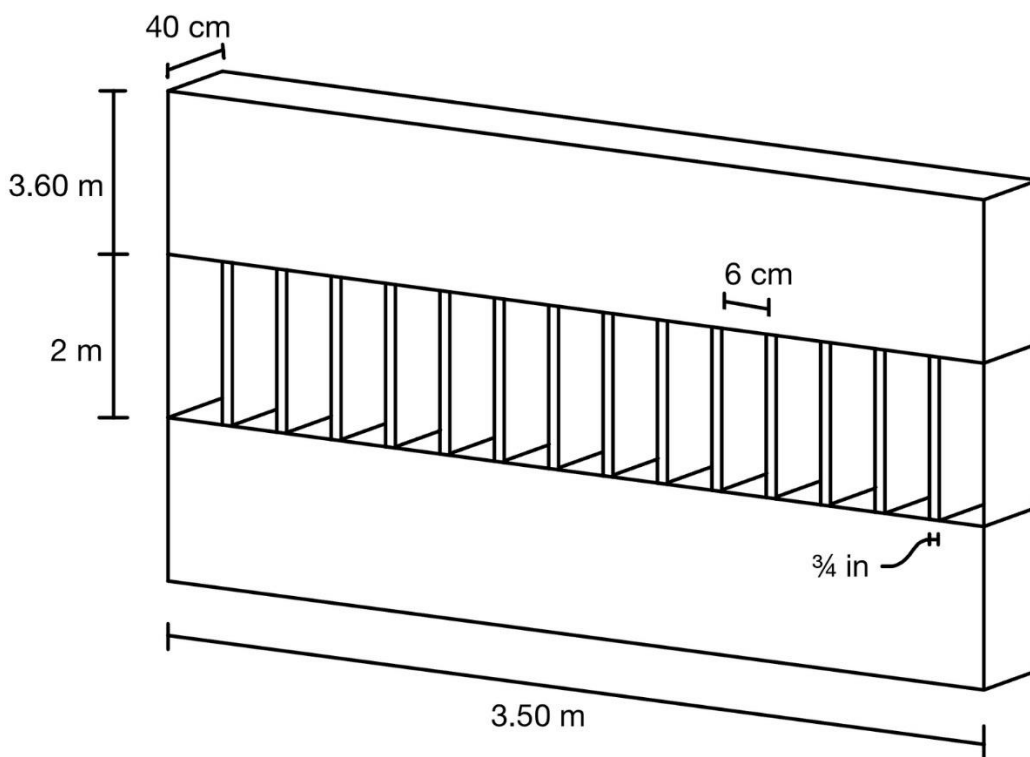


Ilustración 30 - Esquema captación lateral San José de Minas

Diseño de Captación Lateral					
Datos:					
$a := 6 \text{ cm}$	$Q := 3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	$Va := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$s := \frac{3}{4} \text{ in} = 1.905 \text{ cm}$	$\beta := 90^\circ$	$l := 2 \text{ m}$
$c := 1.5$	$k := 0.82$				
Cálculos:					
$Af := \frac{c \cdot Q}{k \cdot Va} = 5.488 \text{ m}^2$	$n := \frac{Af}{l \cdot a} - 1 = 44.732$	$\text{ceil}(n) = 45 \text{ barras}$			
$As := \text{ceil}(n) \cdot s \cdot l = 1.715 \text{ m}^2$	$At := Af + As = 7.202 \text{ m}^2$	$b := \frac{At}{l \cdot \sin(\beta)} = 3.601 \text{ m}$			
$Largo_Captacion := (\text{ceil}(n) \cdot s) + ((\text{ceil}(n) - 1) \cdot a) = 3.497 \text{ m}$					

Ilustración 31 - Mathcad para diseño de captaciones laterales SJDM

Fuente: (Marín, Diseño de Captaciones Laterales, 2022)

En la siguiente tabla 13 se presentan los resultados de las dimensiones de la captación lateral, estas serán usadas para el cálculo de volúmenes para la comparación.

