

**SELECCIÓN DE UNA TURBINA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA RENOVABLE EN ESTRUCTURAS ESCALONADAS DEL
ALCANTARILLADO COMBINADO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

MONOGRAFÍA

Para optar el título Especialista en Gestión de Proyectos

AUTOR

Roberto José Molina Fernández

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

Bucaramanga-Colombia

2019

**SELECCIÓN DE UNA TURBINA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA RENOVABLE EN ESTRUCTURAS ESCALONADAS DEL
ALCANTARILLADO COMBINADO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

MONOGRAFÍA

Para optar el título Especialista en Gestión de Proyectos

AUTOR

Roberto José Molina Fernández

DIRECTOR

Reinaldo Arenas Fajardo, Ph.D.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

Bucaramanga-Colombia

2019

DEDICATORIA

Siempre agradeceré a Dios por permitirme vivir y por ser quien soy, llegando a este mundo a través de mi mama Martha Cecilia Molina Fernández, una mujer integra y de valores como el respeto, la honestidad, la equidad, la perseverancia y el amor, los cuales me fueron enseñados con base en el temor y amor a Dios.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento es al Ingeniero Reinaldo Arenas Fajardo, Director de tesis, por el aporte dado a la construcción de este trabajo, por ofrecerme su tiempo, sus conocimientos, su profesionalismo, y virtud de docencia. Que me permitió la obtención del título de Especialista en Gestión de Proyectos.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
1. INTRODUCCION.....	13
2. CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLA EL PROYECTO	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
3.1 Enunciación de los alcances del proyecto en cuanto al impacto que se busca lograr.	15
3.2 Planteamiento claro del propósito general que se busca resolver a partir del proyecto.	15
4. Objetivo General	16
5. Objetivos Específicos	16
6. ANTECEDENTES	17
7. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	17
8. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO	18
8.1 Estructuras de Vertimiento (EV).....	18
Figura 1 Esquema Estructuras de Vertimiento de aguas residuales.	18
Tabla 1. Estructuras de Vertimiento.....	19
9. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO	19
Figura 2 Localización geográfica de cinco (5) Estructuras de Vertimiento	20
Figura 3 Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Caney	20
Figura 4. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Calle sexta	21
Figura 5. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Gaitán I y II	21
Figura 6. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Nariño	22
Figura 7. Ubicación cartográfica de las Estructuras de Vertimiento.....	22
10. CONDICIONES ESTRUCTURALES.....	23
10.1 Estructura de Vertimiento El Caney:	23
Figura 8. Aguas arriba Caney.....	23
Figura 9 Tramo Caney.....	24
Figura 10: Aguas abajo Caney	24
10.2 Estructura de Vertimiento Calle Sexta:	24
Figura 11. Aguas arriba Calle Sexta.....	25
Figura 12. Tramo Calle Sexta	25

Figura 13. Aguas abajo Calle Sexta	26
10.3 Estructura de Vertimiento Gaitán I:.....	26
Figura 14. Aguas arriba Gaitán I.....	26
Figura 15. Tramo Gaitán I.....	27
Figura 16. Aguas abajo Gaitán I.....	27
10.4 Estructura de Vertimiento Gaitán II:	28
Figura 17. Aguas arriba Gaitán II.....	28
Figura 18. Tramo Gaitán II	28
Figura 19. Aguas abajo Gaitán II	29
10.5 Estructura de Vertimiento Nariño:.....	29
Figura 20. Aguas arriba Nariño.....	29
Figura 21. Aguas abajo Nariño	30
11. CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS EN LAS ESTRUCTURAS ESCALONADAS DE VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.	30
Tabla 2. Características fisicoquímicas - Jornada diurna.	31
11.1 Conclusiones Tabla 2	31
Tabla 3. Características fisicoquímicas - jornada nocturna.	33
11.2 Conclusiones tabla 3	33
Tabla 4. Características fisicoquímicas, cargas orgánicas promedio diarias consolidado jornada diurna – nocturna.....	35
11.3 Conclusiones tabla 4.....	36
12. TIPOS DE TURBINAS.....	38
12.1 ¿Qué es una Turbina Hidráulica?	38
Figura 22 Flujo de la energía.....	38
Figura 23 Esquema del funcionamiento de una Turbina	38
12.2 Turbina Pelton.....	39
Figura 24 Turbina Pelton.....	39
12.3 Turbina Francis.....	40
Figura 25 Turbina Francis	40
12.4 Turbina Kaplan.....	40
Figura 26 Turbina Kaplan	41
13. MÉTODO DE SELECCIÓN DE LA TURBINA	42

Figura 27 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída	42
13.1 Cálculo para selección de la turbina en cada estructura	43
Tabla 5. Características longitudinales de las estructuras escalonadas tomadas desde parte alta hasta la entrega final, en la parte baja.....	43
13.2 Cálculo para selección de la turbina estructura Nariño	44
Figura 28 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Nariño	44
13.3 Cálculo para selección de la turbina estructura Caney - La Picha.....	45
Figura 29 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Caney La picha	45
13.4 Cálculo para selección de la turbina estructura Calle Sexta.....	46
Figura 30 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Calle Sexta	46
13.5 Cálculo para selección de la turbina estructura Gaitán I	47
Figura 31 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gaitán I	47
13.6 Calculo para selección de la turbina estructura Gaitán II.....	48
Figura 32 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gaitán II	48
13.7 Cálculo para selección de la turbina estructura El Loro.....	49
Figura 33 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura El Loro	49
13.8 Cálculo para selección de la turbina estructura San Miguel I	50
Figura 34 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura San Miguel I.....	50
13.9 Cálculo para selección de la turbina estructura San Miguel II	51
Figura 35 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura San Miguel II	51
13.10. Cálculo para selección de la turbina estructura Gómez Niño.....	52
Figura 36 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gómez Niño	52
13.11 Cálculo para selección de la turbina estructura Mutis.....	53
Figura 37 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Mutis	53
14. CONCLUSIONES.....	53
15. RECOMENDACIONES	55
16. BIBLIOGRAFIA.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructuras de Vertimiento.....	19
Tabla 2. Características fisicoquímicas - Jornada diurna.	31
Tabla 3. Características fisicoquímicas - jornada nocturna.	33
Tabla 4. Características fisicoquímicas, cargas orgánicas promedio diarias consolidado jornada diurna – nocturna.....	35
Tabla 5. Características longitudinales de las estructuras escalonadas tomadas desde parte alta hasta la entrega final, en la parte baja.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema Estructuras de Vertimiento de aguas residuales.	18
Figura 2 Localización geográfica de cinco (5) Estructuras de Vertimiento	20
Figura 3 Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Caney	20
Figura 4. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Calle sexta	21
Figura 5. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Gaitán I y II	21
Figura 6. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Nariño	22
Figura 7. Ubicación cartográfica de las Estructuras de Vertimiento	22
Figura 8. Aguas arriba Caney.....	23
Figura 9 Tramo Caney.....	24
Figura 10: Aguas abajo Caney	24
Figura 11. Aguas arriba Calle Sexta.....	25
Figura 12. Aguas arriba Calle Sexta.....	25
Figura 13. Aguas arriba Calle Sexta.....	26
Figura 14. Aguas arriba Gaitán I.....	26
Figura 15. Aguas arriba Gaitán I.....	27
Figura 16. Aguas arriba Gaitán I.....	27
Figura 17. Aguas arriba Gaitán II.....	28
Figura 18. Aguas arriba Gaitán II.....	28
Figura 19. Aguas arriba Gaitán II.....	29
Figura 20. Aguas arriba Nariño.....	29
Figura 21. Aguas arriba Nariño.....	30
Figura 22 Flujo de la energía.....	38
Figura 23 Esquema del funcionamiento de una Turbina.....	38
Figura 24 Turbina Pelton.....	39
Figura 25 Turbina Francis	40
Figura 26 Turbina Kaplan	41
Figura 27 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída	42

Figura 28 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Nariño	44
Figura 2 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Caney La picha	45
Figura 30 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Calle Sexta	46
Figura 31 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gaitán I	47
Figura 32 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gaitán II	48

Selección de una turbina para la generación de energía eléctrica renovable a través de las estructuras escalonadas del alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: SELECCIÓN DE UNA TURBINA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE EN ESTRUCTURAS ESCALONADAS DEL ALCANTARILLADO COMBINADO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA

AUTOR(ES): ROBERTO JOSÉ MOLINA FERNÁNDEZ

PROGRAMA: Esp. en Gestión de Proyectos

DIRECTOR(A): REINALDO ARENAS FAJARDO

RESUMEN

Este estudio se realiza debido a la búsqueda de nuevas alternativas de generación energética limpia y sostenible, que es tan apremiante hoy en día, debido al impacto ambiental negativo por el uso ineficiente y excesivo del agua y la energía, junto a las largas sequías que agrava la situación de abastecimiento a futuro para una población en aumento. Por tal razón nace la idea de aprovechar tal energía potencial almacenada en las estructuras escalonadas de aguas combinadas del sistema de alcantarillado, transportadas a través de la caída por gravedad, con la capacidad potencial para impulsar turbinas hidráulicas que generen de energía eléctrica. Aprovechando las condiciones geomorfológicas y estructurales del sistema de alcantarillado de la ciudad de Bucaramanga, la cual tiene ventajas para tal propósito por el método captación y transporte de las aguas residuales y lluvias, la ciudad cuenta con una estructura de suelo en forma de escarpa sobre su parte occidental, lo que ha sido aprovechado para dirigir en esa dirección las aguas del sistema de alcantarillado, con el fin de dar entrega de estas aguas servidas al Río de Oro, el más caudaloso y más importante para el destino final de aguas servidas de la ciudad. De este modo se procede con una búsqueda documental para cuantificar los caudales de aguas que estas pueden transportar como energía potencial, complementada con un registro fotográfico in situ para analizar las condiciones actuales de las estructuras escalonadas, para finalmente analizar la factibilidad de la idea. Como resultado se escogen la turbina Pelton y Francis lenta, siendo las más óptimas para las características de altura y caudal presentes en cada una de las estructuras escalonadas.

PALABRAS CLAVE:

Aguas residuales, aguas pluviales, alcantarillado, estructura escalonada, turbina, energía, sostenible

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: SELECTION OF A TURBINE FOR THE GENERATION OF RENEWABLE ELECTRICAL ENERGY IN STAGED STRUCTURES OF THE COMBINED SEWER OF THE CITY OF BUCARAMANGA

AUTHOR(S): ROBERTO JOSÉ MOLINA FERNÁNDEZ

FACULTY: Esp. en Gestión de Proyectos

DIRECTOR: REINALDO ARENAS FAJARDO

ABSTRACT

This study is carried out due to the search for new alternatives for clean and sustainable energy generation, which is so pressing today, due to the negative environmental impact due to the inefficient and excessive use of water and energy, along with the long aggravating sequences. The future supply situation for a growing population. For this reason, the idea of taking advantage of such potential energy stored in the staggered combined water structures of the sewerage system, transported through gravity fall, with the potential capacity to drive hydraulic turbines that generate electricity is born. Taking advantage of the geomorphological and structural conditions of the sewer system of the city of Bucaramanga, which has advantages for this purpose by the method of capturing and transporting wastewater and rainfall, the city has an escarpment-shaped soil structure over its western part, which has been used to direct the sewage system waters in that direction, in order to deliver these sewage to the Río de Oro, the most abundant is important for the final destination of the sewage the city. In this way, a documentary search will be carried out to quantify the water flows that these can transport as potential energy, complemented with an on-site photographic record to analyze the current conditions of the staggered structures, to finally analyze the feasibility of the idea. As a result, the Pelton and Francis slow turbine are chosen, being the most optimal for the height and flow characteristics present in each of the staggered structures.

KEYWORDS:

Wastewater, stormwater, sewerage, stepped structure, turbine, energy, sustainable

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

Ante el incremento poblacional y la mayor demanda que esta conlleva en cuanto a los recursos renovables y no renovables, puntualmente para este tema, el de consumo energético, se hace importante la búsqueda de nuevas alternativas para obtener energía eléctrica para suplir las necesidades comerciales industriales y domiciliarias.

