

Control del agua lluvia de la cuenca de Altos de Cazucá (Soacha) para su aprovechamiento en la generación de energía Hidroeléctrica

Gonzalo Alberto Forero Buitrago¹

Maestría/Magister Escuela Europea de Dirección y Empresa

Master en gestión ambiental y de calidad para las empresas

greenflowconsulting@aol.com¹

Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera - SENA DC.



Inundación típica de la zona industrial de Altos de Cazucá frente al CTCM SENA, Autopista Sur
Fuente: Gonzalo Forero (2017)

RESUMEN

Las características de cobertura y topografía de la cuenca hidrográfica de Altos de Cazucá, genera una serie de flujos de agua lluvia que afectan directamente la zona industrial del Altos de Cazucá.

La zona industrial de Cazucá, queda ubicada en la parte baja de dicha cuenca, razón por la cual se ve afectada en la época de lluvia por la inundación de sus vías de

acceso, generando pérdidas de dinero en tiempo de movilización de personas, productos y mercancías, además de demora en pedidos de materia prima para la producción o entrega de productos a los clientes.

El Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM SENA), por esta razón está trabajando en la manera de controlar y aprovechar el agua lluvia proveniente de dicha cuenca, para usarla con la finalidad de generar energía hidroeléctrica a partir de turbinas

fabricadas por la institución SENA y movidas por dichos excesos de agua, haciendo de un inconveniente, una oportunidad, ya que dicho flujo afecta la movilidad peatonal de los aprendices cuando hay excesos de lluvia.

Palabras clave

Diseño hidrológico de suelo, Energía hidroeléctrica, turbina de implosión, modelos de elevación digital, (DEM).

ABSTRACT

The coverage and topography of Altos de Cazucá water basin, generates a series of rain flows, which affect the highways on this area, because, the highway is located on the lowest part of the basin.

The lack of structures to control rain water as channels or pipes to evacuate water from its main slopes, at rain season causing highway flooding.

For this reason, Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM), is working on how control and take advantage of rain water coming from that basin, for use this water to generates hydraulic energy with turbines movement manufactured by SENA, and moved by this problematic rainwater.

INTRODUCCIÓN

Se realizó un estudio del área de captación y dirección de flujo de agua lluvia, para analizar la cuenca que afecta directamente a la autopista sur, en el sector de la zona industrial de Cazucá, con la finalidad de tener una idea de la cantidad de agua que puede aportarse y la dirección del flujo para realizar los cálculos correspondientes para un control eficiente.

Los flujos de agua se identificaron con la ayuda de modelos de elevación digital, descargados de USGS, Agencia científica del Departamento del Interior de Estados Unidos.

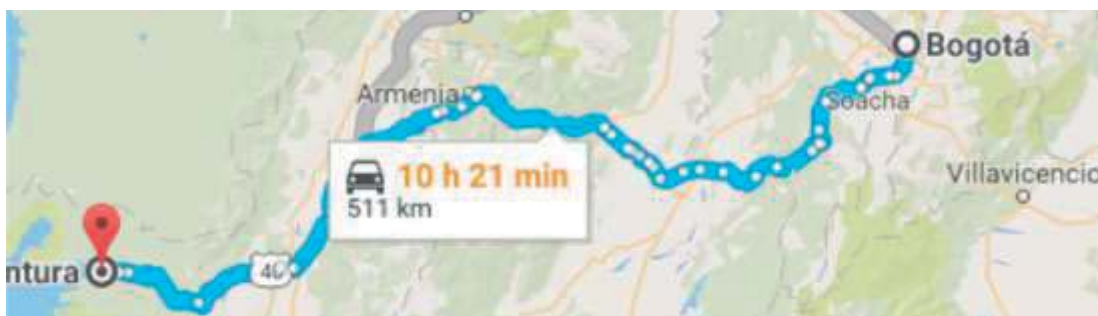


Figura 1:
Ruta Buenaventura-Bogotá,
Autopista Sur, localizado
en Soacha.

Fuente:
Google maps, 2017-06-27

Esta página web, permite acceso gratuito a información satelital de diferentes misiones, la misión escogida es Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), misión que permite la descarga de modelos de elevación digital, que brindan información de las elevaciones de la superficie del suelo con geo referenciación y una precisión de 1 arco segundo, de acuerdo con la resolución del DEM (USGS, 2017).