Dimensiones de Captación Lateral	
Espacio entre barras	6 cm
Grosor de las barras	¾ in
Longitud de la barra	2 m
Numero de barras	45
Tipo de barra	Cilindro Largo
Área de Flujo	5.49 m ²
Área de las barras	1.72 m ²
Área total	7.20 m ²
Profundidad de la barra	3.60 m
Largo de Captación	3.50 m

Tabla 13 - Resultados diseño captación lateral SJDM

5.2.2 Diseño Alternativo Desarenador

Para el diseño alternativo del desarenador se necesita conocer algunos datos del proyecto San José de Minas como el caudal de diseño que es de 3 m³/s, la altura de 2.5 m, el diámetro límite de 0.2 mm, la velocidad de sedimentación de 0.04 m/s, la velocidad horizontal de 0.1 m/s, la sección mínima de 3.7 m² y el ancho de 3 m. Estos valores se los ve en la tabla 14.

Desarenador Datos		
Qd (Caudal de Diseño)	3	m ³ /s
H (Altura)	4	m
dlim (Diámetro Limite)	0.2	mm
Vs (Velocidad de Sedimentación)	40	mm/s
Vd (Velocidad Horizontal)	100	mm/s
S (Sección Mínima)	3.7	m ²
B (Ancho)	3	m
h (Altura)	2.5	m
W (Empuje Ascensional)	6.08	mm/s

Tabla 14 - Datos desarenador San José de Minas

Para realizar los cálculos de la velocidad de empuje ascensional se multiplica la velocidad de sedimentación por 0.152 dando un valor de 6.08 mm/s. La velocidad de sedimentación efectiva es la resta de la velocidad de sedimentación menos la velocidad de empuje ascensional dando 0.339 m/s. Para la longitud usamos la velocidad horizontal, la altura y la velocidad de sedimentación efectiva dando un valor de 7.37 m de largo. Para el tiempo de sedimentación se usa la altura y la velocidad de sedimentación efectiva dando un valor de 73.70 segundos. En la tabla 15 se pueden ver las fórmulas y resultados mencionados.

Resultados		
W (Empuje Ascensional)	6.08	mm/s
	$W = 0,152 V_s$	
V's (Velocidad Sedimentación Efectiva)	33.92	mm/s
	$V'_s = V_s - W$	
L (Longitud)	7.37	m
	$L = \frac{V_d \cdot h}{V_s - W} = \frac{V_d \cdot h}{V_s - W}$	
td (Tiempo de Decantación)	1.22	min
	$t_s = \frac{h}{V'_s}$	
ts (Tiempo de Sedimentación)	1.22	min

Tabla 15 - Resultados desarenador San José de Minas

Fuente: (Marín, Diseño de Desarenadores, 2022)

En la ilustración 32 se puede ver un esquema completo con las dimensiones calculadas para el desarenador de San José de Minas.

