

# *Trabajo Referativo*

*En opción al título de ingeniero hidráulico*

## *Propuesta de rehabilitación de los parámetros técnicos de la micropresa Canasí*

**Autora:** Yudelvis Ambruster Rodríguez

**Tutores:** Ing. Roberto Monje Fong  
MSc. Paula Sánchez López

*Santiago de Cuba, Junio de 2020*

*Año 60 de la Revolución"*

# *Pensamiento*

*“La tarea más importante de todos nosotros es preparar el porvenir;  
nosotros somos, en esta hora de patria, el puñado de semillas que se siembra  
en el surco de la Revolución para hacer el porvenir.”*

*Fidel Castro Ruz*



*Yudelvis Ambruster Rodríguez*

# *Dedicatoria*

Dedico este trabajo de diploma primeramente a mi Dios, que me dio la sabiduría y fuerzas para llegar hasta este momento el cual es unos de los grandes logros de mi vida.

A mi tío Alexander Rodríguez Guilarte y a mi abuela Eugenia Guilarte Pileta que me ha dado su apoyo y amor todo este tiempo.

A mi papá Alexander Ambruster Carrión y mi mamá Kenia Guilarte Pileta por sus consejos y ayuda en todo el transcurso de mi vida.

A mi hermana Yurisleidis Ambruster Rodríguez estar a mi lado para llegar a la meta.

A una persona muy especial en mi vida que le debo todo lo que soy Adrián Álvarez Ríos.

A Maibelis Luna Pérez por ser mi mejor amiga y estar conmigo siempre en los montos duros tanto de estudio, como de la vida.

Y por último a mis amigos de alma q los llevo en mi corazón por soportarme todo este tiempo, en especial a Mindrelis Limonta, Thalianys León, Gabriela Guillaume Joa, Oscar Sánchez sin ellos hubiera podido realizar este sueño.

*Yudelvis Ambruster Rodríguez*

# *Agradecimientos*

Agradezco a la Virgen de la Caridad del Cobre por haberme acompañado en este camino de cumplir este sueño y el de mi familia que me vieron paso a paso llegar hasta aquí y hacerme profesional.

A mi novio porque ha sido mi apoyo incondicional y porque estuvo junto a mí en cada lágrima de mis ojos, me acompañó por este largo camino,

A mi papá Alexander Ambruster Carrión y mi mamá Kenia Guilarte Pileta, mi hermana Yurisleidy Ambruster Rodríguez y mi abuela Eugenia Guilarte Pileta por haberme inculcado todos los valores que hicieron llevarme por un buen camino, enseñado el esfuerzo del sacrificio y la paciencia para lograr las cosas, gracias por ser una parte importante de mi vida.

A mis tutores MSc. Ing. Roberto Monje Fong y MSc. Paula Sánchez López todo el apoyo incondicional y ser parte de esta realidad de cumplir mi mayor sueño, mi agradecimiento eterno a los dos.

# *Resumen*

Las presas han sido de las obras de ingeniería más usadas por su trascendencia en el desarrollo humano. Son imprescindibles para el abasto, la agricultura y todos los procesos industriales. Por esta razón en Cuba los planes de desarrollo hidráulico comenzaron desde los primeros años del período revolucionario, llegando a alcanzar la capacidad de agua embalsada actualmente a 8 767 millones de m<sup>3</sup> pero aun así resulta insuficiente, esto también se manifiesta en Santiago de Cuba, donde se estudia la rehabilitación de las micropresas para utilizarlas como fuente de abasto. El estudio referativo presenta una propuesta de rehabilitación de la cortina de la micropresa Canasí efectuado a partir de la compilación de las investigaciones realizadas por especialistas de la ENPA y INRH de Santiago de Cuba. Se espera el posterior uso de la micropresa en objetivos económicos o sociales del poblado del Caney. Se empleó el método de Schaffernak y Van Ittersson el cálculo para la línea de corriente superior y el de Chugaev para la estabilidad de los taludes.

# *Abstract*

Dams have been one of the most used engineering works due to their importance in human development. They are essential for supply, agriculture and all industrial processes. For this reason, in Cuba the hydraulic development plans began from the first years of the revolutionary period, reaching the capacity of dammed water currently at 8 767 million m<sup>3</sup> but even so it is insufficient, this is also manifested in Santiago de Cuba, where The rehabilitation of micro-dams is studied to use them as a source of supply. The referential study presents a proposal for the rehabilitation of the Canasí micro-dam curtain carried out from the compilation of the investigations carried out by specialists from the ENPA and INRH of Santiago de Cuba for its subsequent use in economic or social objectives in the town of Caney. The calculation methods Schaffernak and Van Ittersson used for the upper stream line and Chugaev for the stability of the micro-dam.