El estudio del área de captación de la cuenca, de la que depende directamente la cantidad de agua, se generó con el programa SAGA GIS, al igual que la identificación de vertientes (Flujos de agua lluvia), mediante el procesamiento del modelo digital ya descargado de USGS.

La identificación y medición del área de captación aferente, se usa para realizar el cálculo del caudal de diseño mediante el método racional. Así mismo, con este caudal de diseño se dimensiona la estructura de control de la inundación que permitirá guiar el agua a una turbina para la generación de energía hidroeléctrica y estimar la cantidad de energía que se puede generar con una turbina convencional según el caudal, altura topográfica y el valor para pequeñas centrales hidroeléctricas. (Niño, 2007).

OBJETIVOS

- Ubicar el flujo de agua que afecta directamente la autopista sur.
- Dimensionar y ubicar una estructura hidráulica para controlar el flujo de agua lluvia.
- Realizar un esquema de la estructura con la turbina de implosión para generar de energía hidroeléctrica
- Realizar una estimación teórica de la energía en Kw a generar simulando una pequeña central hidroeléctrica convencional

JUSTIFICACIÓN

La zona industrial de Altos de Cazucá, se encuentra en la cuenca baja de la zona de Cazucá, razón por la que se genera una constante inundación en época de lluvia, dificultando el transporte de mercancía y materia prima en dicha zona industrial, además de los retrasos en el personal.

No solo afecta a las industrias, si no a la ciudad como tal ya que es la entrada de la ruta del puerto Buenaventura, para conectarse con Bogotá, como se muestra en la Figura 1.



Figura 3. Detalle de vía con turbinas, canales y desarenador.

Fuente: Diseño Gonzalo Forero, gráfico Alexander Castañeda 2017.



Figura 2. Flujos de agua de la montaña de Altos de Cazucá hacia la autopista Sur, analizados mediante el programa QGIS vistos desde Google Earth Pro 2017.
Fuente: Elaborado por el autor, mediante un modelo de elevación digital SRTM procesado con SAGA GIS, visualizado en Google Earth Pro (2017).

Mediante la identificación de dirección del flujo de agua a partir de modelos de elevación digital, se estableció el punto de control de la inundación como se muestra en la figura 2. En dicho punto, se retendrá el flujo para un desarenado, además de aprovecharse la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica mediante turbinas de implosión, como se muestra en detalle en las Figuras 2 y 3.

En la Figura 2, se pueden observar las vertientes (flujos en azul) y el área de captación que afecta a la Autopista Sur, en la zona industrial de Altos de Cazucá.

Puede observarse allí, la ausencia de una estructura de drenaje, un caño o canal que permita la rápida evacuación de dichas vertientes de agua lluvia, fluyendo así directamente a la autopista sur, generando inundaciones periódicas en temporada de lluvia. En la Figura 2, se observa el flujo, el cual no se interrumpe ni se canaliza por ninguna estructura, razón por la cual, fluye libremente por la autopista sur.

La propuesta para solucionar dicho inconveniente, consiste entonces en, interceptar el flujo por una serie de canales, en un sistema que lleve el agua a unas turbinas para la generación de energía hidroeléctrica, en dicho sistema se tiene también contemplado un proceso de desarenado, con la finalidad de que el agua que llegue a la autopista sur por rebose, llegue sin sólidos que puedan obstruir las estructuras de drenaje existentes, como se muestra en el detalle de la Figura 3.

El agua que llega de la cuenca de altos de Cazucá, es conducida por canales construidos de manera que a

medida que fluyen, van arrastrando sólidos en su parte central, a medida que se enfría dicho flujo, los sólidos se van depositando, con la finalidad de que al final, dicha agua clarificada se conduzca a una turbina para la generación de energía hidroeléctrica. El agua termina en un canal final hay una trampa de sólidos, para removerlos por medio de una estructura que facilite dicho mantenimiento, además de esto, será posible estudiar sobre el uso de dichos sólidos como relleno o materia prima para distintos procesos constructivos. Al pasar el flujo por rebose, en caso de llenarse los canales, llegarían a la autopista sur, pero ya será un agua con una menor cantidad de sólidos, por tanto no se taponarían las tuberías y sumideros. Se pretende, mediante investigación en el tema, lograr un sistema de recirculación de dicha agua con un sistema de bombeo la cual pueda generar la energía para el propio sistema de bombeo, además de energía adicional a usarse para los fines que puedan servir a las industrias aledañas o a la comunidad, si esto no es posible, usar dicha agua para algún consumo industrial de la zona, utilizar dicha agua para los sanitarios de alguna zona residencial, etc. Todo esto, previo a un tratamiento fisicoquímico, para cumplir con la normatividad.