“La ciudad de Bucaramanga, Colombia (unidad administrativa: Santander) - última población conocida es $\approx 528\,500$ (Año 2017). Este fue 1.077% de total población Colombia. Si la tasa de crecimiento de la población sería igual que en el periodo 2015-2017 (+0.06%/Año), Bucaramanga la población en 2019 sería: 529.082” (<http://poblacion.population.city/colombia/bucaramanga/>)

Un crecimiento poblacional y que a su vez impulsa el comercio e industria, hace que el sistema eléctrico se sature, poniendo un límite a la oferta que las empresas de generación de energía eléctrica puedan proveer.

Ante esta situación se genera el proyecto energético renovable con aguas residuales en la ciudad de Bucaramanga, pero antes de profundizar el planteamiento es importante saber cómo se originó el alcantarillado en la ciudad de Bucaramanga, cómo funciona en la actualidad y qué características tiene, para ello se hace una breve explicación a continuación:

“La Corporación para la defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB, creada el 2 de octubre de 1965, con el objetivo fundamental de ejecutar su plan de acción encaminado a controlar la erosión de la ciudad de Bucaramanga y a su vez la conducción de las aguas de alcantarillado; que posteriormente pasa esa responsabilidad a cargo de la Empresa Pública de alcantarillado de Santander creada el 19 de octubre de 2006 regida por las leyes 142 y 123 de 1994 por las disposiciones que las sustituyan, modifiquen o reglamenten; por los estatutos contenidos en si escritura de constitución y por las normas del Libro II del Código de Comercio, descentralizado por servicios del Orden Nacional de conformidad con el Artículo 38 de la ley 489 de 1998” (www.cdmb.gov.co › gestión-territorio › gestión-riesgo › ítem › 207-historia).

A través de los trabajos realizados durante años, se diseñó un sistema de alcantarillado combinado (aguas lluvias- aguas servidas) que es conducido por sistemas escalonados en diferentes puntos de la escarpa de la ciudad de Bucaramanga y que son entregadas al Río de Oro, con unos caudales considerablemente altos, almacenando energía potencial aprovechable. De allí surge la idea de realizar un análisis para crear un sistema de generación energética con las aguas residuales que son entregados al Río de Oro y así producir energía renovable continua limpia y se podría decir que sería una fuente de energía inagotable.

2. CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLA EL PROYECTO

El proyecto de análisis de factibilidad se desarrollará en la ciudad de Bucaramanga, debido a que su sistema de entrega de aguas de alcantarillado cuenta con unas características morfológicas ideales. Los sistemas de vertimiento que se encuentran en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón son de dos tipos: Estructuras de Vertimiento o Emisarios Finales, por medio de los cuales las aguas residuales, lluvias o combinadas son descargadas a las quebradas o ríos.

La zona se encuentra localizada en las áreas del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga y los sectores de los barrios localizados sobre éste. El ancho de la franja del escarpe occidental, presenta gran altura con respecto al valle del Río de Oro (alrededor de los 100 metros).

Los barrios por donde pasa estos sistemas escalonados son: El Caney, Calle Sexta, Gaitán I, Gaitán II, Nariño, El Loro, San Miguel I, San Miguel II, Gómez Niño, Mutis.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el ser humano requiere de mayores recursos para suplir sus necesidades, entre estas se encuentra el consumo energético, que cada día se incrementa ante el aumento poblacional, lo que conlleva al uso de mayores elementos tecnológicos y de transporte, que en un futuro próximo puede ocasionar que sea insuficiente el sistema actual que abastece este importante servicio a la población. De ahí radica la importancia de utilizar los recursos existentes que antes no se habían considerado aprovechar, que pueda complementar los sistemas energéticos de la actualidad; las aguas residuales que son conducidas a través del sistema de alcantarillado de la ciudad de Bucaramanga, son entregadas al sistema hídrico de la ciudad, Río de Oro, por medio de sistemas

escalonados sobre la escarpa occidental. Estas aguas son de volúmenes considerables, con una caída en pendiente lo suficientemente alta que pueden ser aprovechadas para impulsar turbinas de generación eléctrica.

Realizar un proyecto de esta magnitud para la ciudad de Bucaramanga y el departamento de Santander, haría que la ciudad tuviera un destacado papel en su responsabilidad social-ambiental, siendo pionero a nivel nacional e internacional, al aprovechar un recurso que no se ha tenido en consideración anteriormente.

3.1 Enunciación de los alcances del proyecto en cuanto al impacto que se busca lograr.

- Con el proyecto de generación de energía eléctrica renovable a través de las estructuras escalonadas de alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga. Se realizará un análisis de factibilidad para el aprovechamiento de las aguas residuales para el proyecto de generación de energía eléctrica renovable de la ciudad de Bucaramanga
- Se busca proveer el conocimiento necesario sobre la oportunidad de aprovechamiento energético de una fuente de energía eléctrica limpia e inagotable, con las ventajas físicas y morfológicas que representan las estructuras escalonadas que entregan las aguas combinadas del sistema de alcantarillado al efluente de la ciudad, el Rio de Oro.

3.2 Planteamiento claro del propósito general que se busca resolver a partir del proyecto.

- Se realizará un análisis de factibilidad para la generación eléctrica con la energía potencial de las estructuras escalonadas de aguas residuales.
- Se realizará la georreferenciación de cada uno de los puntos con potencial de ser aprovechada y descripción de cada una de las estructuras.
- Se tomará la información consignada en la empresa pública de alcantarillado de Santander, sobre caudales, ubicación de los puntos de vertimiento de aguas combinadas escalonada, su distancia y pendiente desde la parte alta de la escarpa hasta la entrega a la fuente hídrica.

- Se analizan los caudales y parámetros físico-químicos de los vertimientos de estructuras escalonadas. Se explicará los beneficios que dará al Área Metropolitana de Bucaramanga la instalación de turbinas para la generación de energía eléctrica.
- Se analizará cuál tipo de turbina será la más adecuada para la generación de energía.
- El estudio se realizará entre los meses de octubre y diciembre de 2019

4. Objetivo General

- Seleccionar el tipo de turbina que se usara en un sistema de generación de energía eléctrica renovable en estructuras escalonadas del alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga determinando las condiciones para un futuro estudio de factibilidad.

5. Objetivos Específicos

- Describir los puntos de entrega de aguas residuales viables para la instalación de las turbinas de generación eléctrica.
- Analizar, a partir de los datos de la empresa de alcantarillado de Santander, los caudales y parámetros físico-químicos de cada uno de los vertimientos determinando la utilización de turbinas en los vertimientos de estructuras escalonadas.
- Definir el tipo de turbina apropiada para la generación de energía eléctrica que cumpla las condiciones con la fuente hídrica específica.
- Determinar las condiciones para un futuro estudio de factibilidad que permita la puesta en marcha del proyecto.

6. ANTECEDENTES

Tomando el caso exitoso en la ciudad de Bogotá que ha utilizado la fuerza del agua transportada en las tuberías de agua potable para generar energía eléctrica; donde “La EAB aprovecha la energía mediante pequeñas centrales hidroeléctricas de generación, paralelas a las estaciones de control de presión, sin afectar la calidad del servicio que se presta a la ciudad y obteniendo, en cambio, beneficios ambientales al contribuir a la sustitución de fuentes contaminantes de generación de energía”¹ Este proyecto ratifica la importancia que tiene el agua como fuente de energía limpia, para lo que se pretende en la ciudad de Bucaramanga, haciendo uso de las aguas servidas como fuente de energía renovable, siendo un proyecto pionero por la técnica que se implementaría en cuanto al recurso potencial y a la ingeniería dispuesta para su ejecución.

7. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Se realiza una investigación documental en los archivos que reposan en la Empresa Pública de Alcantarillado de Santander S.A sobre la existencia de los sistemas escalonados de aguas residuales que son captadas por las redes de alcantarillado de la ciudad de Bucaramanga, donde se identifica la ubicación geográfica en la escarpa de la ciudad, al igual se recopila la información sobre los caudales que cada uno transporta, la altura de caída, y las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO, DBO5, Solidos Suspendidos Totales SST. Posteriormente se realiza la visita de campo, para tomar los registros fotográficos para identificar las condiciones actuales de las estructuras escalonadas desde sus partes altas hasta las entregas de las aguas residuales y lluvias. Se procede a ordenar los datos recolectados de cada uno de los puntos para realizar los cuadros que permiten caracterizar de manera detallada la información obtenida, para determinar el caudal potencial que permitirá analizar si es factible la generación de energía eléctrica a través de las turbinas.

¹ Bogotá, Nueva central hidroeléctrica de Suba genera energía limpia

8. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO

Los sistemas de vertimiento que se encuentran en los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón son de dos tipos: Estructuras de Vertimiento y/o Emisarios Finales, por medio de los cuales las aguas residuales, lluvias o combinadas son descargadas a las quebradas o ríos.

8.1 Estructuras de Vertimiento (EV)

Es una construcción hidráulica que permite evacuar y descarga las aguas de colectores de alcantarillado ubicadas en la parte superior de la escarpa hacia cañadas o quebradas metros abajo. Una Estructura de Vertimiento inicia desde el último tramo recolector de alcantarillado y termina en el canal de entrada a las estructuras de Control de Cauces.

Las estructuras son vertimientos en los cuales los colectores no entregan las aguas directamente a las quebradas o ríos, debido a la alta energía que traen, por el contrario son las encargadas de disminuir la energía hidráulica, y entregar las aguas a las quebradas o ríos receptores con una energía adecuada, entre las que se destacan las estructuras de tipo vórtice, rápidas, escalonadas, lisas y rugosas, combinadas con sistemas de disipación U.S. Bureau of Reclamation (USBR) o también conocido como, estanque tipo impacto.

La Figura 1 muestra una maqueta que representa un corte de la zona alta de la meseta con la ciudad y la escarpa, en la que se puede identificar las Estructuras de Vertimiento.



Figura 1 Esquema Estructuras de Vertimiento de aguas residuales.
Fuente: Plan estratégico 2011 – 2015 EMPAS S.A

En la totalidad del casco urbano de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón existen múltiples estructuras de vertimiento que evacuan el agua de colectores de alcantarillado sanitario y de aguas lluvias, hacia quebradas adyacentes.

En la tabla 1 se muestran las Estructuras de Vertimiento que para EMPAS son de mayor importancia y relevancia para su aprovechamiento hidráulico en la generación de energía.

Tabla 1. Estructuras de Vertimiento

ESTRUCTURA DE VERTIMIENTO	ENTREGA A QUEBRADA	TIPO DE ESTRUCTURA
El Caney	Quebrada La picha	Escalonada
Calle sexta	Quebrada Chapinero	Escalonada
Gaitán I	Quebrada Dos aguas	Escalonada
Gaitán II	Quebrada Dos aguas	Escalonada
Nariño	Quebrada Las Navas	Escalonada
El Loro	Quebrada la Rosita	Escalonada
San Miguel I	Quebrada El Loro	Escalonada
San Miguel II	Quebrada El Loro	Escalonada
Gómez Niño	Quebrada El Loro	Escalonada
Mutis	Quebrada la Rosita	Escalonada

Fuente: Plan estratégico 2011 – 2015 EMPAS S.A

9. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS DE VERTIMIENTO

La zona se encuentra localizada en las áreas del escarpe occidental de la meseta de Bucaramanga y los sectores de los barrios localizados sobre éste. El ancho de la franja de la escarpa occidental, presenta gran altura con respecto al valle del Río de Oro (alrededor de los 100 metros).

En la figura 2 se muestra la ubicación de los sistemas escalonados en la ciudad de Bucaramanga, identificados con un puntero azul y las líneas en rojo describen su forma y dirección en que se encuentran.