## INDICE

No	Contenidos	pág.
	INTRODUCCIÓN	1
	DESARROLLO	6
1	Revisión bibliográfica	6
1.1	Introducción	6
1.2	Antecedentes históricos	7
1.3	Generalidades de las presas	8
1.4	Presas	8
1.5	Aliviaderos	11
1.6	Obras de toma	12
1.6.1	Obras de toma en presas de almacenamiento	12
1.6.2	Tipos de Obras de toma	13
1.7	Particularidades de las micropresas en el mundo y en Cuba	15
1.7.1	Ventajas y desventajas	17
2	Materiales Y Métodos	19
2.1	Características técnicas de la micropresa Canasí	19
2.1.1	Datos generales	19
2.1.2	Datos de las investigaciones	20
2.2	Métodos de cálculo	22
2.2.1	Métodos de cálculo para la cortina	22
2.2.2	Cálculo del revestimiento	22
2.2.3	Método para la determinación de la línea de corriente superior	23
2.2.4	Método de cálculo del canal de aproximación	25
3	Análisis de los resultados	30
3.1	Resultados del diseño hidráulico	30
	Conclusiones	34
	Recomendaciones	35
	Bibliografía	36
	Anexos	37

### Listado de figuras

No	Nombre	Pág.
1	Vista aérea Micropresa Canasí	20
2	Plano de localización de la cuenca colectora	21
3	Esquema de la línea de corriente superior por el método de Schaffernak y Van Itterson	24
4	Esquema de estabilidad en el estado de carga final de construcción	25
5	Captura de pantalla de la sección transversal de la cortina propuesto	31

### Listado de tablas

No	Nombre	Pág.
1	Datos generales de la cortina.	31
2	Resultados para diferentes valores de X, y de Y correspondientes a la línea de corriente superior	32
3	Resultados del cálculo de la longitud de drenaje y el espesor del revestimiento	32
4	Cálculo de la estabilidad de taludes para el estado de carga de final de construcción.	32

### Listado de siglas y acrónimos.

Siglas y acrónimos	Significado
<b>MINAGRI</b>	Ministerio de la Agricultura
<b>INRH</b>	Instituto Nacional de los Recursos Hidráulicos
<b>ENPA</b>	Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios
<b>CIPRH</b>	Centro de Investigaciones y Proyectos de los Recursos Hidráulicos
<b>DPRH</b>	Delegación Provincial de los Recursos Hidráulicos
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación de México.
<b>GEARH</b>	Grupo Empresarial de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos

## INTRODUCCIÓN

La relación del hombre y el agua en las diferentes sociedades, con diferentes grados de desarrollo socioeconómico, ha dictado las formas de apreciarla: *como un don de la naturaleza*, porque es un recurso natural, finito. Debido a las experiencias de sequías e inundaciones, el deterioro de su calidad, y los modelos de desarrollo adoptados por las naciones han determinado la postura de las comunidades frente al agua, de un mejor aprovechamiento por su escasez en el mundo.

La Tierra es un planeta que el 70% de su superficie está cubierta por agua y sólo 30% es tierra firme. La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km<sup>3</sup>, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5%, es decir 35 millones de km<sup>3</sup>, es agua dulce y de ésta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. El agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o vuelve imposible su utilización efectiva. Se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano. Mientras que la disponibilidad de agua en Cuba su mayor usuario del agua es la agricultura con fines de riego con un 63 %, la población con el 25 %, la industria un 9 % y el 3 % restante a otros usos (Agua, 2020). En la actualidad existe una crisis de agua debido a los cambios climáticos, el efecto invernadero, el deterioro de la capacidad de captación y almacenamiento de las cuencas hidrográficas a causa de la degradación de los suelos y las pérdidas de la cobertura vegetal, que genera períodos de sequía e inundaciones temporales. (Instituto Nacional de Suelos Camagüey, 2020). Es otro factor importante el cambio climático, debido a los efectos de este disminuirá la disponibilidad real de agua dulce. Esto se debe a la evaporación de los lagos, los ríos y el derretimiento de los glaciares cada vez mayor. Por otro lado se cree que

los países en desarrollo están extrayendo más y más agua, lo que se refleja en un mayor vertido de aguas residuales. Esos dos aspectos combinados reducen la reserva de agua y pueden disminuir la calidad de la vida, así como la pérdida de los ecosistemas.