Para la generación de energía hidroeléctrica, la altura o cabeza dinámica que da la fuerza para el movimiento de una turbina puede darse tanto por la energía que lleva el agua por la topografía de la montaña, o de la bomba puesta a funcionar, dependiendo de la presión en metros de columna de agua, capaz de generar dependiendo de la curva de altura piezométrica contra caudal, característica de cada sistema de bombeo.

Control del agua lluvia de la cuenca de Altos de Cazucá (Soacha) para su aprovechamiento en la generación de energía Hidroeléctrica

Es necesario realizar una acción en la zona, debido a que es constante la inundación en época de lluvias, sin existir una solución realmente eficiente, como podrá verse en las fotografías y en las noticias relacionadas a continuación.

“El cuerpo oficial de Bomberos Soacha informó que durante la precipitación de agua que se presentó en el municipio se atendieron emergencias por encharca-

mientos en San Mateo, Quintanares y Autopista Sur, sentido Soacha - Bogotá, y se rescataron conductores atrapados en vehículos” Caracol radio (2017).

“Las fuertes lluvias de los últimos días, provocaron que algunas calles, apartamentos e importantes vías, resultaran inundadas ocasionando un peligro inminente para los ciudadanos y demoras en la movilidad por la Autopista Sur que de Soacha conduce a Bogotá” RCN Radio (2016).



Figura 5: Inundación de las vías de Transmilenio

Fuente: Gonzalo Forero (2017)

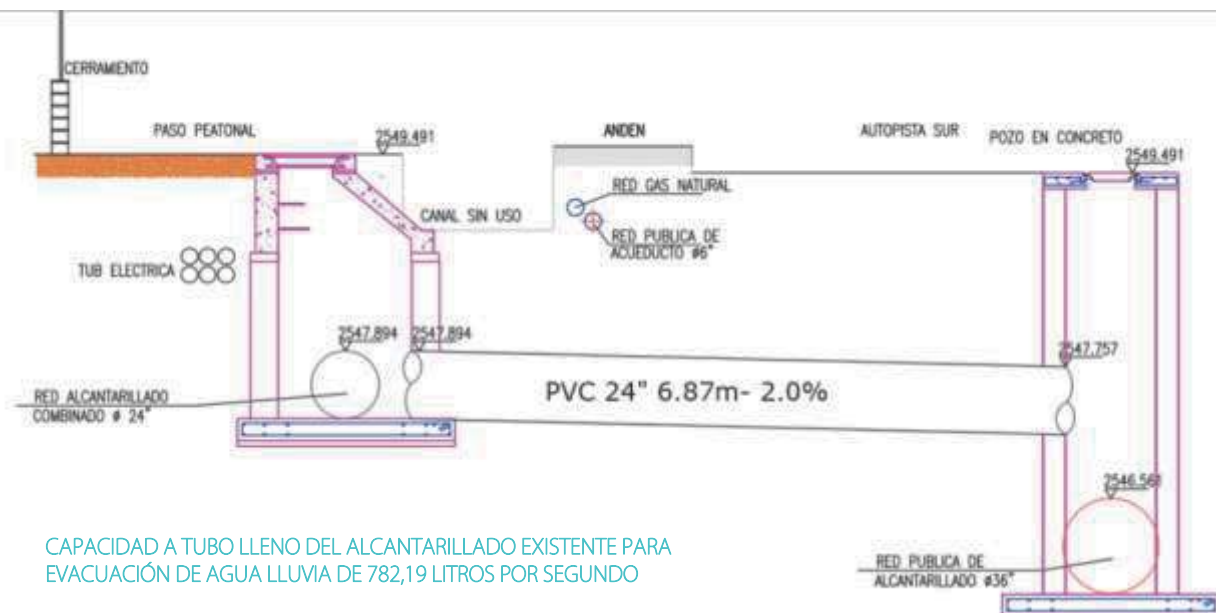


Figura 6: Colector combinado de la zona, diámetro y pendientes para llegar al pozo de inspección en la Autopista Sur, sector de la zona industrial de Altos de Cazucá
Fuente: EAAB, Dirección de servicio acueducto y alcantarillado-gerencia zona 5

METODOLOGIA

Se utilizó el proceso de examinación creativa (Briand, 2004) para establecer los escenarios (Ideal e insatisfactorio), de los cuales se puede visualizar la estrategia más adecuada para la resolución de un problema complejo de ingeniería. De los escenarios antes mencionados, la estrategia se encuentra como el camino más económico, rápido y eficiente para llegar de esa situación insatisfactoria (problemática), a una situación ideal esperada denominada Estrategia.