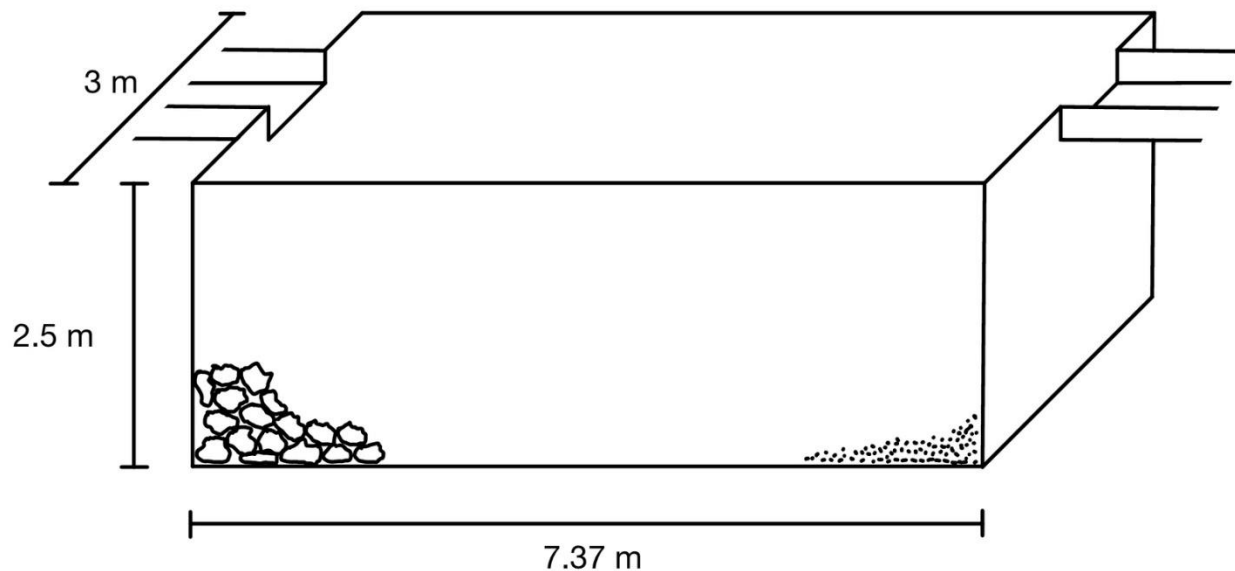


Ilustración 32 - Esquema desarenador San José de Minas

5.2.3 Cálculo Aproximado de Volúmenes

Para el cálculo de volúmenes aproximados se va a calcular el área de la captación lateral y aparte sumarle a el área del desarenador. Para facilitar este proceso se creo un programa en MathCad que ayuda a resolver este proceso. Con el largo de 3.50 m, la altura de 3.65 m y espesor de las paredes de 40 cm se obtuvo un volumen de 5.11 m^3 de la captación lateral. Para el desarenador se lleva a cabo el mismo proceso que para el desarenador del El Laurel, pero con los datos del proyecto San José de Minas. Con el largo del desarenador de 7.40 m, el ancho de 3 m, la altura de 2.5 m y un espesor de paredes de 20 cm. Considerando que el como una piscina el volumen de las paredes es de 14.84 m^3 . Para motivos comparativos se suman los volúmenes de la captación y de del desarenador dando un valor de 19.95 m^3 . En la ilustración 33 se presenta una captura de pantalla del programa realizando los cálculos de los volúmenes.

Captación Lateral:
$Largo_{CL} := 3.50 \text{ m}$ $Altura_{CL} := 3.65 \text{ m}$ $Ancho_{Paredes} := 40 \text{ cm}$
$Volumen_{Cap_{Lateral}} := Largo_{CL} \cdot Altura_{CL} \cdot Ancho_{Paredes} = 5.11 \text{ m}^3$
Desarenador:
$Largo_{Des} := 7.40 \text{ m}$ $Ancho_{Des} := 3 \text{ m}$ $Altura_{Des} := 2.5 \text{ m}$ $Ancho_{Paredes} := 20 \text{ cm}$
$Vol_{Laterales} := 2 (Largo_{Des} \cdot Altura_{Des} \cdot Ancho_{Paredes}) = 7.4 \text{ m}^3$
$Vol_{Frontales} := 2 (Altura_{Des} \cdot Ancho_{Des} \cdot Ancho_{Paredes}) = 3 \text{ m}^3$
$Vol_{Suelo} := Largo_{Des} \cdot Ancho_{Des} \cdot Ancho_{Paredes} = 4.44 \text{ m}^3$
$Volumen_{Desarenador} := Vol_{Laterales} + Vol_{Frontales} + Vol_{Suelo} = 14.84 \text{ m}^3$
Volumen Total:
$Volumen_{Total} := Volumen_{Cap_{Lateral}} + Volumen_{Desarenador} = 19.95 \text{ m}^3$

Ilustración 33 - Volúmenes diseño alternativo San José de Minas

Fuente: (Marín, Calculo de Volúmenes de Captaciones Laterales y Desarenador, 2022)

6 MATRIZ DE COMPARACIÓN

6.1 Proyecto Hidroeléctrico El Laurel

Para poder comparar los dos métodos de captación en el río del proyecto El Laurel se creo una tabla mostrando los diferentes valores de los volúmenes. Este es el principal parámetro de comparación de los dos tipos de captaciones. En la tabla 16 se presenta los diferentes volúmenes según el tipo de captación.

Comparación Volúmenes en Captaciones	
Captación Rejilla Coanda	Captación Lateral y Desarenador
8.897 m ³	21.782 m ³

Tabla 16 - Comparación volúmenes en captación El Laurel

Comparando los volúmenes aproximados para la construcción de los tipos de captaciones podemos ver que en el proyecto El Laurel la construcción de la captación lateral con su desarenador tiene un 144.82% mas de volumen que la captación con rejilla coanda.

6.2 Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas

En el proyecto San José de Minas se propuso una alternativa de captación lateral con su desarenador. Se creo una tabla para comparar los volúmenes de la construcción de cada captación obteniendo los siguientes valores. En la tabla 17 se ven los volúmenes de la captación con rejilla coanda y captación lateral con su desarenador.