Además influye que en el último siglo la población mundial se incrementó 4.4 veces, mientras que la extracción de agua aumentó 7.3 veces en el mismo periodo; la extracción aumentó 1.7 veces más rápido que la población mundial. Cuando el crecimiento urbano supera la disponibilidad del agua local o cercana se alteran los usos del agua, la empleada en riego se cambia a la industria o a las ciudades, o bien, resulta obligado importarla de otras cuencas, a distancias considerables y con altos costos económicos y a veces sociales. Esta situación impacta el proceso de desarrollo, genera conflictos y obliga a nuevas formas regionales y locales de planeación y gestión del recurso no siempre dentro del marco de desarrollo sustentable.

El crecimiento demográfico y económico, la ausencia histórica de criterios de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, el aumento de los regímenes de demanda de agua a nivel regional y la contaminación del líquido, han ocasionado en varios casos que éste se torne escaso. Esto conduce a una competencia por el recurso, que se agudiza en años de sequías, desemboca en conflictos que afectan a las comunidades en su desarrollo actual e impactan negativamente su viabilidad futura. Así, el control, el aprovechamiento racional y la preservación del agua a todos los niveles, nacional, regional y local, son estratégicos para el desarrollo del país. El incremento poblacional afecta directamente a la disponibilidad de agua. El hombre a través de los años ha creado construcciones para su almacenamiento debido a su escasez, sobreexplotación y contaminación. Estos conjuntos hidráulicos han cubierto grandes necesidades de abasto los cuales tienen diferentes beneficios y usos para la sociedad.

En este caso se abordará acerca de las presas de tierra o de materiales locales, éstas son una de las más antiguas que se utilizan y en los últimos cuarenta años

se construyeron más por el desarrollo de los equipos de movimientos de tierra para la construcción, lo que permite que en la actualidad el grado de mecanización de la construcción de estas obras es del 95 al 98 %, aspecto que determina un tiempo de ejecución relativamente corto y seguro. Otro aspecto que determina su uso es el hecho de usar como material componente, los materiales locales, o sea los que se hallan en las cercanías o la misma zona de la construcción lo que abarata los costos, disminuye el impacto negativo al medio ambiente, por ejemplo Cuba ya que resultan más económicas. Tienen grandes beneficios porque controlan las inundaciones y se provee un afluyente de agua más confiable y de más alta calidad para el riego, y el uso domésticos e industrial. Así mismo, las represas pueden crear una industria de pesca, y facilitar la producción agrícola en el área, aguas abajo del reservorio, que, en algunos casos, puede más que compensar las pérdidas sufridas en estos sectores, como resultado de su construcción. (Camejo, 2007)

En Cuba los planes de desarrollo hidráulico comenzaron desde los primeros años del periodo revolucionario. La capacidad de agua embalsada paso de 29 millones de m<sup>3</sup> en 1958 a 4 400 millones de m<sup>3</sup> en 1975, o sea, 1 517 veces, y actualmente llega a 8 767 millones de m<sup>3</sup>. Hoy se realizan grandes inversiones en nuestro país para la construcción de nuevos embalses así como canales y otras obras para el trasvase desde zonas con abundancia de agua hasta otras áreas más secas. También se reparan muchas de las obras ya existentes. En el quinquenio 1976-1980 las obras hidráulicas se incrementaron en más de un 29 %, trabajándose en la construcción de 27 presas, de las que se terminaron 24, y en un número considerable de micropresas y embalses menores, que fueron en su momento diseñadas y administradas por el MINAGRI y que pasaron en el 2006 al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en Cuba. (Arcadio; 2011) Es por ello que se lleva a cabo un estudio sobre el estado actual de las micropresas para erradicar aquellas que no cumplen ningún objeto social, destacó aquí, la entonces presidenta del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Inés María Chapman Waugh, la cual ocupa el cargo actualmente Vicepresidenta del Consejo de Estado. Durante un análisis con directivos de ese organismo, destaco la

importancia de revisar con urgencia las micropresas que pertenecen a varios organismos, muchas en desuso hoy, así como los tranques de estas que obstruyen las aguas y, consecuentemente, ocasionan inundaciones. (García, 2018)

**Situación problemática:** En la provincia Santiago de Cuba los volúmenes de agua almacenada son insuficientes. Debido a esto existe una situación crítica del abasto de agua en el poblado Caney donde habitan alrededor de 25 mil personas. El Instituto de Nacional de los Recursos Hidráulicos en Santiago de Cuba decidió la necesidad rehabilitar la micropresa Canasí, porque no cuenta con las condiciones técnicas requeridas para el abasto a la población, para usarla como fuente de abasto alternativa en objetivos económicos y sociales de dicho poblado.