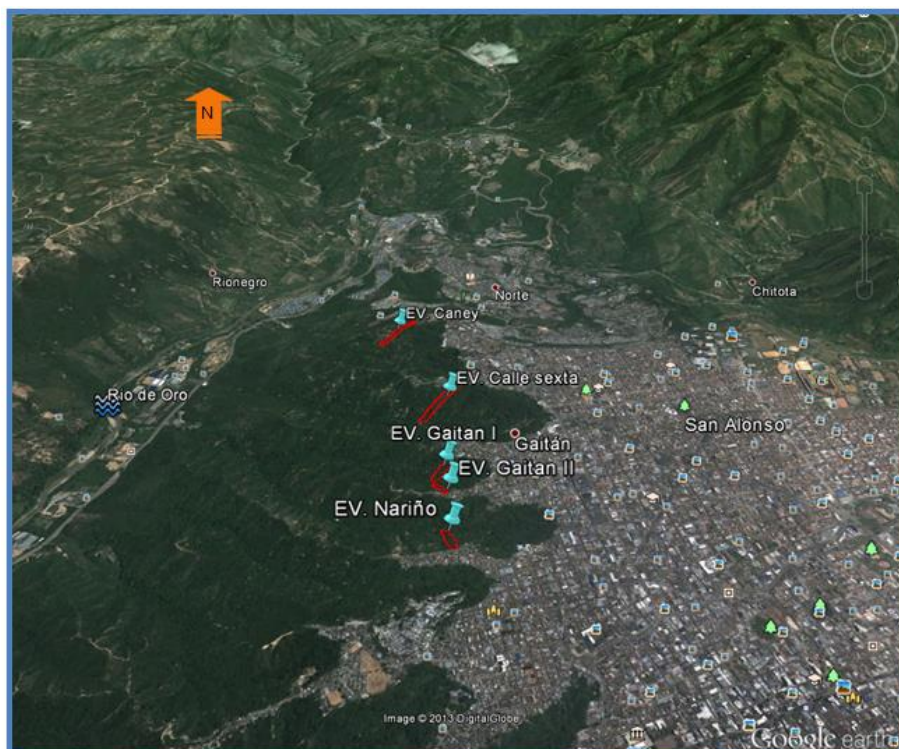


Figura 2 Localización geográfica de cinco (5) Estructuras de Vertimiento
Fuente: Google Earth

La Figura 3 muestra la ubicación y forma de la estructura escalonada de vertimiento de aguas residuales Caney, que se encuentra junto a una vía principal en zona boscosa.

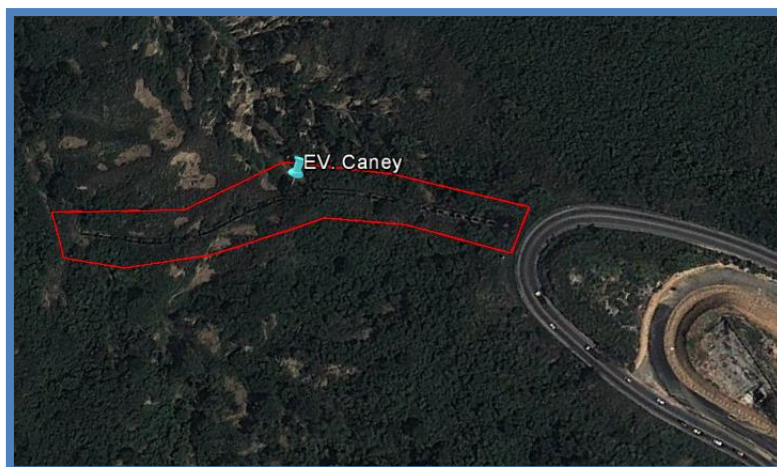


Figura 3 Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Caney
Fuente: Google Earth

La Figura 4 muestra la ubicación y forma de la estructura escalonada de vertimiento de aguas residuales Calle sexta, que se encuentra junto a zona residencial en zona boscosa.

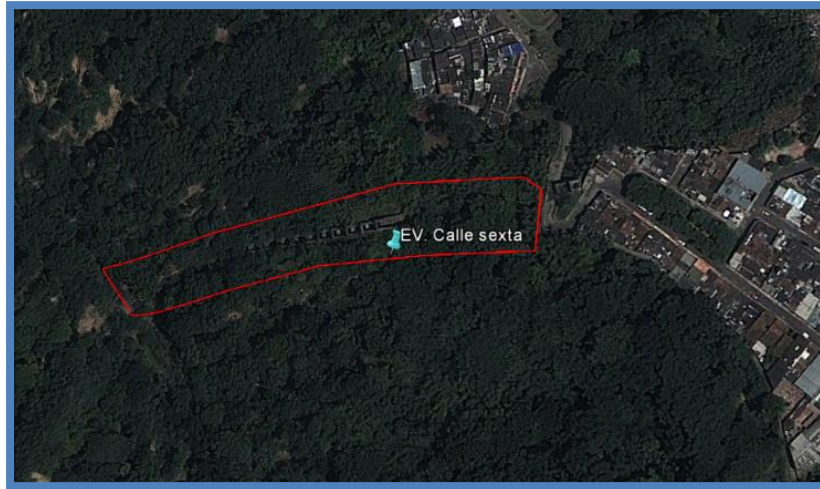


Figura 4. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Calle sexta
Fuente: Google Earth

La Figura 5 muestra la ubicación y forma de la estructura escalonada de vertimiento de aguas residuales Gaitán I Gaitán II, que se encuentran junto a zona residencial en zona boscosa



Figura 5. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Gaitán I y II
Fuente: Google Earth

La Figura 6 muestra la ubicación y forma de la estructura escalonada de vertimiento de aguas residuales Nariño, que se encuentra junto a zona residencial en zona boscosa.



Figura 6. Localización geográfica Estructuras de Vertimiento Nariño
Fuente: Google Earth

La Figura 7 muestra un plano cartográfico con la ubicación y forma de las estructuras escalonadas de vertimiento de aguas residuales.

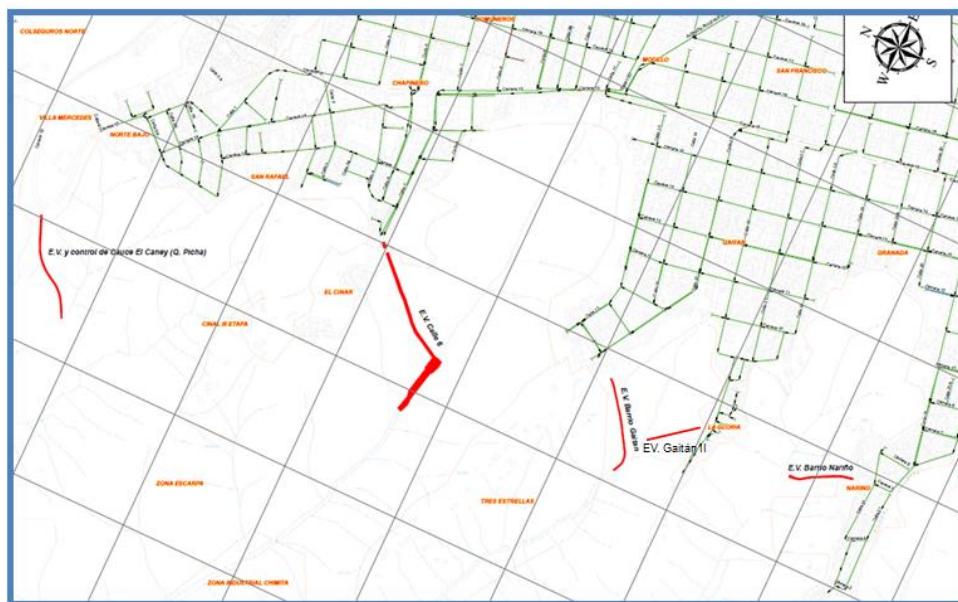


Figura 7. Ubicación cartográfica de las Estructuras de Vertimiento
Fuente: Subgerencia de alcantarillado EMPAS S.A

Teniendo en cuenta las figuras numeradas del 1 al 7 donde se mostró en detalle la localización geográfica y cartográfica de las estructuras escalonadas de vertimiento en la ciudad de Bucaramanga, se prosigue con la descripción de cada una de las estructuras.

10. CONDICIONES ESTRUCTURALES

A continuación, se realiza una descripción detallada sobre las características morfológicas de las estructuras de vertimiento, aguas arriba, a lo largo del tramo y aguas abajo.

10.1 Estructura de Vertimiento El Caney:

Aguas arriba: Inicia en la diagonal 15 con calle 3ª, con un colector de aproximadamente 280m de longitud, un diámetro de 1.4m, se divide en tres tramos, el primero con una pendiente del 5.0% y una longitud de 103m, un segundo tramo con una pendiente del 7.0% y 76 m de longitud y un tercer tramo con una pendiente del 7.2% y una longitud de 103.5m.

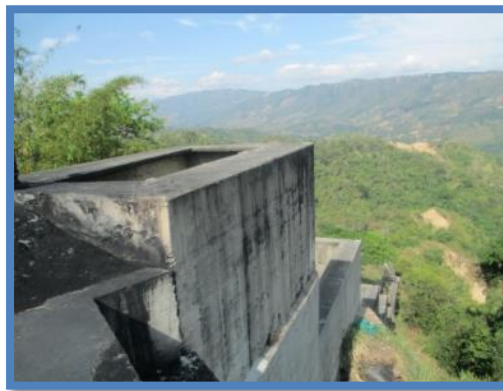


Figura 8. Aguas arriba Caney
Fuente: autor

Tramo: Al finalizar la conducción en tubería se encuentra, con un sistema de caída en escalones que desciende el agua de una elevación de 877m a una de 777m en 269m de longitud.



Figura 9 Tramo Caney

Fuente: Autor

Aguas abajo: Esta estructura entrega las aguas a un tanque amortiguador construido sobre la quebrada.

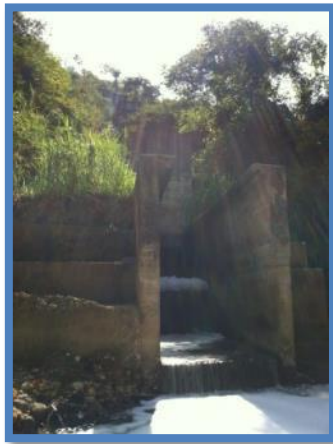


Figura 10: Aguas abajo Caney

Fuente: Autor

10.2 Estructura de Vertimiento Calle Sexta:

Aguas arriba: Abarca una longitud de 70 metros del colector que viene en tubería de concreto de 3 metros de diámetro y se conecta a un canal de transición de 20m de largo que aumenta la sección de 3m a 7m de ancho, para luego ingresar a una estructura de disipación tipo USBR o estanque tipo impacto de 15 metros de largo, la estructura de disipación se une con la estructura escalonada por medio de un canal de 4.5m de longitud que disminuye la sección a 6m de ancho.

Selección de una turbina para la generación de energía eléctrica renovable a través de las estructuras escalonadas del alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga



Figura 11. Aguas arriba Calle Sexta
Fuente: autor

Tramo: se encuentra construida en concreto reforzado en su totalidad y tiene una longitud de 313m hasta la entrega, consiste en un canal abierto con escalones que cambian de nivel cada 6.25 metros y en la parte final de cada escalón tiene un vertedero que embalsa el agua y crea un tanque de amortiguación.



Figura 12. Tramo Calle Sexta
Fuente: autor

Aguas abajo: El último escalón entrega las aguas a un canal que conserva el mismo ancho de la sección y tiene una longitud de 5.2m.



Figura 13. Aguas abajo Calle Sexta
Fuente: autor

10.3 Estructura de Vertimiento Gaitán I:

Aguas arriba: La estructura inicia en un pozo ubicado en la Calle 15 entre carreras 7 y 8, sale en tubería de concreto reforzado en sección de herradura de 2.1m de diámetro, que tiene una longitud de 62.27m y una pendiente del 0.5%, pasa a un canal cerrado escalonado de 2.5m de ancho y 240m de largo.



Figura 14. Aguas arriba Gaitán I
Fuente: autor

Tramo: El canal registra 21 cambios de nivel, cada nivel tiene un largo de 10 m y la altura del cambio de nivel dependen del tipo de modulo, en la parte final de cada sección tiene un vertedero que embalsa el agua y crea un tanque de amortiguación. En cada nivel tiene a cada lado de las paredes laterales un tubo de aireación de 4” de diámetro, en las tapas superiores cada módulo tiene dos codos de ventilación de 4” de diámetro en HF y una losa móvil de inspección.

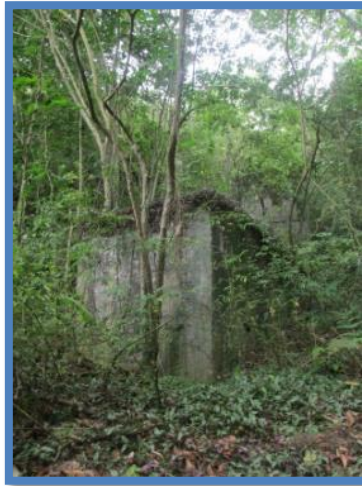


Figura 15. Tramo Gaitán I
Fuente: autor

Aguas abajo: En los últimos 10 metros es de transición y cambia el ancho de la sección de 2.1m a 3.5m para realizar la entrega a la quebrada.