Al ser varios problemas a resolver, se analizaron por separado, llegando a la solución de los dos problemas identificados en los escenarios insatisfactorios mediante una estrategia.

Escenario ideal: Control y aprovechamiento del agua lluvia proveniente de Altos de Cazucá para la generación de energía hidroeléctrica o abastecimiento del recurso en la zona industrial de Cazucá.

Escenarios insatisfactorios:

Problema 1: Inundación periódica de la Autopista Sur debido al exceso de agua proveniente de Altos de Cazucá.

Problema 2: Falta de acceso al recurso agua de algunas localidades de Altos de Cazucá

Proyecto 1: Diseño y construcción de una estructura que contenga y desarene el agua proveniente de la cuenca de Altos de Cazucá.

Proyecto 2: Estudiar la mejor manera de aprovechar el agua lluvia, tratamientos, posible uso de los sólidos y la energía del agua con turbinas no convencionales, con la finalidad de hacer de un inconveniente una oportunidad.

Estrategia: Dimensionamiento de un sistema de control y aprovechamiento de agua lluvia de la zona industrial de Altos de Cazucá, dándole un uso al recurso agua de acuerdo a las necesidades de la zona y los recursos disponibles.

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para realizar el dimensionamiento de la estructura hidráulica, se tomaron como referencia los siguientes parámetros:

- Cálculo del caudal de diseño según la norma NS 085 Acueducto de Bogotá (Acueducto de Bogotá, 2017). En esta norma, se detalla el proceso de cálculo del caudal de diseño mediante el método racional, cuyo resultado da el caudal de agua lluvia que escurre en el área de captación de la cuenca en litros/segundo, llamado caudal de diseño con el cual se realiza el dimensionamiento de la estructura hidráulica a construir.

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

I = Intensidad de la lluvia en litro/segundo*Hectárea.

A = Área de drenaje en Hectáreas.

C = Coeficiente de escorrentía que depende del tipo de material NS 085 Acueducto de Bogotá.

Q = Caudal en litros/segundo

La intensidad de la lluvia se calcula mediante los coeficientes de las curvas IDF.

Dichas curvas, son el resultado del estudio estadístico de datos de aguaceros medidos en las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio analizado. Con dichos valores, el acueducto de Bogotá, elabora las curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) de los eventos de lluvia. Esta labor, la realiza el equipo de ingeniería especializada del acueducto de Bogotá.

Al usar las curvas IDF, se hace necesario seleccionar un periodo de retorno acorde a la estructura y a la normatividad existente, en este caso a la norma NS 085 del acueducto de Bogotá.

Con el fin de no sobredimensionar la estructura hidráulica y acorde a la norma NS 085, se tomó un periodo de retorno de 5 años para el dimensionamiento de la estructura de control, es decir, un aguacero que estadísticamente vuelve a darse con una periodicidad de 5 años, lo cual quiere decir que su intensidad no es alta, es un aguacero relativamente regular.

El valor al calcular con esta fórmula de intensidad, da en unidades de milímetro/minuto*Hectárea, para lo cual debe multiplicarse por un factor de conversión de 2,77 para que quede en unidades litro/segundo*Hectárea para poder usar la intensidad en la fórmula del método racional, método que pide el valor en estas unidades para dar el caudal final en unidades de litros por segundo. EAAB NS085 (2017).

C = Coeficiente de escorrentía, depende del tipo de material. Norma NS 085 Acueducto de Bogotá.

Tabla 1 Coeficientes de escorrentía Norma NS 085 Acueducto de Bogotá

Coeficiente	Superficie
0,85	Cubierta
0,8	Asfalto
0,85	Concreto
0,75	Adoquín
0,6	Vías no pavimentadas- Suelo compacto
0,25	Pendiente < 2%
0,35	Pendiente entre 2% y 7%
0,4	Pendiente superior 7%

Fuente: EAAB (2017).