**Problema de Investigación:** insuficiencia de agua para abastecer objetivos económicos y sociales del poblado del Caney y posibilidades de utilizar la micropresa Canasí como fuente de abasto.

Este problema se concreta en el **objeto de investigación:** rehabilitación de la micropresa Canasí

**Campo de acción:** Diseño hidráulico de micropresas

El **objetivo general** que se propone es: Evaluar las condiciones técnicas actuales y diseñar hidráulicamente los componentes principales de la micropresa Canasí

**Objetivos específicos:**

1. Realizar una búsqueda bibliográfica teórico-conceptual sobre las características de las presas y sus partes componentes, en particular de micropresas.
2. Compilar toda la información existente de la micropresa Canasí.
3. Realizar el diseño hidráulico de la cortina de la micropresa Canasí.

**Hipótesis:** Si se evalúan las condiciones técnicas actuales de la micropresa Canasí podrá rediseñarse hidráulicamente; lo que permitirá la posterior ejecución y por tanto su uso adecuado como fuente de abasto.

**Tareas de investigación:**

- Consulta de las fuentes bibliográficas relacionadas con el tema de investigación.
- Búsqueda de información técnica de la micropresa Canasí.
- Caracterización de la micropresa Canasí.
- Compilación de las investigaciones realizadas por la ENPA, CIPRH y DPRH Santiago a la micropresa Canasí.

**Aporte:** Diseño de una variante definitiva para una posterior ejecución. Lo que permitirá que se reduzcan las probabilidades de fallo y las pérdidas de agua. Además, se podría utilizar el volumen rescatado para abastecer la población de El Caney, quienes presentan problemas con sus fuentes propias

**Actualidad:** El poblado Caney es destacable debido a los frutos de gran calidad, a lo largo de la historia de Santiago de Cuba. Debido a esto tuvo un desarrollo económico, político, cultural y social que trajo consigo un incremento poblacional. En este momento se encuentra afectado déficit del abasto de agua lo cual se dificulta la producción de los mismos. Es de gran importancia el suministro de agua para mantener la tradición y satisfacer las necesidades de la población, donde la mejora del abasto de agua a la población es una tarea de primer orden en la directiva de nuestro país.

# Desarrollo

## I Revisión Bibliográfica

### 1.1 Introducción

Existen embalses creados por causas naturales o no contruidos por el hombre por ejemplo:

#### Derrumbe de laderas

En este caso se trata, de embalses totalmente incontrolados, que generalmente tienen una vida corta, días, semanas o hasta meses. Al llenarse el embalse con los aportes del río o arroyo, se provocan filtraciones a través de la masa de tierra no compactada, y vertidos por el punto más bajo de la corona, que llevan a la ruptura más o menos rápida y abrupta de la presa, pudiendo causar grandes daños a las poblaciones y áreas cultivadas situadas aguas abajo. Un fenómeno de este tipo se produjo en el paraje conocido como La Josefina en el río Paute, en Ecuador.

#### Acumulación de hielo

La acumulación de hielo (embocaduras) en los grandes ríos situados en zonas frías se produce generalmente en puntos en los cuales el cauce presenta algún estrechamiento, ya sea natural, como la presencia de rocas, o artificial, como los pilares de un puente. Situaciones de este tipo pueden darse, por ejemplo, en el río Danubio. Para prevenir los daños que esto puede causar los servicios de prevención utilizan barcos especiales denominados rompehielos.

#### Presas construidas por castores

Las presas construidas por castores se dan en pequeños arroyos, generalmente en áreas poco habitadas y, por lo tanto, los eventuales daños causados por su ruptura son generalmente limitados.

Las estructuras que son construidas por el hombre también para permitir la contención de las aguas, su almacenamiento o su regulación. Este tipo de presa de materiales sueltos, fue la más utilizada en la antigüedad. En los siglos XIX y XX tuvieron un uso bastante difundido debido al rápido desarrollo de la técnica para

los trabajos con tierra y roca, por la gran variedad de esquemas constructivos que permite utilizar prácticamente cualquier suelo que se encuentre en la zona, desde materiales de grano fino hasta suelos rocosos previamente fracturados.