Figura 16. Aguas abajo Gaitán I
Fuente: autor

10.4 Estructura de Vertimiento Gaitán II:

Aguas arriba: La estructura inicia en un pozo ubicado en la Calle 16, sale en tubería de concreto reforzado, pasa a un canal cerrado.



Figura 17. Aguas arriba Gaitán II
Fuente: autor

Tramo: Es una estructura cerrada de tipo escalonada.



Figura 18. Tramo Gaitán II
Fuente: autor

Aguas abajo: En los últimos metros es de transición y cambia el ancho de la sección para realizar la entrega a la quebrada.



Figura 19. Aguas abajo Gaitán II
Fuente: autor

10.5 Estructura de Vertimiento Nariño:

Aguas arriba: La estructura empalma con el colector circular de 0.30 metros de diámetro que viene por la Carrera 5 pasando a un canal cerrado escalonado de 3.2m de ancho y 194m de largo.

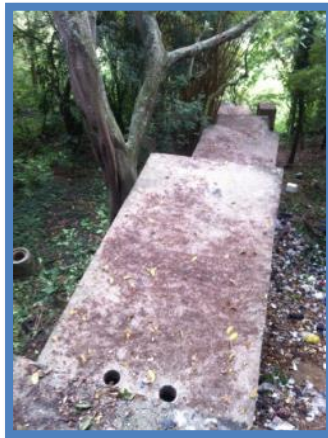


Figura 20. Aguas arriba Nariño
Fuente: autor

Tramo: El canal registra 20 cambios de nivel, la longitud y la altura del cambio del nivel dependen del tipo de modulo, en la parte final de cada sección tienen un vertedero que embalsa el agua y crea un tanque de amortiguación. Las paredes de la estructura son en concreto reforzado y en cada nivel tienen a cada lado de las paredes laterales un tubo de aireación de 4" de diámetro, en las tapas superiores cada módulo tiene dos codos de ventilación de 4" de diámetro en HF y una losa móvil de inspección.

Aguas abajo: Canal en concreto reforzado plano que aumenta la sección de 3.20m a 5m para realizar la entrega.



Figura 21. Aguas abajo Nariño
Fuente: autor

11. CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS EN LAS ESTRUCTURAS ESCALONADAS DE VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.

Se realiza una descripción en la tabla número 2, 3,4 de las cantidades de caudal de agua que cada una de las estructuras escalonadas de vertimientos de aguas residuales transporta durante las horas del día, en tiempo climático seco.

La **demanda biológica de oxígeno** o demanda bioquímica de oxígeno (**DBO**) es un parámetro que mide la cantidad de dióxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.
(https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno)

La **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l).
(https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_qu%C3%ADmica_de_ox%C3%ADgeno)

Los **sólidos suspendidos totales SST**, Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.(http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_SST.htm)

Las **grasas y aceites** de origen vegetal o animal son triglicéridos o también llamados ésteres de la glicerina, con ácidos grasos de larga cadena de hidrocarburos que generalmente varían en longitud (https://es.wikipedia.org/wiki/Categor%C3%ADa:Aceites_y_grasas)

Tabla 2. Características fisicoquímicas - Jornada diurna.

No.	VERTIMIENTO	Q (L/s)	CONCENTRACIONES (mg/L)			
			DBO ₅	DQO	SST	Grasas y Aceites
1	Estructura de Entrada Nariño	88,5	164	276	387	216
2	Estructura de Salida Nariño	88,5	63,6	114	58,8	17,4
3	Estructura de Entrada Caney – La Picha	5,10	105	171	254	90
4	Estructura de Salida Caney – La Picha	8,10	48,5	85,1	42	14,9
5	Estructura de Entrada Calle Sexta	102,3	310	732	231	84,9
6	Estructura de Salida Calle Sexta	102,3	167	360	181	15,4
7	Estructura de Entrada Gaitán I	20,8	347	749	244	20,8
8	Estructura de Salida Gaitán I	20,8	167	442	97,6	52,9
9	Estructura de Entrada Gaitán II	2,10	323	806	98,3	170
10	Estructura de Salida Gaitán II	2,10	384	896	93,3	188

Fuente: contrato de consultoría No 001856/2013

11.1 Conclusiones Tabla 2

- Se observa que las estructuras más representativas en cuanto a caudal transportado son las estructuras de Calle Sexta con 102,3 L/s y Nariño con 88,5 L/s, siendo las estructuras con menor caudal la de Gaitán II con 2,10 L/s y Caney – La Picha con 5,10 L/s Por tanto Calle Sexta y Nariño son estructuras que tienen mejor flujo de agua residual en durante el día.

- Las estructuras con mayor carga contaminante de DBO5, son Gaitán I con 347, Gaitán II con 323, Nariño con 164. Las de menor carga contaminante es Caney 105.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de DQO son Gaitán II con 806, Gaitán I con 749, Calle Sexta con 732.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de SST son Nariño con 387, Caney – La Picha con 254, Gaitán I 244, Calle Sexta 181. Estos solidos suspendidos totales en la jornada del día no implicaría un problema para el funcionamiento de la turbina, pero si se requiere de un cribado preventivo a la entrada de las aguas a la turbina, con el fin de evitar daños a la turbina por colmatación o elementos de un mayor tamaño que obstaculicen su funcionamiento.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de Grasas y Aceites son Nariño con 216 Gaitán II con 170, Caney – La Picha con 90. Las concentraciones de grasas y Aceites durante la jornada no son un factor que pueda impedir el funcionamiento de una turbina.

En la tabla 3 se describe las cantidades de caudal y cargas contaminantes DBO₅, DQO SST, Grasas y Aceites, que cada una de las estructuras escalonadas de vertimientos de aguas residuales transporta durante las horas nocturnas, en tiempo climático seco.

Tabla 3. Características fisicoquímicas - jornada nocturna.

No.	VERTIMIENTO	Q (L/s)	CONCENTRACIONES (mg/L)			
			DBO ₅	DQO	SST	Grasas y Aceites
1	Estructura de Entrada Nariño	62,7	270	446	269	127
2	Estructura de Salida Nariño	62,7	138	198	98	47,1
3	Estructura de Entrada Caney – La Picha	8,40	143	243	177	23,1
4	Estructura de Salida Caney – La Picha	14,8	42,2	89	58,4	57,9
5	Estructura de Entrada Calle Sexta	112,2	305	754	156	70
6	Estructura de Salida Calle Sexta	112,2	267	641	253	63,6
7	Estructura de Entrada Gaitán I	18,1	248	574	110	90,4
8	Estructura de Salida Gaitán I	18,1	153	430	69,9	35,3
9	Estructura de Entrada Gaitán II	1,80	296	766	175	139
10	Estructura de Salida Gaitán II	2,10	404	920	245	412

Fuente: Contrato de consultoría No 001856/2013

11.2 Conclusiones tabla 3

- Se observa que las estructuras más representativas en cuanto a caudal transportado son las estructuras de Calle Sexta con 112,2 L/s y Nariño con 62.7 L/s, siendo las estructuras con menor caudal la de Gaitán II con 1.80 L/s y Caney – La Picha con 8.40 L/s Por tanto Calle Sexta y Nariño son estructuras que tienen mejor flujo de agua residual durante la noche.

- Las estructuras con mayor carga contaminante de DBO₅, son Calle Sexta con 305 Gaitán II con 296, Gaitán I con 248. Las de menor carga contaminante es Caney – La Picha 143.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de DQO son Gaitán II con 766, Calle Sexta con 754 Gaitán I con 574, Nariño con 446.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de SST son Nariño con 269, Caney – La Picha con 177, Gaitán I 244, Calle Sexta 156. Estos sólidos suspendidos totales en la jornada de la noche no implicaría un problema para el funcionamiento de la turbina, pero si se requiere de un cribado preventivo a la entrada de las aguas a la turbina, con el fin de evitar daños a la turbina por colmatación o elementos de un mayor tamaño que obstaculicen su funcionamiento.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de Grasas y Aceites son Nariño con 127 Gaitán II con 139, Gaitán I con 90.4. Las concentraciones de grasas y Aceites durante la jornada no son un factor que pueda impedir el funcionamiento de una turbina.

Selección de una turbina para la generación de energía eléctrica renovable a través de las estructuras escalonadas del alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga

Tabla 4. Características fisicoquímicas, cargas orgánicas promedio diarias consolidado jornada diurna – nocturna.

No.	VERTIMIENTO	Q (L/s)	Q (M ³ /s)	CONCENTRACIONES (mg/L)				CARGA (kg/d)			
				DBO ₅	DQ O	SST	GYA	DBO ₅	DQO	SST	GYA
1	Estructura de Entrada Nariño	75,6	0.756	207,9	346,5	338,1	179,1	1358	2263,3	2208,4	2339,6
2	Estructura de Salida Nariño	75,6	0.756	94,4	148,8	75,1	29,7	616,6	971,9	490,5	194
3	Estructura de Entrada Caney – La Picha	6,80	0.68	128,6	215,8	206,1	48,4	75,6	126,8	121,1	28,4
4	Estructura de Salida Caney – La Picha	11,4	0.114	44,4	87,6	52,6	42,7	43,7	86,3	51,8	42,1
5	Estructura de Entrada Calle Sexta	107,3	1.073	307,4	743,5	191,8	77,1	2849,8	6892,8	1778,1	714,8
6	Estructura de Salida Calle Sexta	107,3	1.073	219,3	506,9	218,7	40,6	2033,1	4699,3	2027,5	376,4
7	Estructura de Entrada Gaitán I	19,4	0.194	301	667,7	181,7	53,1	505,7	1121,8	305,3	89,2
8	Estructura de Salida Gaitán I	19,4	0.194	160,5	436,4	84,7	44,7	269,6	733,2	142,3	75,1
9	Estructura de Entrada Gaitán II	1,90	0.19	310,4	787,4	134	155,6	51	129,3	22	25,5
10	Estructura de Salida Gaitán II	2,10	0.21	394,1	908,2	170,3	301,7	71,5	164,8	30,9	54,7
11	Estructura El Loro arriba	0.80	0.08	433.00	-	638.00	-	30.0	-	25.50	-
12	Estructura El Loro abajo	0.87	0.087	414.00	-	370.00	-	31.12	-	27.81	-
13	Estructura San Miguel I arriba	6.70	0.67	456.14	-	314.35	-	264.02	-	181.97	-

14	Estructura San Miguel I abajo	7.82	0.782	394.00	-	260.00	-	266.21	-	175.67	-
15	Estructura San Miguel II arriba	6.20	0.620	422.77	-	273.67	-	226.47	-	146.60	-
16	Estructura San Miguel II abajo	6.80	0.680	490.00	-	280.00	-	287.88	-	164.51	-
17	Estructura Gómez Niño arriba	130.39	13.039	616.00	-	345.00	-	1427.96	-	799.75	-
18	Estructura Gómez Niño abajo	167.50	16.750	339.00	-	185.00	-	4906.01	-	1915.17	-
19	Estructura El Mutis arriba	27.63	2.763	742.88	-	466.58	-	1773.43	-	1113.83	-
20	Estructura El Mutis abajo	26.83	2.683	616.00	-	345.00	-	1427.96	-	799.75	-

Fuente: Contrato de consultoría No 001856/2013 / Contrato consultoría 2011

11.3 Conclusiones tabla 4

- Se observa que las estructuras más representativas en cuanto a caudal transportado promedio diarias consolidado jornada diurna, son las estructuras Gómez Niño con 13.039m³/s Mutis con 2.763 m³/s San Miguel I con 782m³/s de Calle Sexta con 1.073m³/s y Nariño con 0.756 m³/s, siendo las estructuras con menor caudal la de Gaitán II con 0.19 m³/s El Loro con 0.0087y Caney – La Picha con 0.68 m³/s Por tanto Gómez Niño, Mutis, San Miguel I y Calle Sexta son estructuras que tienen la mayor probabilidad de ser instaladas las turbinas.
- Las estructuras con mayor carga de concentración de DBO5 mg/L, son Mutis 742.88 y una carga (kg/d) de 1773.43 Gómez Niño 616.00 carga (kg/d) 1427.96 San Miguel 456.14 carga (kg/d) 266.21 El Loro con 433.00 carga (kg/d) 30.0 siendo el de menor caudal presenta una elevada carga.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de DQO son Calle Sexta con 743.5 mg/L en concentración, con una carga de 6892.8 Kg/d, Gaitán II con 787.4, con una carga de 129.3 Kg/d

Gaitán I con 667.7, con una carga de 1121.8 Kg/d, Calle sexta con 7435 concentración, una carga de 6892.8 kg/d Nariño con 346.5 de concentración y una carga de 2263.3 kg/d.