La pendiente promedio de la cuenca que afecta el patio de maquinaria, es de un 15%, usando Google Earth Pro. Esta se halló con la finalidad de determinar el coeficiente de escorrentía. La superficie a estudiar es un suelo descubierto con una pendiente de más del 7%, lo cual indica un coeficiente de escorrentía de 0,4 ; es decir, que un 40% de lo que llueve escurre superficialmente, lo cual indica la presencia no solo del inconveniente del agua superficial, si no que probablemente existan inconvenientes de agua subterránea. Esta especificación se realiza en base a la norma del acueducto de Bogotá NS 085, presentada en la Tabla 1.

•Curvas IDF

Figura 7 Curvas IDF Acueducto de Bogotá,
Departamento de Ingeniería Especializada 2016



La tubería existente en la Autopista Sur, tiene tan solo 24 pulgadas. Ver Figura 6. Es un colector de 24 pulgadas de tipo combinado, es decir, que lleva agua residual y agua lluvia, con una capacidad a tubo lleno de 0,782 metros cúbicos por segundo o 782,19 litros por segundo, a tubo lleno, cuando este debe ir a un máximo de $\frac{3}{4}$ de su capacidad total. Habría que restarle el volumen ocupado por el agua residual, para saber su capacidad para el agua lluvia. Esto es un dato preocupante ya que tendrían que existir 6,89 colectores vacíos de este tamaño para poder llevar el flujo de agua lluvia de 5372,25 litros por segundo. Al superar en 6 veces, el caudal de agua lluvia al de la tubería combinada existente en la vía, el agua lluvia que entra a los colectores, puede sacar el agua

residual de los mismos generando problemas de olores e insalubridad en la zona.

Para llegar a estas conclusiones, se utilizó la ecuación de continuidad y la ecuación de flujo en canales circulares de Manning, las cuales están a continuación (Pérez, 2014):