Pero hoy en día, bien sea porque se han dejado perder o porque la calidad de sus aguas no lo permite, algunas llegan a permanecer en desuso como enormes monumentos del pasado según (Esteve, 2011)

### **1.2 Antecedentes históricos:**

Las grandes civilizaciones clásicas, como la griega o la romana, se caracterizaban por tener grandes infraestructuras como las presas. Los antiguos egipcios, alrededor del año 2770 a.C., construyeron la primera presa de la que se tiene constancia histórica. Fue llamada Sad El-Kafara que en árabe significa “presa de los paganos”. Ubicada a 30 kilómetros al sur del Cairo, medía 14 metros de altura y tenía una longitud de entre 80 y 100 metros. Se utilizaron más de 10.000 toneladas de piedra y gravilla para su núcleo y las paredes se revistieron de mampostería. El grosor del muro era de 98 metros en la base y 56 en la coronación. Los trabajos duraron entre 10 y 12 años pero una riada provocó su destrucción parcial antes de que fuera terminada. Se cree esto se debe a que no existía un aliviadero, tampoco parece haber un desvío del río durante la construcción. Además no hay restos de sedimentos acumulados en la parte interna de la presa. (Payne, 2020).

Desde la costa del Mar Rojo hasta los límites del Rub al-Jali se pueden encontrar hoy las ruinas de numerosas de ellas, pequeñas y grandes, hechas de barro o de piedra.

### **1.3 Generalidades de las presas**

En la práctica ingenieril se reconoce por conjunto hidráulico, aquel grupo de obras destinadas a almacenar o derivar aguas de una fuente para diversos fines. Tiene como obras hidráulicas principales la cortina o presa, el embalse, el aliviadero y la obra de toma.

Las presas debido a la diversidad pueden construirse existen diferentes tipos de presas responden a las diversas posibilidades de cumplir la doble exigencia de resistir el empuje del agua y evacuarla cuando sea preciso. En cada caso, las características del terreno y los usos que se le quiera dar al agua, condicionan la elección del tipo de presa más adecuado.

Existen numerosas clasificaciones, dependiendo de: si son fijas o móviles (hinchables, por ejemplo), su forma o manera de transmitir las cargas a las que se ve sometida y los materiales empleados en la construcción.

Debido a la gran envergadura de su construcción se diferencian diferentes componentes tales como:

Vaso: Parte del valle que, inundándose, contiene el agua embalsada.

Cerrada o boquilla: Punto concreto del terreno donde se construye la presa.

#### **1.4 Presas**

Presa o cortina: Garantizar la estabilidad de toda la construcción, soportando un empuje hidrostático del agua, sin permitir la filtración del agua. La presa o cortina: propiamente dicha, cuyas funciones básicas son, por un lado garantizar la estabilidad de toda la construcción, soportando un empuje hidrostático del agua, y por otro no permitir la filtración del agua. <http://www.presa>

A su vez, en la presa se distingue:

- ✚ Paramentos, caras o taludes: son las dos superficies más o menos verticales principales que limitan el cuerpo de la presa, el interior o de aguas arriba, que está en contacto con el agua, y el exterior o de aguas abajo.
- ✚ Coronación: Superficie que delimita la presa superiormente.
- ✚ Estribos o empotramientos: Laterales del muro que están en contacto con la cerrada contra la que se apoya.

- ✚ Cimentación: Parte de la estructura de la presa, a través de la cual se transmiten las cargas al terreno, tanto las producidas por la presión hidrostática como las del peso propio de la estructura.
- ✚ Desagüe de fondo: Permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la presa y vaciar la presa en caso de ser necesario.
- ✚ Escala o escalera de peces: Permite la migración de los peces en sentido ascendente de la corriente.