Comparación Volúmenes en Captaciones	
Captación Rejilla Coanda	Captación Lateral y Desarenador
22.058 m ³	19.95 m ³

Tabla 17 - Comparación volúmenes en captación San José de Minas

Si se compran los volúmenes podemos ver que ocupa menos volumen la captación lateral y su desarenador que la captación de rejilla coanda. Esta es un 9.56% menor que la captación construida con la rejilla coanda. Esto se dio ya que la sedimentología del río del proyecto no era tan fina por lo que su tiempo de sedimentación no es tan largo. Haciendo así que las dimensiones del desarenador no sean tan grandes.

7 CONCLUSIONES

Este proyecto tuvo como objetivo la evaluación y comparación entre sistemas de captación que utilizan rejillas coanda y captaciones laterales tradicionales con sus respectivos desarenadores. Para ello se analizó las hidroeléctricas El Laurel ubicado en la provincia de Carchi y San José de Minas ubicada en la provincia de Pichincha. Estas dos hidroeléctricas utilizan una captación con rejilla coanda por ende gracias a las propiedades de esta rejilla no necesitan de un desarenador.

Se explico cómo se diseña una captación coanda y los programas que se utilizan. A su vez se explico como es el diseño de captaciones laterales y desarenadores para con estos lograr proponer captaciones alternativas a estos proyectos. Se investigo sobre las centrales hidroeléctricas El Laurel y San José de Minas investigando su ubicación, información general del proyecto, estudios hidrológicos, los diseños de sus captaciones y problemas en su experiencia con este tipo de rejillas. Los planos se utilizaron para calcular volúmenes aproximados de construcción de las captaciones con rejilla coanda. Usando los estudios hidrológicos de los ríos se diseñó una propuesta diferente de captación lateral y desarenador para cada hidroeléctrica. Con las dimensiones obtenidas se calculo un aproximado de los volúmenes necesarios para esta alternativa de construcción.

En la central El Laurel los volúmenes obtenidos mostraron que el construir una captación lateral con su desarenador tiene un 144.82% mas de volumen es su construcción. Esto se da ya que el tipo de partículas que este río tiene no son muy pesadas por lo que su desarenador es largo para que tenga el tiempo suficiente para que todas las partículas de hasta 0.2mm tenga tiempo para caer al fondo del desarenador. Por ende, se puede concluir que la implementación de la captación con rejillas coanda en este proyecto fue correcta ya que se presento un ahorro de material y espacio.

Por el otro lado la central San José de Minas los volúmenes obtenidos mostraron que la construcción de una captación lateral con su desarenador usaría 9.56% menos volumen. Esto se da ya que las rejillas coanda al tener un espaciamiento entre ellas de solo 1 mm no deja pasar tanto caudal y se necesita varias de estas planchas. Un punto para analizar es los problemas que este tipo de rejilla ya ha tenido en su funcionamiento y es que el río en crecidas ha traído rocas grandes las cuales han golpeado con las rejillas coanda ya and cambiado su ángulo y su apertura

en algunas zonas. Esto no solo afecta al correcto funcionamiento de la rejilla para no absorber partículas si no en la cantidad de caudal que se coge. Por lo que esta central ha tenido que construir posteriormente a su inauguración una trampa para impedir que piedras grandes o troncos pasen hasta el azud de la rejilla coanda. Incrementados costos y no siendo tan eficiente como en otros proyectos. Por ende, se puede concluir que en este proyecto la construcción de una captación tradicional con un desarenador podría haber sido más económica y no tenidos problemas de parar de generar para solucionar los problemas con la rejilla.

La cantidad de volumen aproximado para la construcción de cada captación se lo utiliza para poder estimar la diferencia de los costos de construcción de estas. Ya que esto es proporcional a la cantidad de hormigón y espacio que se utiliza se puede analizar los costos de construcción basándose en los volúmenes. Pudiendo concluir que en El Laurel los costos hubieras sido mayores si se construía una captación tradicional con su desarenador. En San José de minas los costos no hubieran cambiado mucho ya que no existe mayor diferencia en sus volúmenes sin embargo en esta por temas de arrastre de grava y troncos no es tan eficiente el uso de la rejilla coanda.