$$V = (1/0.013) * (0.6096/4)^{2/3} * (0,015)^{1/2}$$

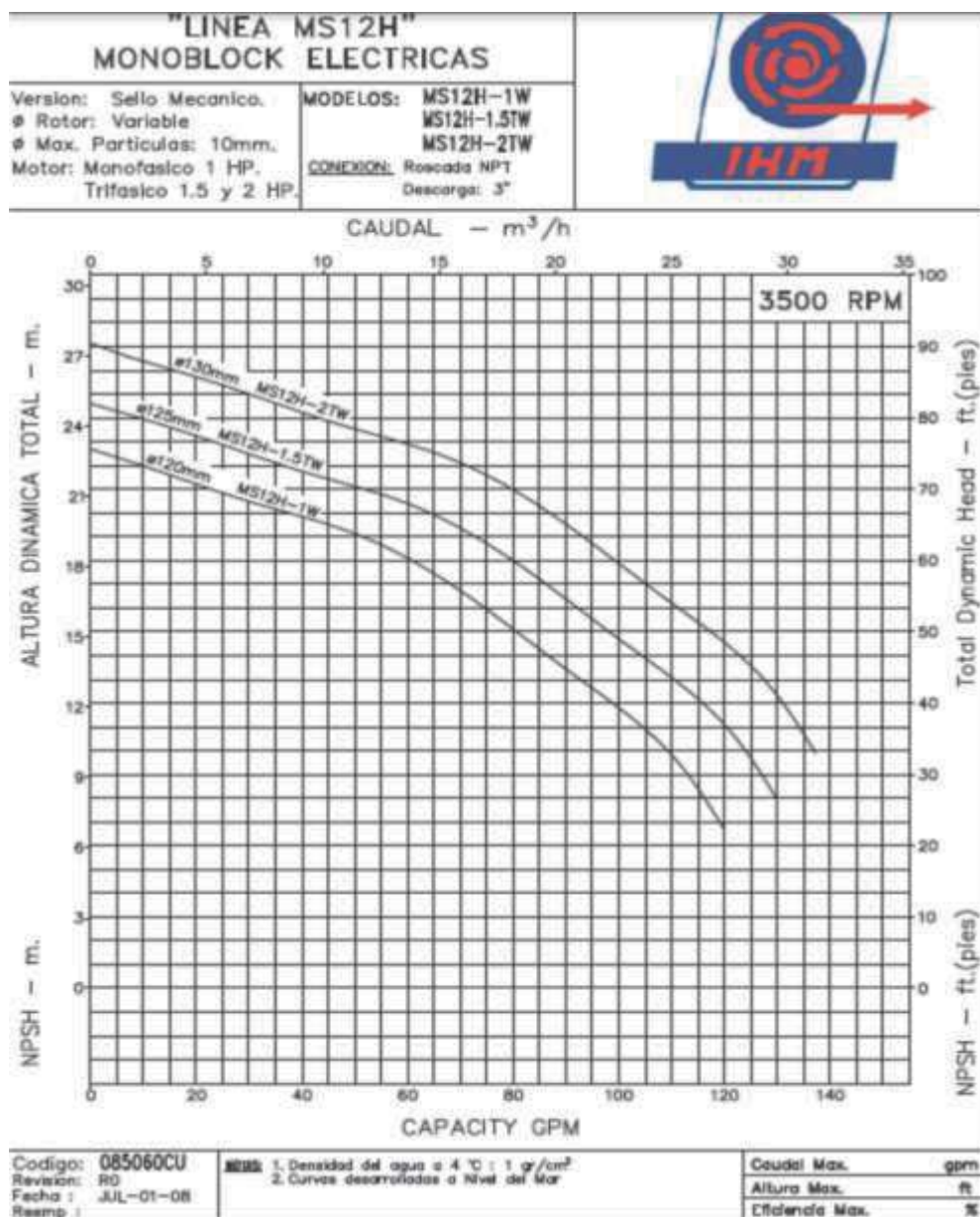
$$V = 2,68 \text{ m/s}$$

$$A = \pi (0.6096)^2 / 4$$

$$A = 0.2918 \text{ m}^2$$

$$Q = V * A = 0,782 \text{ metros cúbicos/segundo.}$$

Figura 8 Curva característica de la bomba (IHM, 2017)



Fuente: IHM (2017)

Capacidad hidráulica de un Canal capaz de almacenar y conducir la totalidad de agua lluvia superficial de Altos de Cazucá.

La capacidad de los canales para retener el flujo superficial de 5372,25 litros/segundo de agua superficial de la cuenca con la siguiente fórmula.

Se halla la velocidad de flujo con la expresión de Manning para flujo por gravedad, para posteriormente hallar el caudal que puede llevar dicha estructura (Pérez, 2014).

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

R= Radio hidráulico en metros.

n= Coeficiente de rugosidad de Manning según el material. (concreto 0,015).

S= Pendiente de la tubería en metro/metro.

$$Q = V \cdot A$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

$$V = 1/0,015 \cdot [1/4]^{2/3} [0,015]^{1/2}$$

$$V = 3,24 \text{ m/s}$$

$$\text{Área} = (\pi(1)^2)/4$$

$$\text{Área} = 0,78 \text{ m}^2$$

$$Q = V \cdot A$$

A= Área de la sección transversal de la tubería en metros cuadrados

$$Q = 3,24 \text{ m/s} \cdot 0,78 \text{ m}^2$$

$$Q = 2,52 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 = 2527,2 \text{ l/s.}$$

La totalidad del flujo es de 5372,25 l/s la capacidad de cada canal es de 2527,2 l/s, son 2 canales, dando una capacidad de 5054,4 l/s, lo cual indicaría un control del 94,08 % del flujo de la cuenca de Altos de Cazucá, en los 2 canales de la Figura 3.

En la figura 3, se ve el detalle de los canales, con las turbinas y los sistemas de bombeo a proponer. El sistema de bombeo, instalado en los canales, además de servir para el mantenimiento de las estructuras de drenaje, podrá usarse para llevar tangencialmente el agua almacenada libre de sólidos, a las turbinas de implosión, con la finalidad de generar energía y estudiar su comportamiento y eficiencia, o para evacuar cuando sea necesario. Es indispensable el estudio de esta clase de turbinas ya que según estudios técnicos realizados en Suecia y Austria, esta configuración de turbinas implosivas tienen una eficiencia mayor a las turbinas convencionales. (Coats, 2003).

Realizando una simulación con dicho caudal, para la generación de energía hidroeléctrica con una turbina convencional, se puede generar la siguiente cantidad de energía, si se utilizara teóricamente toda el agua de la cuenca dentro de los dos canales con una caída continua de 24 metros de columna de agua para mover una turbina convencional, con la altura promedio de la cuenca según (Niño, 2007):

Caudal en (m³/s) * H altura en m * 8 = Energía en Kw a generar 2,527 m³/s * 24 * 8 = 485.18 Kw en cada canal para un total de 970,3 Kw por los dos canales en cada aguacero que llega estadísticamente cada 5 años.