Dependiendo de su forma pueden ser:

- ✚ De gravedad
- ✚ De contrafuertes
- ✚ De arco simple
- ✚ Bóvedas o arcos de doble curvatura
- ✚ Mixta, si está compuesta por partes de diferente tipología

Dependiendo del material se pueden clasificar en:

- ✚ De hormigón
- ✚ De mampostería
- ✚ De materiales sueltos (de escollera, de núcleo de arcilla, con pantalla asfáltica, con pantalla de hormigón, homogénea)

Dependiendo su aplicación pueden ser:

- ✚ Presas filtrantes o diques de retención
- ✚ Presas de control de avenidas
- ✚ Presas de derivación
- ✚ Presas de almacenamiento

Según sus materiales

Presas de hormigón: son las más utilizadas en los países desarrollados ya que con éste material se pueden elaborar construcciones más estables y duraderas; debido a que su cálculo es del todo fiable frente a las producidas en otros materiales. Normalmente, todas las presas de tipo gravedad, arco y contrafuerte están hechas de este material. Algunas presas pequeñas y las más antiguas son

de ladrillo, de sillería y de mampostería. En España, el 67 % de las presas son de gravedad y están hechas con hormigón ya sea con o sin armaduras de acero.

Presas de enrocamiento con cara de hormigón: este tipo de presas en ocasiones es clasificada entre las de materiales sueltos; pero su forma de ejecución y su trabajo estructural son diferentes. El elemento de retención del agua es una cortina formada con fragmentos de roca de varios tamaños, que soportan en el lado del embalse una cara de hormigón la cual es el elemento impermeable. La pantalla o cara está apoyada en el contacto con la cimentación por un elemento de transición llamado plinto, que soporta a las losas de hormigón. Este tipo de estructura fue muy utilizada entre 1940 y 1950 en cortinas de alturas intermedias y cayó en desuso hasta finales del siglo XX, cuando fue retomado por los diseñadores y constructores al disponer de mejores métodos de ejecución y equipos de construcción más eficientes.

En este trabajo se abordará acerca de este tipo de presa, en Cuba es la más utilizadas debido a las ventajas que esta tienen en su construcción y nos resulta más económica.

Presas de materiales sueltos: son las más utilizadas en los países subdesarrollados ya que son menos costosas y suponen el 77 % de las que podemos encontrar en todo el planeta. Son aquellas que consisten en un relleno de tierras, que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje de las aguas. Los materiales más utilizados en su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas aunque dentro de todos estos los que más destacan son las piedras y las gravas.

Este tipo de presas tienen componentes muy permeables, por lo que es necesario añadirles un elemento impermeabilizante. Además, estas estructuras resisten siempre por gravedad, pues la débil cohesión de sus materiales no les permite transmitir los empujes del agua al terreno. Este elemento puede ser arcilla (en cuyo caso siempre se ubica en el corazón del relleno) o bien una pantalla de hormigón, la cual se puede construir también en el centro del relleno o bien aguas

arriba. Estas presas tienen el inconveniente de que si son rebasadas por las aguas en una crecida, corren el peligro de desmoronarse y arruinarse.

### **1.5 Aliviaderos:**

El aliviadero o estructura de alivio o vertedor, descarga los excesos que llegan al embalse, los cuales no se desean almacenar. Su característica más importante es la de evacuar con facilidad las máximas crecientes que llegan al vaso de almacenamiento. Su insuficiencia provoca el desborde del agua por encima de la cresta de la presa y el posible colapso de esta estructura sobre todo si se trata de una presa de tierra o enrocado.

La importancia que tiene un vertedor seguro no se puede exagerar. Muchas de las fallas de las presas se han debido a vertedores mal proyectados o de capacidad insuficiente. Además de tener suficiente capacidad, el vertedor debe ser hidráulica y estructuralmente adecuado y debe estar localizado de manera que las descargas del vertedor no erosionen, ni socaven el talón de aguas abajo de la presa. Las superficies que forman el canal de descarga del vertedor deben ser resistentes a las velocidades erosivas creadas por la caída desde la superficie del vaso a la del agua de descarga y, generalmente, es necesario algún medio para la disipación de la energía al pie de la caída.

#### **Las partes componentes de un aliviadero típico son las siguientes:**

- ✚ Canal de aproximación
- ✚ Sección de control
- ✚ Transición
- ✚ Rápida o conducto de descarga
- ✚ Estructura terminal o disipadora de energía
- ✚ Canal de salida

#### **Los aliviaderos se pueden clasificar:**

- ✚ Según su disposición en planta: frontales, laterales, curvos en planta
- ✚ Según su ubicación: de cauce, de margen o de laderas
- ✚ Según el tipo de conducción: con régimen de circulación libre, con régimen de circulación forzado
- ✚ Según el tipo de construcción: superficiales, soterrados o de fondo
- ✚ Según el tipo de vertimiento: automáticos, regulados por compuertas
- ✚ Atendiendo a la protección de la cortina: principal o de servicio, auxiliar, de emergencia o fusible (Armas y Horta 1987).