- Las estructuras con mayor carga contaminante de SST son El Loro con 638.00 mg/L en concentración y 25.50 Kg/d, Mutis con 466.58 mg/L y 1113.83 Kg/d, Gómez Niño 345.00 mg/L y 799.75 kg/d en carga Nariño con 338.1 mg/L y 2208.4 kg/L siendo este el de más alto valor de las estructuras. Estos solidos suspendidos totales en la jornada no implicaría un problema para el funcionamiento de la turbina, pero si se requiere de un cribado preventivo a la entrada de las aguas a la turbina, con el fin de evitar daños a la turbina por colmatación o elementos de un mayor tamaño que obstaculicen su funcionamiento.
- Las estructuras con mayor carga contaminante de Grasas y Aceites son Nariño con 179.1 en la entrada y 29.7 a la salida, esto quiere decir que hay una disminución durante el recorrido dentro de la estructura al existir el golpe en la caída, lo cual es considerado una depuración no convencional Gaitán II con 155.6 en la entrada y a la salida 301.7, Calle Sexta 77.1 en la entrada y 40.6 a la salida. Las concentraciones de grasas y Aceites durante la jornada no son un factor que pueda impedir el funcionamiento de una turbina, pero si podría ser de seguimiento el comportamiento una vez esté en funcionamiento, de este modo se evalúa el tiempo de mantenimiento al que debe ser sometido.

Una vez analizado los caudales y los parámetros físico-químicos de los diferentes vertimientos y exponiendo que no son obstáculo para la utilización de turbinas en los sistemas escalonados de aguas combinadas se procede a indicar los diferentes tipos de turbinas que existen en el mercado y los más adecuados para el proyecto.

12. TIPOS DE TURBINAS

12.1 ¿Qué es una Turbina Hidráulica?

En la página <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html> se hace una explicación detallada sobre las turbinas que permite adquirir una mejor idea sobre ellas, se indica que una turbina hidráulica es una máquina que transforma la energía de un fluido (energía cinética y potencial), normalmente agua, en energía mecánica de rotación. La energía del agua puede ser por la caída en un salto de agua o por la propia corriente de agua.



Figura 22 Flujo de la energía

Normalmente esta energía de rotación se utiliza para transformarla en energía eléctrica, mediante el acoplamiento de la turbina a un generador en las centrales hidráulicas. La caída del agua y/o el paso del agua por ella hace girar la turbina y el eje de la turbina, que está acoplado al generador, hace que este último gire produciendo energía eléctrica. Las turbinas hidráulicas tienen un rendimiento muy alto que incluso puede llegar al 90%.

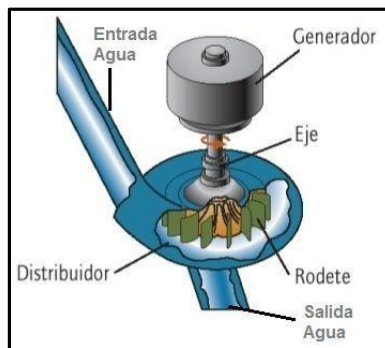


Figura 23 Esquema del funcionamiento de una Turbina

Las plantas hidroeléctricas, son las encargadas de convertir la energía del agua en energía eléctrica. La turbina como tal, es la encargada de transformar la energía hidráulica en energía mecánica. El generador convierte la energía mecánica transferida por la turbina, en energía eléctrica. La turbina es el alma, es el elemento principal para generar la energía y dependiendo del tipo de turbina que

se utilice es la de mayor o menor transferencia de energía. Las turbinas pueden clasificarse de distintas maneras. Si se toma en cuenta la forma de actuar del agua:

12.2 Turbina Pelton

También llamada "Rueda Pelton" es una turbina de acción o de chorro, tangencial y normalmente de eje horizontal. Se utiliza en saltos de agua de gran altura (superiores a 200m) y con pequeños caudales de agua (hasta 10 metros cúbicos por segundo). El distribuidor está formado por una o varias entradas de agua al rodete. Los álabes que están situados sobre la periferia del rodete tienen forma de cuchara. La fuerza del impulso del agua es la responsable del giro de la turbina. Se encuentran las turbinas de acción, en las que la energía del agua a la salida del distribuidor, y por intermedio de un chorro, es toda energía cinética, como las turbinas tipo Pelton.



Figura 24 Turbina Pelton

- Las turbinas de reacción, son de admisión total, es decir, el fluido entra al rodete. Por toda la periferia y sale en la parte inferior creando una reacción a diferencia de lo que ocurre con las turbinas Pelton.

En este grupo, se encuentran varios tipos de turbinas:

Las turbinas Francis, que son radiales o mixtas, y las turbinas Hélice, Kaplan y Bulbo, todas ellas axiales.

Se denominan axiales o radiales, según como la columna de líquido se desplace en el rodete a lo largo del eje de rotación, o bien normalmente al mismo, es decir, de forma radial.

12.3 Turbina Francis

Es una turbina de reacción, radial-axial, normalmente de eje vertical, aunque pueden ser horizontal como muestra la figura 25. Se utiliza en saltos de altura intermedia (hasta los 200m) y con caudales muy variados de agua, entre 2 y 200 metros cúbicos por segundo. El distribuidor está compuesto de aletas móviles para regular el caudal de agua que conduce al rodete. El agua procedente de la tubería forzada entra perpendicularmente al eje de la turbina y sale paralela a él.

Para regular el caudal de agua que entra en el rodete se utilizan unas paletas directrices situadas en forma circular, y cuyo conjunto se denomina distribuidor. Se utiliza en sitios de muy diversas alturas de caída de agua y caudales. Esta turbina se puede utilizar en un gran rango de saltos y caudales de agua, es la más versátil. Algunas pueden variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento.

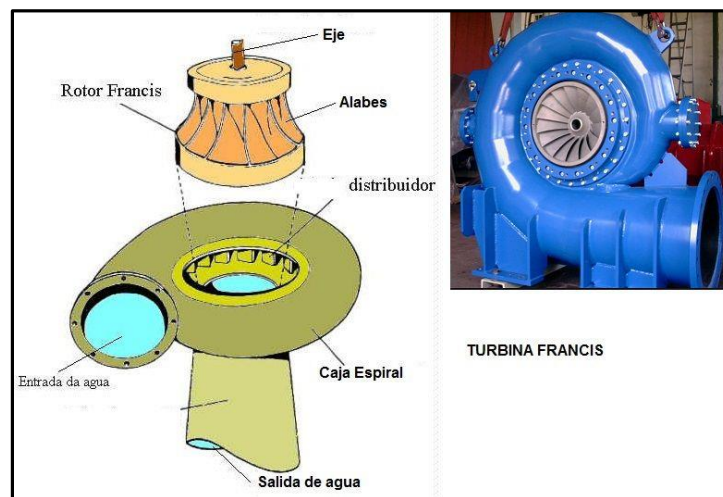


Figura 25 Turbina Francis

12.4 Turbina Kaplan

La turbina Kaplan es de reacción pura, radial-axial, y normalmente de eje vertical. Las características técnicas y de construcción son muy parecidas en ambos tipos (Francis y Kaplan). Se utiliza en saltos de pequeña altura de agua (hasta 50m) y con caudales que suelen superar los 15 metros cúbicos por segundo. Para mucho caudal de agua a poca altura esta turbina es la mejor opción. Pueden variar el ángulo de sus palas durante su funcionamiento.

Selección de una turbina para la generación de energía eléctrica renovable a través de las estructuras escalonadas del alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga



Figura 26 Turbina Kaplan

Las turbinas también se pueden clasificar según se utilicen para saltos:

- De poca altura (Francis y de hélice, saltos que no sobrepasen los 10 m y grandes caudales de incluso centenares de metros cúbicos).
- Para saltos de mediana altura y elevados (Francis, hasta unos 400 m y caudales medianos o Pelton con poco caudal).
- Para saltos de gran altura (superiores a 1700m y caudales pequeños) se utiliza turbinas Pelton.

Los materiales utilizados para la fabricación de una turbina pueden ser de fundición, de acero, parte de fundición (los cubos) y parte en chapa de acero estampada (álabes); de bronce, y de acero inoxidable al cromo-níquel.

13. MÉTODO DE SELECCIÓN DE LA TURBINA

Para el estudio de factibilidad del sistema de generación de energía eléctrica a través de las estructuras escalonadas de aguas residuales se requiere demostrar cuál turbina es la indicada para su implementación, por tanto se utiliza los algoritmos que hay presente en la página web de COLTURBINAS², proveyendo la información que solicita, primer ítem es la información de revoluciones por minuto RPM que en este caso se toma 600 RPM el más bajo, asumiendo una generación mínima, el segundo ítem es el caudal Q , el tercer ítem es la altura H , que hay a lo largo del tramo en cada estructura escalonada.

$$\begin{aligned} N &= \text{número de RPM } 600\text{RPM} \\ Q &= \text{caudal metros}^3 \times \text{segundo} \\ H &= \text{altura en metros} \end{aligned}$$

La Figura 27 muestra el tipo de turbina que debe ser utilizada tomando en cuenta caudal que circulará y la altura de caída del agua.

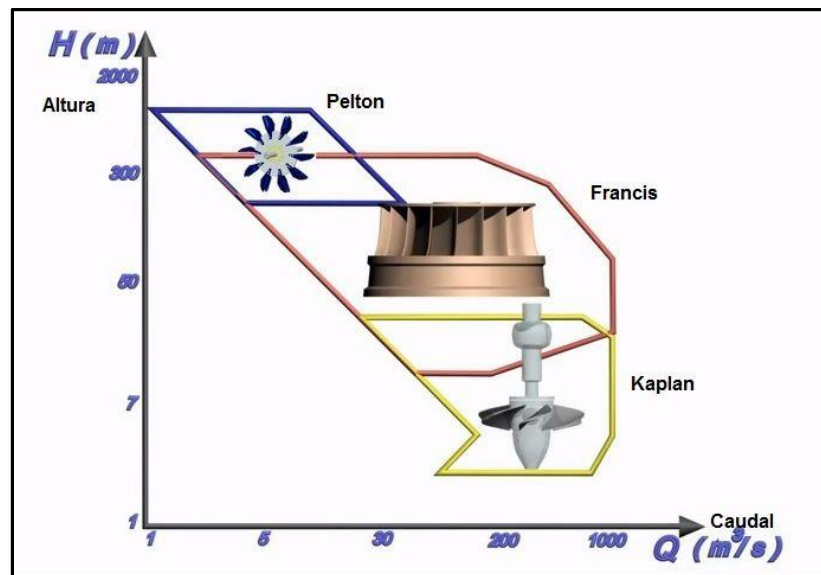


Figura 27 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída

La turbina Pelton requiere un cabezal de agua grande y un flujo bajo, y las turbinas Kaplan requieren una cabeza de agua baja pero una gran tasa de flujo. Las turbinas Pelton generalmente se construyen en regiones montañosas, mientras que las turbinas Kaplan están ubicadas en tierras

² COLTURBINAS http://www.colturbinas.com/index_cal.php

bajas. Estas restricciones hacen que estas dos turbinas tipo sean menos comunes que la turbina Francis.³

13.1 Cálculo para selección de la turbina en cada estructura

Para calcular la capacidad de generación de energía eléctrica en cada uno de las estructuras escalonadas de aguas residuales combinadas por la ecuación que está en la página web de COLTURBINAS se utiliza la información obtenida en la Empresa Pública de alcantarillado de Santander EMPAS S.A la cual está resumida en la tabla 5.