CONCLUSIONES

Es de suma importancia la inclusión en temas de investigación el tema de diseño hidrológico de suelos, con el fin de hacer un control eficaz del agua no solo para controlar si no para aprovechar el agua lluvia como recurso para los usos necesarios de acuerdo a la calidad requerida, desde el diseño inicial de la obra, donde se puede realizar un análisis hidrológico con modelos de elevación digital.

Es indispensable, estudiar tratamientos de potabilización a la medida con el fin de llegar a abastecer poblaciones sin acceso al recurso, prevenir problemas de inundación y la posibilidad de generación de energía mediante dichos flujos correctamente controlados, generando así en una población carente de servicios, el acceso al agua y la energía al mismo tiempo.

En el presente año, 2017, gran cantidad de poblaciones, entre ellas Yopal o el mismo Mocoa, permite visualizar un campo de aplicación muy grande de las tecnologías satelitales para la prevención de desastres y el uso del agua lluvia como recurso controlado, para suministro en un acueducto o la generación de energía hidroeléctrica.

Los análisis mediante modelos de elevación digital, en la hidráulica y la hidrología se hacen indispensables para tener una idea de los flujos y las estructuras a realizar, por tanto, es importante dar los espacios de discusión y abrir campos de aplicación de dichas herramientas para la ubicación y dimensionamiento de las diferentes estructuras de drenaje para las obras de control y aprovechamiento del recurso. Es indispensable, como se menciona en el documento, el estudio detallado de turbinas no convencionales, con el fin de tener mejores rendimientos en la generación hidroeléctrica, con menores requerimientos de altura piezométrica y caudal. ●

Agradecimientos: Un agradecimiento especial al Subdirector del CTCM, Francisco Gutierrez Escobar y al Ingeniero Luis Orlando Cortes por el constante apoyo en temas de Investigación e Innovación.

REFERENCIAS

Briand, A. (2004). Proceso de examinación creativa. Quebec, Canada: Université du Québec a Chicoutimi.
Coats, C. (2003). Living Energies. Austria.
Niño Vicente Jose Roberto. Manual de hidráulica para ingeniería eléctrica. Facultad de Ingeniería. Universidad

Nacional de Colombia 2007

Perez Carmona Rafael (2014). Diseño y construcción de alcantarillado sanitario, pluvial y drenajes en carretera. (Ediciones ECOE) Pag. 39 Tabla 2.5

<https://earthexplorer.usgs.gov> tomado el 10/05/2017

<http://www.igihm.com/curvas/085060CU.pdf> tomado 15/05/2017

http://caracol.com.co/emisora/2016/12/28/bogota/1482923842_674731.html tomado el 5/04/2017.

<http://www.rcnradio.com/nacional/fuertes-lluvias-causan-emergencia-inundaciones-soacha/> tomado el 6/04/2017.

<http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portalSistec,normaNS085,tomada04/04/2017>.

Claus Radlberger (2002), Biomathematischen Konzeptes.

Buitrago, G. A. F. (2013). Integrated farming system for the foothill-regions of Colombia–Ariporo System (AS). Revista de Tecnología, 12(2), 24-34.

Buitrago, G. A. F. (2017). Dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para

abastecer la población de altos de cazucá (Soacha-Colombia) utilizando DEM. Revista de Tecnología, 16(1), 113-128.

EL AUTOR

Gonzalo Forero Buitrago, (Bogotá, enero 31 de 1987) Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, con un Master en Gestión ambiental y de calidad para empresas. Experiencia en el diseño hidrológico de suelos y estructuras hidráulicas. Investigador de la Universidad El Bosque y el SENA, diseño del curso Sostenibilidad Hidrológica de Suelos en las construcciones de vivienda, instructor actual de la institución SENA en las áreas de hidráulica, hidrología, filtros y drenajes, instalaciones hidráulicas y sanitarias. Realizo un Postgrado con el experto en diseño en línea clave y uso de DEM con Eugeni Grass. Experiencia laboral en cálculo de redes hidráulicas para edificaciones con el Ingeniero Jorge Granados.

Mail: greenflowconsulting@aol.com



Cazucá

Fotografía: archivos Sennova CTCM.