## **1.6 Obras de Toma.**

Obras de Tomas pueden estar destinadas a

- ✚ Abastecimiento
- ✚ Regadío
- ✚ Hidroeléctricas

### **1.6.1 Obras de toma en presas de almacenamiento.**

Las presas cuentan con diversas obras que garantizan su operación eficiente bajo diversas circunstancias: cortina, obra de toma y obra de excedencia. El agua que fluye por el cauce de un río es atrapada y almacenada por medio de la cortina, y su aprovechamiento se lleva a cabo mediante una obra de toma.

En general, una obra de toma consiste en: estructura de entrada, conductos, mecanismos de regulación y emergencias con su equipo de operación y dispositivos para disipación de energía.

Obra de toma. Es la estructura que permite manejar las extracciones del almacenamiento para satisfacer los diferentes beneficios para el cual fue concebida la obra, en tanto se encuentren aguas abajo de la obra. Los tipos más

comunes que se utilizan en este tipo de obras son el tipo: Tubería a presión y válvulas a la salida, el tipo muro de cabeza y el tipo torre y galería.

### 1.6.2 Tipos de obras de toma

**Tubería a presión y válvulas a la salida:** se conforma con un canal de acceso, que permite la comunicación con el vaso de almacenamiento en niveles bajos del agua en el almacenamiento; una estructura de rejillas, que evitara la entrada de cuerpos flotantes en el agua en niveles bajos, una tubería que permitirá atravesar la sección del bordo, auxiliándose de dentellones para anclar la tubería y para incrementar la trayectoria de filtración, y disminuir el peligro de tubificación, a continuación una caja de válvulas, donde se alojarán de preferencia dos válvulas, una de emergencia y otra de operación, concluyendo la estructura con una caja amortiguadora, donde se disipara la energía cinética, para entregar el agua al canal.

**Muro de cabeza de obra de toma:** inicia en un muro de cabeza, generalmente de mampostería, cimentado sobre terreno firme. El paramento aguas arriba será vertical, los laterales y el de aguas abajo serán inclinados que garanticen su estabilidad, a partir de aquí inicia el conducto.

La operación de la toma se hace por medio de una compuerta deslizante accionada por un mecanismo elevador, el cual se instala sobre una ménsula de concreto reforzado anclada al muro de cabeza, o bien, sobre viguetas empotradas en la mampostería del mismo muro. Delante de la compuerta, sobre la mampostería se dejarán muescas especiales para colocar agujas de madera en caso de descompostura de la compuerta. El acceso al mecanismo elevador se recomienda se haga mediante un pedraplén colocado a mano.

El conducto puede ser de concreto reforzado, precolado o colado en el lugar de la obra, con diámetro mínimo de 0.61 metros (24”), alojado preferentemente en una zanja abierta en el terreno natural, para evitar asentamientos y provisto de dentellones de concreto, con espaciamiento y dimensiones necesarias de acuerdo con la longitud de la trayectoria de filtración necesaria. La descarga del conducto

de la obra de toma se hace a una caja de mampostería con altura necesaria para evitar el derramamiento del agua y de ella saldrá el canal o canales de riego. La descarga también se podrá hacer mediante transición reglada, ligando directamente el conducto con el canal de riego.

**Torre y galería de obra de toma:** se conforma con una torre, que podrá quedar al inicio, en medio o al final del conducto, que comúnmente este fue parte de la obra de desvío, por lo cual la magnitud es mayor que para lo que se requiere para la obra de toma, por lo que forma una galería, que por lo general trabaja como canal. Inicia en un canal de acceso, y dependiendo si la torre se encuentra al inicio, en medio o al final del conducto, se tendrá la conformación, respectiva, esto es si se encuentra al inicio, iniciara con estructura de rejillas, a continuación una compuerta deslizante, que servirá de emergencia y da acceso al interior de la torre donde al final se encuentra otra compuerta deslizante que sirve de operación; si la torre se encuentra en medio, o al final la obra se iniciara con una estructura de rejillas, y en la torre se conformaran dos espacios, para ubica las dos compuertas una de emergencia y otra de operación.