Tabla 5. Características longitudinales de las estructuras escalonadas tomadas desde parte alta hasta la entrega final, en la parte baja

ESTRUCTURA	Caudal M ³ /S	LARGO – CAIDA / ALTURA
Estructura Nariño	0,756	De 159,55m de caída / 268,52m de largo por 100 metros de altura
Estructura de Caney – La picha	0,68	De 312.29m de largo por 147m de altura en la estructura
Calle sexta	1,073	De 238,06m de largo por 103m de altura
Gaitán I	0,194	Con una altura de 210mts
Gaitán II	0,19	Se desconoce sus características geométricas longitudinales en su recorrido (según catastro de EMPAS S.A),
El Loro	0,08	De 220m de distancia entre punto arriba y abajo
San Miguel I	0.67	De 121m de distancia entre punto arriba y abajo
San Miguel II	0,62	De 120m de distancia entre punto arriba y abajo
Gómez Niño	16,75	De 440m de distancia entre punto arriba y abajo
Mutis	2,763	De 265m de distancia entre punto arriba y abajo

Fuente: Contrato de consultoría No 001856/2013 / Contrato consultoría 2011

³ Customized small water Wheel Pelton Francis turbine, Alibaba.com

13.2 Cálculo para selección de la turbina estructura Nariño

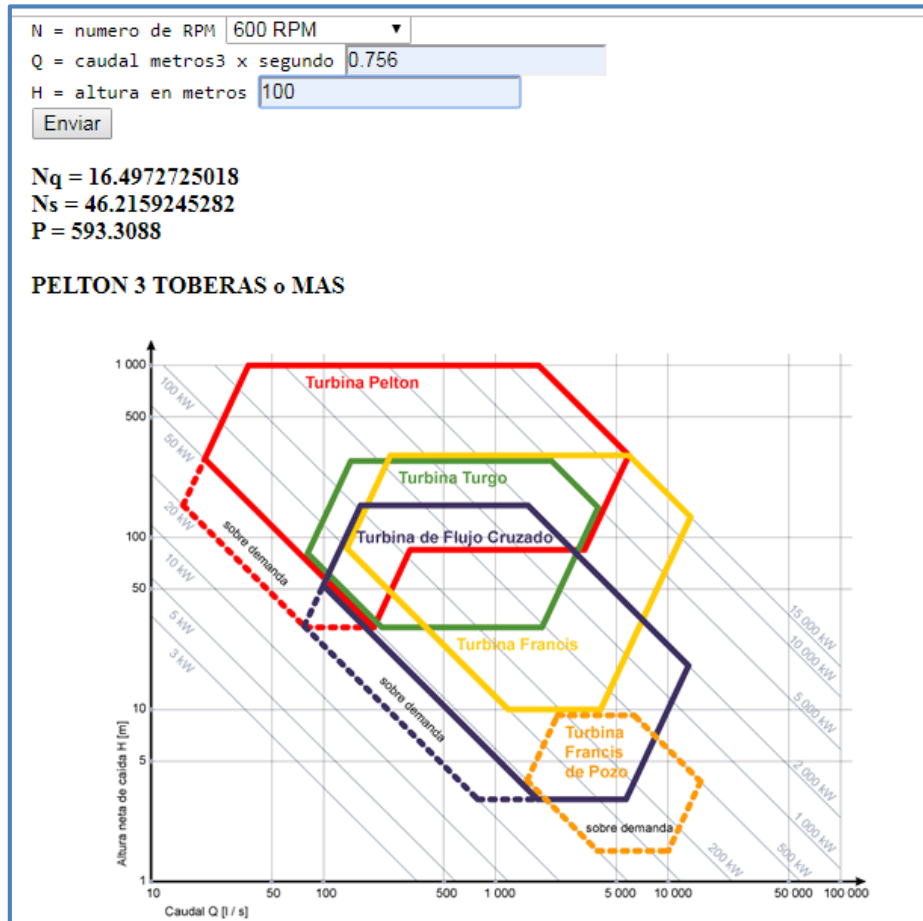


Figura 28 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Nariño

La figura 28 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Nariño, es de tipo Pelton con tres toberas o más.

13.3 Cálculo para selección de la turbina estructura Caney - La Picha

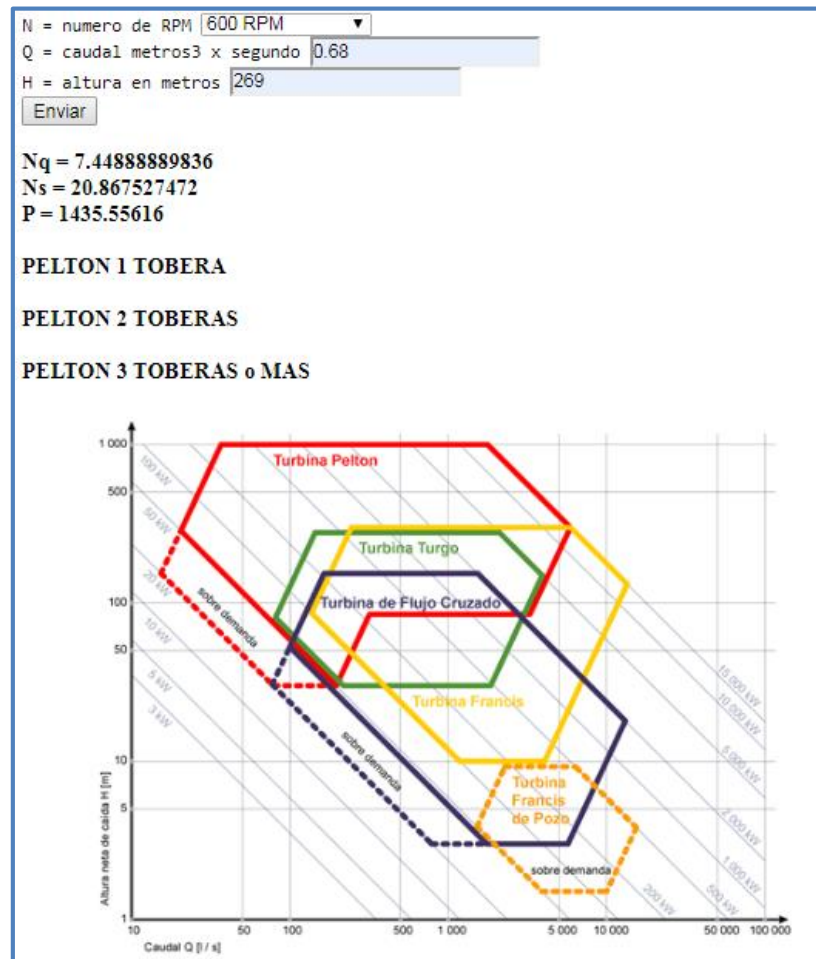


Figura 29 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Caney La picha

La figura 29 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Caney - La Picha, es de tipo Pelton de 1 a 3 toberas o más.

13.4 Cálculo para selección de la turbina estructura Calle Sexta

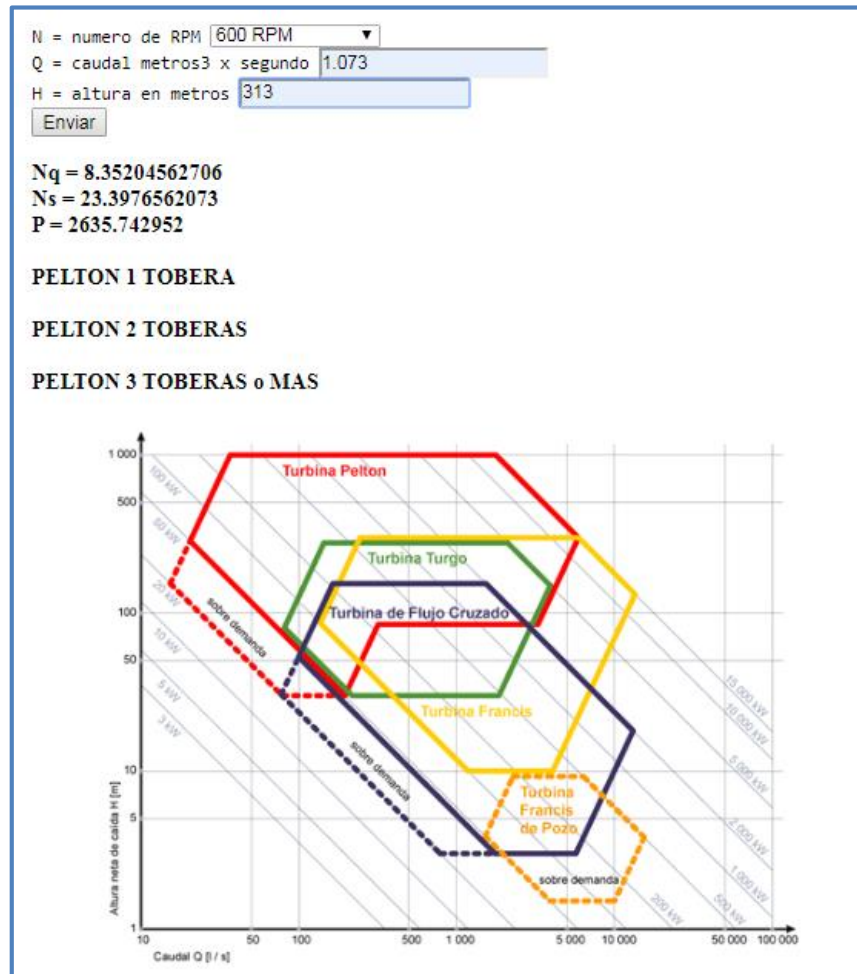


Figura 30 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Calle Sexta

La figura 30 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Calle sexta, es de tipo Pelton con variación de 1 a 3 toberas o más.

13.5 Cálculo para selección de la turbina estructura Gaitán I

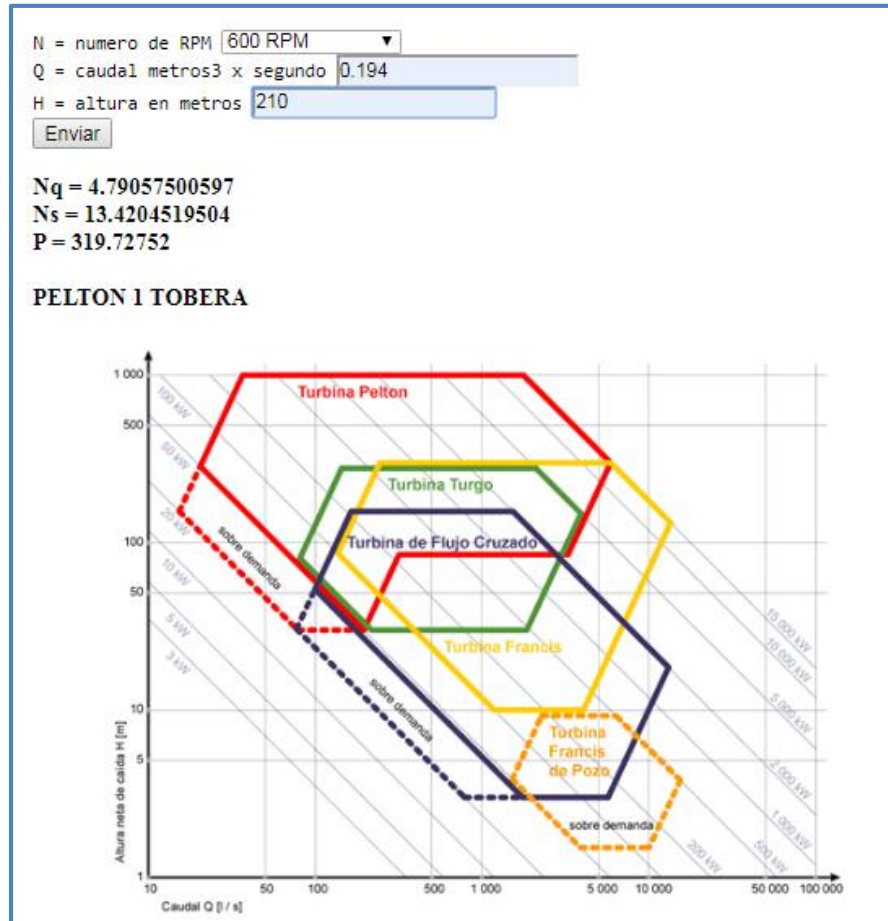


Figura 31 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gaitán I

La figura 31 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Gaitán I, es de tipo Pelton de 1 tobera.