Las captaciones con rejillas coanda son sumamente eficiente en ríos que no tengan grandes caudales que traigan consigo piedras grandes y basura natural. Ya que se puede ver que cuando esto sucede la eficiencia de la rejilla no es buena y esto puede ocasionar que se necesiten de otras obras civiles para su correcto funcionamiento. Como es el caso en San José de Minas que se construyó una trampa aguas arriba a que evite este problema.

Como recomendaciones se sugiere que el estudio hidrológico del río que se busque hacer una captación se estudie las piedras grandes y basura natural que lleva y como esta podría afectar al correcto funcionamiento de la rejilla. En caso de que así sea se deberá evaluar métodos para evitar que las rejillas tengan contacto con estos y evaluar métodos y costos. Si el río no abarca mucha cantidad de basura natural y piedras las rejillas coanda son una buena opción ya que evita la construcción de desarenadores. Para concluir este proyecto logro todos sus objetivos planteados mostrando como diseñar diferentes captaciones y evaluando la correcta implementación de captaciones con rejillas coanda en las hidroeléctricas El Laurel y San José de Minas.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- Alfonfin. (22 de Abril de 2010). *Parroquia San José de Minas*. Obtenido de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Mapa_Parroquia_San_Jose_de_Minas_%28Quitoo%29.svg
- Boss Tech. (2014). *Desarenadores de agua: ¿qué son y cómo funcionan?* Obtenido de <https://bosstech.pe/que-son-desarenadores-agua/>
- Brikke, François, & Bredero, Maarte. (17 de Mayo de 2020). *Captación de Toma Lateral*. Obtenido de https://akvopedia.org/wiki/Captaci%C3%B3n_de_Toma_Lateral
- Cajias, E. (31 de Mayo de 2017). *Agriculturers*. Obtenido de Diseño de un desarenador para pre-filtrado de agua de riego: <https://agriculturers.com/disenode-un-desarenador-para-el-pre-filtrado-de-agua-de-riego/>
- CBS Ingeniería. (2017). *Malla Coanda*. Obtenido de <https://www.mallacoanda.com/informacion-del-producto/>
- CBS Ingeniería. (2017). *Planos Captacion Proyecto El Laurel*. Quito.
- CBS Ingeniería. (2017). *Planos Captación Proyecto Hidroeléctrico San José de Minas*. Quito.
- CBS Ingeniería. (s.f.). *Coanda*. Obtenido de <https://www.mallacoanda.com/wp-content/uploads/sites/24/2018/02/Brochure-Malla-Coanda.pdf>
- Clancy, L. (s.f.). *Coefficiente de arrastre*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Coefficiente_de_arrastre#/media/Archivo:Drag-es.svg
- Clancy, L. J. (1975). *Aerodynamics*. London: Pitman.
- ELGIN Separation Solutions. (s.f.). *Coanda Screen Assembly Features*. Obtenido de <https://elginseparationsolutions.com/water-intake/>
- Gonzalez, F. (2022). Sanitaria . *Universidad San Francisco de Quito*.
- Herbas, E. (8 de Marzo de 2010). *Toma Lateral*. Obtenido de <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/03/toma-lateral.html>
- Heredia Claderón, E. A., & Benitez Bustamante, R. (2015). *Estudio Hidrológico Proyecto Hidroeléctrico El Laurel*. Quito.

Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens. (s.f.).

Marín, M. (2022). Calculo de Volúmenes de Captaciones Laterales y Desarenador. MathCad.

Marín, M. (2022). Calculo Volúmenes Malla Coanda. Quito: Mathcad.

Marín, M. (2022). Diseño de Captaciones Laterales. MathCad.

Marín, M. (2022). Diseño de Desarenadores. Excel.

Mira. (2013). *Mira Balcon de los Andes*. Obtenido de <https://mira.ec/geografia/>

Moreno, J. (2004). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CAPTACIONES POR GRAVEDAD DE AGUAS SUPERFICIALES*. Lima: UNATSABAR.

Uribe, E. (s.f.). *Estudio Hidrologico del Río Cubi para el proyecto Hidroelectrico San José de Minas*.

USAL. (s.f.). *Unidad 5 Capitulo 1, Desarenadores*. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/cursos/uni_05/u5c1s5.htm#Anchor3

Wikipedia. (2014). *Valores del coeficiente de arrastre*. Obtenido de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Drag-es.svg>