13.6 Calculo para selección de la turbina estructura Gaitán II

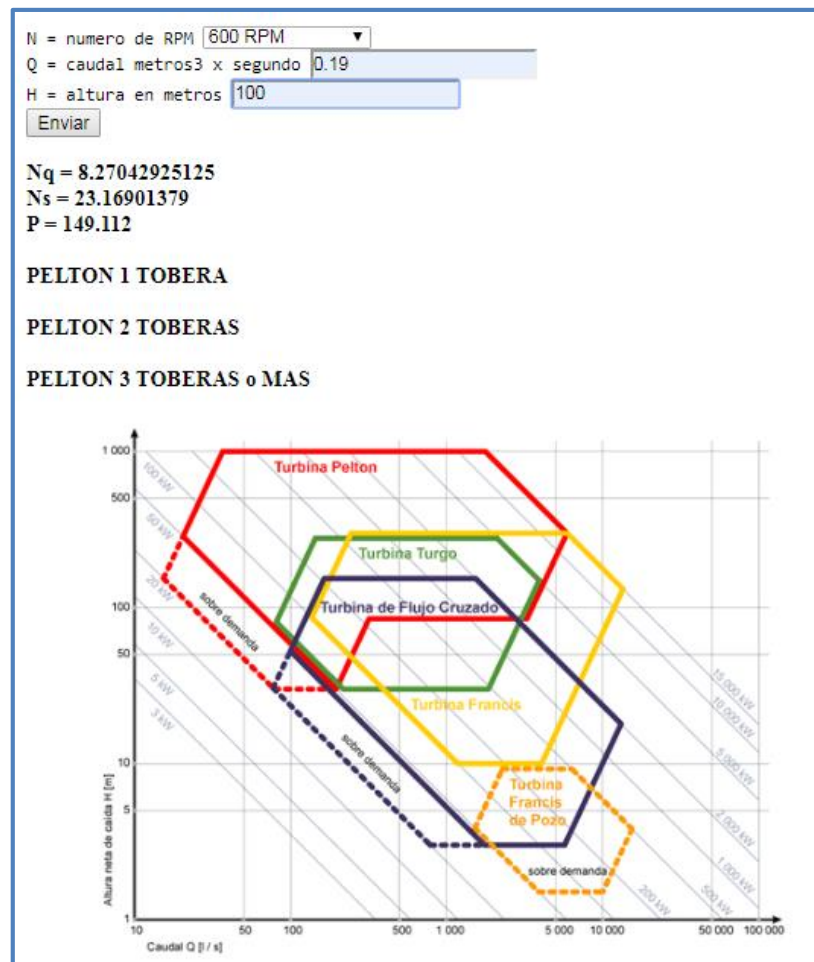


Figura 32 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gaitán II

La figura 32 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Gaitán II, es de tipo Pelton de 1 a 3 toberas o más. Para esta estructura se asume la caída mínima a de 100mts dado que se desconoce su altura real.

13.7 Cálculo para selección de la turbina estructura El Loro

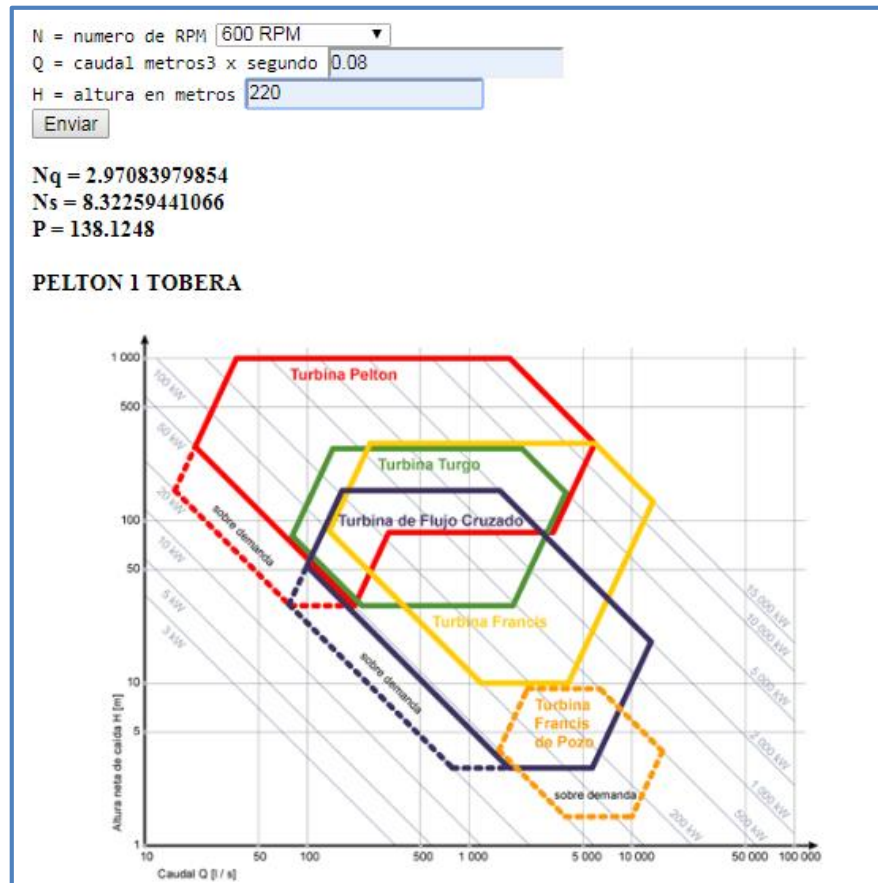


Figura 33 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura El Loro

La figura 33 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada El Loro, es de tipo Pelton de 1 tobera.

13.8 Cálculo para selección de la turbina estructura San Miguel I

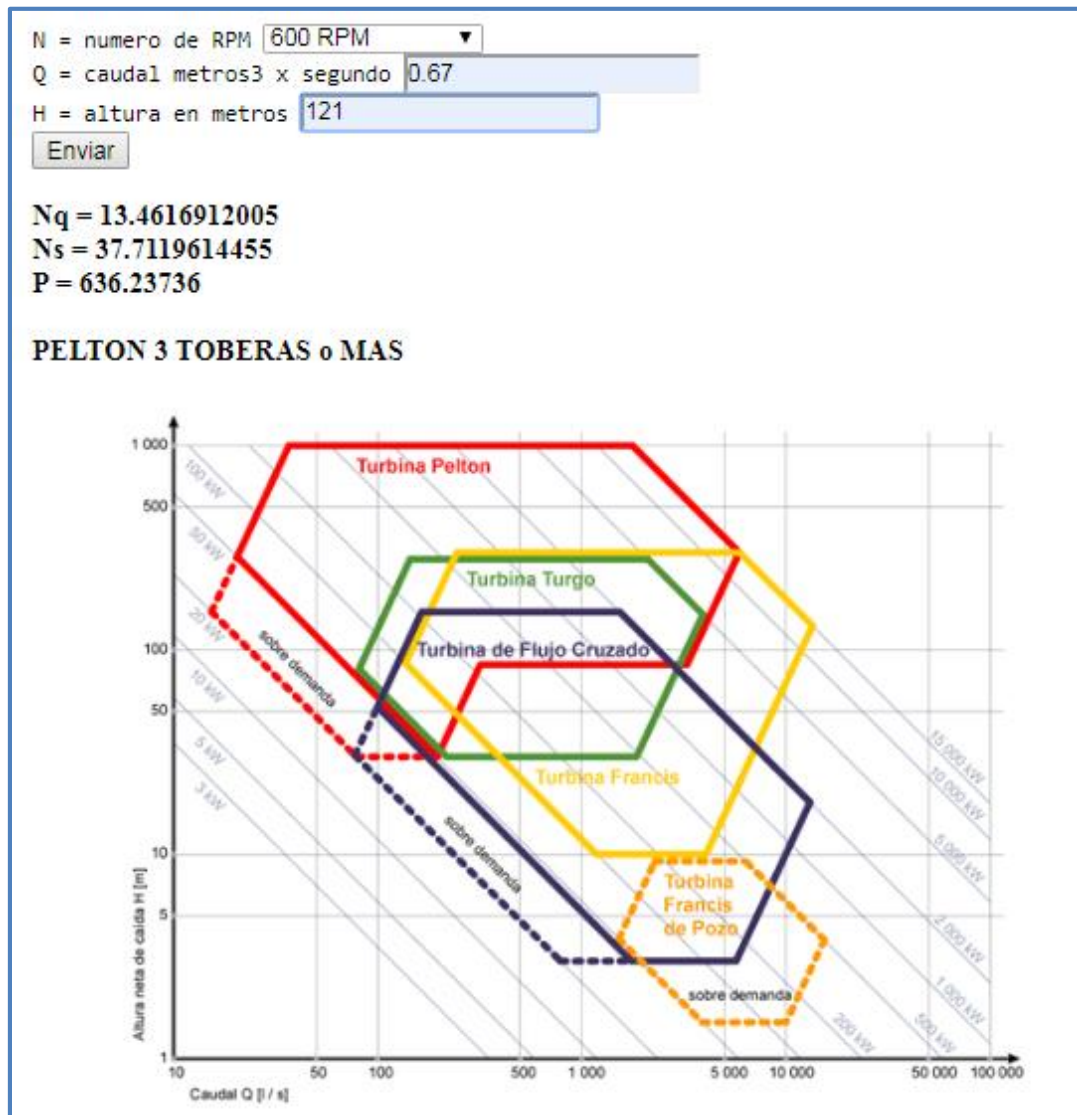


Figura 34 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura San Miguel I

La figura 34 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada San Miguel I, es de tipo Pelton de 3 toberas o más.

13.9 Cálculo para selección de la turbina estructura San Miguel II

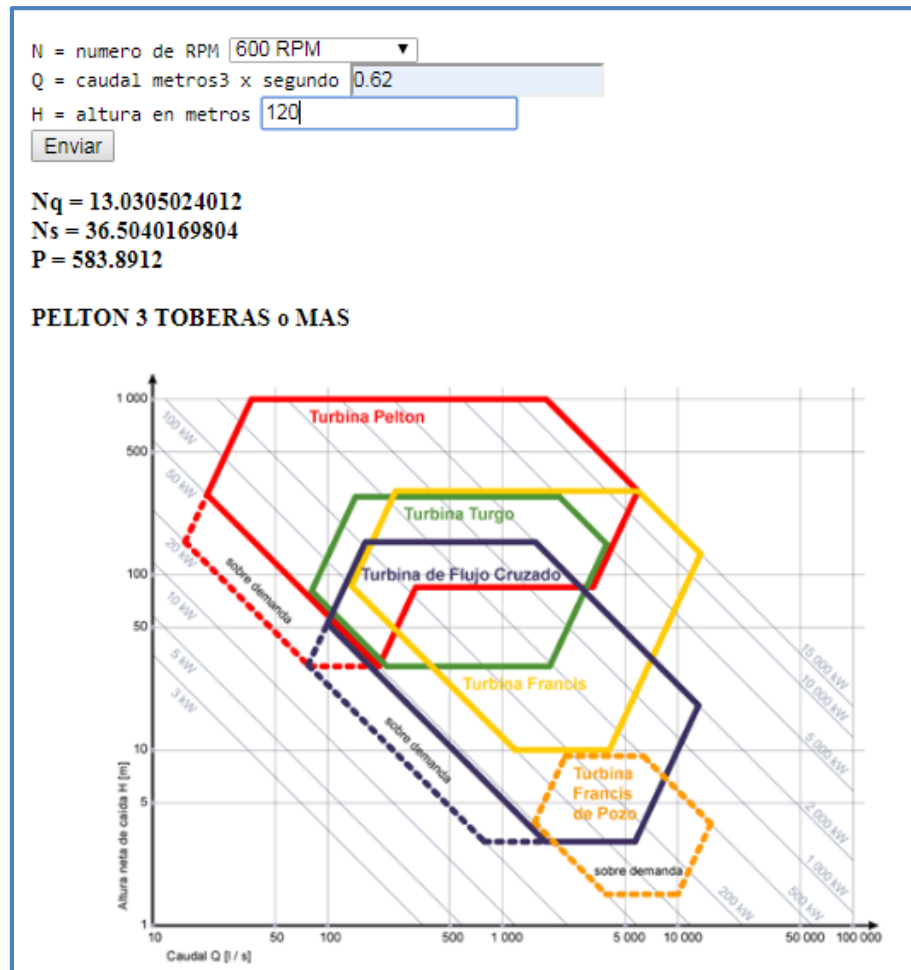


Figura 35 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura San Miguel II

La figura 35 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada San Miguel II, es de tipo Pelton de 3 toberas o más.

13.10. Cálculo para selección de la turbina estructura Gómez Niño

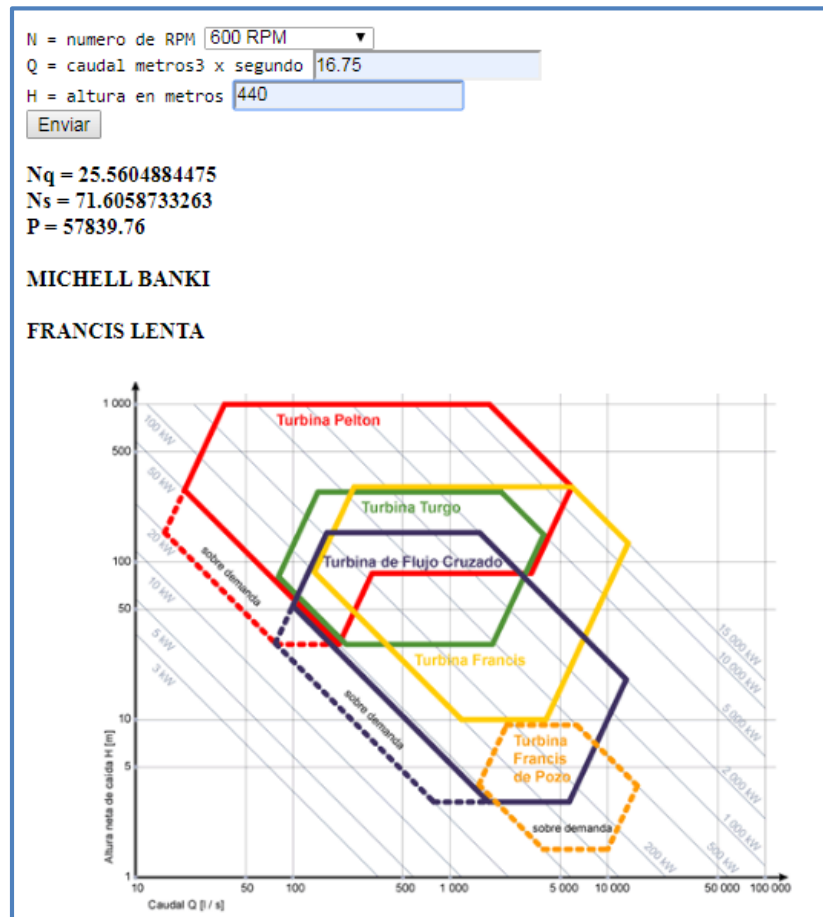


Figura 36 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Gómez Niño

La figura 36 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Gómez Niño, es de tipo Michell Banki, Francis Lenta, siendo la única de este tipo entre las diez estructuras.

13.11 Cálculo para selección de la turbina estructura Mutis

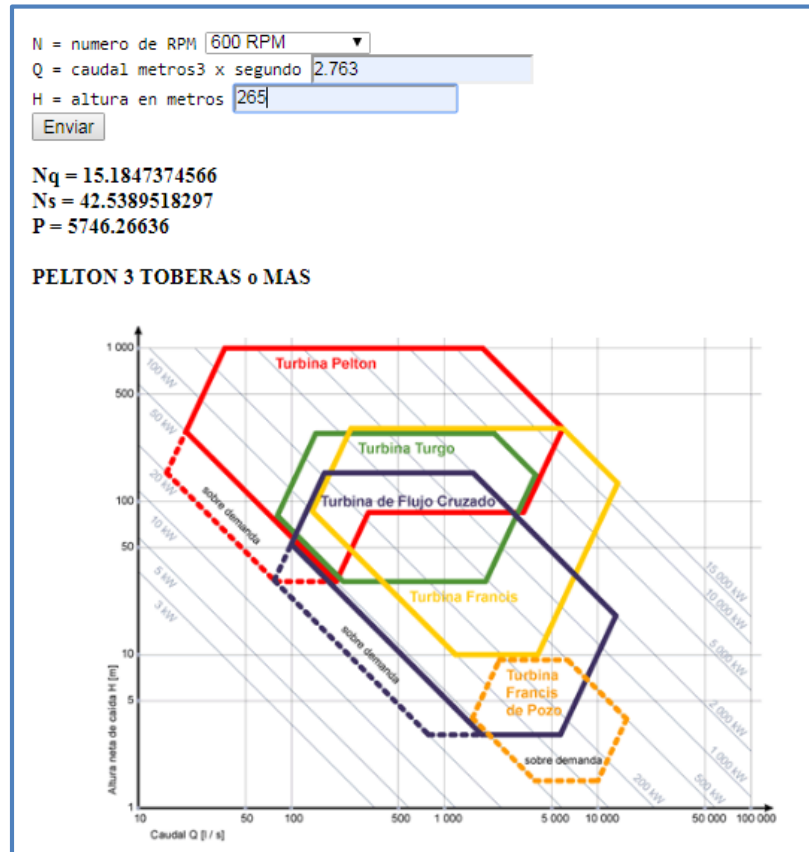


Figura 37 Tipo de turbina según el caudal y la altura de caída estructura Mutis

La figura 33 muestra que la turbina que cumple la función de generar energía eléctrica según las características de caudal y caída del agua para la estructura escalonada Mutis, es de tipo Pelton de 3 toberas o más.

14. CONCLUSIONES

- Luego del análisis para iniciar el modelo de negocio de generación de energía por medio de las estructuras escalonadas de aguas residuales en la ciudad de Bucaramanga, se llega a la conclusión de que existen las condiciones a partir del método de selección de la turbina y su capacidad de generación energética impulsada por aguas residuales combinadas en una estructura escalonada, para que en el futuro se dé inicio a un estudio de viabilidad. Dado que las aguas limpias (lluvias), como de aguas residuales que se captan en la ciudad de Bucaramanga es continua, con un caudal importante en épocas de secas, que en temporada de alta pluviosidad sería superior a los caudales que fueron obtenidos de la información del estudio, los cuales fueron tomados en época carente de lluvias, las estructuras escalonadas cuentan con una pendiente suficiente para la impulsión de las aguas residuales hacia la turbina. Cabe resaltar que, si se hace una modificación de los tramos de las tuberías de alcantarillado para unificarlos en un solo colector, esto aumentaría caudales, lo que haría aún más eficiente el sistema de generación de energía eléctrica renovable, sumado a la eliminación de escalones que ralentizan las de aguas, con el fin de darle mayor velocidad en la caída lo que le daría más revoluciones por minuto a la turbina.
- El agua al ser un recurso renovable y continuo, se asegura una disponibilidad de energía potencial inagotable, sumada a que en épocas de alta pluviosidad y la reducción en todo el tramo de las estructuras de Estanque Tipo Impacto se incrementará el caudal y la fuerza con la que el agua impulsará las turbinas. Es relevante esta información para el documento y el lector, describiendo como son, donde se encuentran y como están constituidas las estructuras escalonadas, dado que no es común en algunas ciudades, de esta información se establecerá la ubicación de las turbinas en el futuro, junto con (rpm, h y caudal) especificada en cada estructura.
- Es relevante para el documento y el lector la descripción de las estructuras escalonadas, para que se pueda dimensionar como es estructuralmente y su entorno, como es el agua residual que se transporta en ellas, permitiendo establecer la ubicación de las turbinas en el futuro y de acuerdo con los criterios que se tuvieron en cuenta (rpm, h y caudal) sirven para la selección de la turbina en cada estructura.

- Este tipo de proyectos pioneros de energías renovables son de gran interés nacional, dado que el Gobierno de Colombia está promoviendo este tipo de iniciativas, para la búsqueda de un desarrollo sostenible, que reduzca la contaminación, que permita el reemplazo del uso de energías a base de hidrocarburos, que por sus características químicas son contaminantes desde su extracción hasta su consumo y post-consumo. De esta manera se pretende mejorar la calidad de vida de la población colombiana que en su mayoría se concentra en las grandes ciudades. Con los datos obtenidos de DBO5, DQO, SST, Grasas y Aceites se presume que no afectaría el funcionamiento adecuado de las turbinas, pero sí requiere de un seguimiento para evaluar el tipo de afectación que estos podrían generar en una turbina, dado que sería la primera vez que se pondría a prueba con aguas residuales combinadas.
- Dentro de los análisis para determinar cuál tipo de turbina es la más conveniente se llega a la conclusión que para la puesta en marcha del sistema de generación de energía, se evidencia que la adecuadas son la turbina tipo **Pelton**, para un total de 9 estructuras y la turbina **Michell banki, Francis lenta**, para la estructura Gómez Niño, ya que por las condiciones morfológicas y de caída lo especifican, debido a que estas turbinas estarían en contacto con aguas residuales con características diferentes a la limpia, siendo unas aguas corrosivas por las concentraciones de sustancias que estas transportan, además sería necesario realizar un cribado previo a la entrada de las aguas a la turbina con el fin de evitar que materiales de diferentes tamaños obstaculicen la turbina.

15. RECOMENDACIONES

- Es de importancia la necesidad de realizar un estudio de factibilidad en un convenio inter-empresarial y con el gobierno municipal, con el fin de cuantificar los valores reales para realizar la construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema de generación de energía eléctrica.
- Al ser un proyecto pionero en Colombia y posiblemente en Latinoamérica, hace que sea un reto para las instituciones públicas y privadas, al aplicar sus capacidades económicas e ingenieriles, para adaptar la morfología y estructuras de alcantarillado ya existentes, así como el de interconectar el sistema eléctrico a este nuevo sistema. Requiriendo el apoyo de otros estamentos gubernamentales que permitan direccionar adecuadamente los esfuerzos económicos y tecnológicos.
- Con el propósito de aterrizar la idea teniendo en cuenta las obras civiles, costos, temas legales, entre otros; se ha tenido conversaciones con la empresa generadora de energía del departamento de Santander, ellos manifiestan que estarían interesados en aportar al proyecto una vez se tenga un estudio de factibilidad. Que dicha generación de energía sustentable es de gran interés para ellos como empresa, ya que se puede integrar a todo el sistema eléctrico del área metropolitana.
- La energía que se produciría a través de las turbinas instaladas en los sistemas escalonados de aguas combinadas de alcantarillado, podría ser utilizada para suplir las necesidades de la planta de tratamiento de las aguas residuales. De este modo se reduciría la demanda energética y el impacto ambiental.

16. BIBLIOGRAFIA

Selección de una turbina para la generación de energía eléctrica renovable a través de las estructuras escalonadas del alcantarillado combinado de la ciudad de Bucaramanga

- Nueva central hidroeléctrica de Suba genera energía limpia, Publicado por: Javier Cortés, Recuperado de página web <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/nueva-central-hidroelectrica-de-suba-genera-energia-limpia>
- Calculo de potencia de para selección turbina, COLTURBINAS Recuperado de página web http://www.colturbinas.com/index_cal.php
- Contrato de consultoría No 001856/2013 / Contrato consultoría 2011 Empresa Pública de alcantarillado de Santander EMPAS S.A
- Customized small wáter Wheel pelton francis turbine, Alibaba.com, Recuperado de página web <https://spanish.alibaba.com/product-detail/customized-small-water-wheel-pelton-francis-turbine-62412478249.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.4d9754eekcD8JW&s=p>
- Estructuras de vertimientos de aguas residuales en la ciudad de Bucaramanga Empresa Pública de Alcantarillado de Santander EMPAS S.A. Corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB.
- Fernández Díez Pedro, Turbinas hidráulicas, departamento de ingeniería eléctrica y energética universidad de Cantabria, Recuperado de página Web http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf
- Ingfocol Ltda, Central Urrá, Capitulo 1 Hidroenergía, Recuperado de página web http://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- Población de la ciudad de Bucaramanga. (2015-2019) Recuperado de página web_ <http://poblacion.population.city/colombia/bucaramanga/>
- Simulador de Turbinas Hidráulicas Recuperado de página Web <https://www.iit.comillas.edu/palacios/fluidos/submenudiseno.html>

- Soria Eduardo, Energías Renovables, Energía hidráulica, IBERDROLA, Recuperado de página web https://www.energiasrenovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno_HIDRAULICA.pdf
- Turbinas hidráulicas, recuperado de página web <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>
- Demanda biológica de oxígeno - Wikipedia, la enciclopedia libre, recuperado de página web https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_biol%C3%B3gica_de_ox%C3%ADgeno
- Demanda química de oxígeno , la enciclopedia libre, recuperado de página web https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_qu%C3%ADmica_de_ox%C3%ADgeno
- Solidos suspendidos totales SST, drcalderonlabs.com, recuperado de página web http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_SST.htm