En aquellos casos en que por carencia de piedra no sea económico construir la obra de toma de mampostería, se hará con una torre de concreto reforzado, provista de escotaduras para agujas y compuerta deslizante o bien, con dos compuertas, una de emergencia y otra de servicio. La sección interior de la torre tendrá como mínimo 1.00 de cada lado, cuadrada, e interiormente se colocará una escala marina para permitir el acceso para su inspección y mantenimiento. (SAGARPA.2020)

### **1.7 Particularidades de las micropresas en el mundo y en Cuba**

Las micropresas deben su nombre a la altura pequeña de la cortina. Las mismas son cuerpos de agua artificiales que tienen usos múltiples, ya que se utilizan para el consumo doméstico, como riego para las actividades agrícolas, entre ellos los abrevaderos para el ganado, pesca, acuicultura y recreación.

El concepto de micropresa no está totalmente definido, ya que existen diferentes criterios de acuerdo a su origen, localización geográfica y conducta limnológicas. Las variaciones limnológicas determinan fundamentalmente la temperatura a lo largo de un gradiente latitudinal modificado por la altitud del embalse, Colectivo de autores, 2011.

En la actualidad existen micropresas desmontables. Es un sistema de captación de agua con infraestructura que puede ser desmontada para evitar que la corriente la dañe en épocas de lluvia. Es una obra de ingeniería que puede ser construida para retener volúmenes de agua para un sistema de riego comunitario, una pequeña comunidad.

En Cuba a partir del triunfo de la Revolución se lleva a cabo el programa de la Voluntad Hidráulica planteado por el comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, que asegura el empleo eficiente y ordenado de los recursos hídricos. Dando cumplimiento a esto se comienzan las labores de construcción de varias obras hidráulicas para diversos fines, fundamentalmente las presas de tierra. (Velázquez, 2019)

Cuba cuenta con un inmenso patrimonio constituido por presas, embalses y obras hidráulicas en general, el costo de reposición de estas obras, o la construcción de obras nuevas, similares, resultaría una labor muy difícil de acometer tomando en cuenta los costos actuales.

Por otra parte, de producirse el colapso de una presa, los daños y pérdidas de vidas serían incalculables; sin tomar en cuenta que la supresión del servicio de abastecimiento de agua, acarrearía serios problemas sanitarios en las poblaciones servidas y serios problemas de desabastecimiento de productos agrícolas y pecuarios. Las presas conforman líneas vitales y por lo tanto, de seguridad nacional, debido a su importancia por el uso y servicios que prestan:

Por lo tanto, la recuperación y el mantenimiento de las obras hidráulicas existentes es una labor de interés y de seguridad nacional, que debe involucrar a los entes del estado con la colaboración coordinada de grupos profesionales especializados.

Preparar los manuales de operación y mantenimiento, así como los planes de contingencia de todas las presas. Acometer una campaña o proyecto para la recuperación y centralización de la información relativa a presas y embalses: hidrología, geología, planos, proyecto, planos “como construido” e historial del comportamiento de cada presa.

#### Grupo de Operación y Mantenimiento

Tendría como funciones la operación y mantenimiento de la presa asignada a su cargo, así como también las inspecciones periódicas de las obras y la lectura de la instrumentación. Para el desempeño de sus funciones requeriría de ingenieros y técnicos asignados al mantenimiento de la obra, así como de un geólogo que se trasladaría cuando sea requerido. (Ferrer, 2008)

#### 1.7.1 Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas de las presas de tierra, quedan resumidas en:

##### **Ventajas.**

- ✚ Aplicables en distintos tipos de sitio (Valles amplios o gargantas estrechas).
- ✚ Adaptable a un amplio rango de condiciones de cimentación, desde rocas competentes hasta formaciones de suelos blandos y comprensibles o permeables.
- ✚ El diseño es flexible, muchas posibilidades de aprovechar los materiales y las condiciones.
- ✚ La construcción es mecanizada y continua.
- ✚ Los costos unitarios del terraplén suben más lentamente que los del concreto.
- ✚ Bien diseñada se puede ajustar con seguridad a un apreciable grado de asentamiento-deformación.

##### **Desventajas.**

- ✚ Muy vulnerables por sobrevertido.
- ✚ Hay que garantizar realce para crecidas.
- ✚ Vertedero suficiente.

- ✚ Vertedero separado.
- ✚ Vulnerable filtración y erosión interna en la presa o en la fundación.

Por lo general se realiza un diseño de presa en base a las experiencias, normas, criterios y recomendaciones, obtenidas a través de estudios realizados; esto no es más que predimensionar, el cual consiste en determinar la altura, ancho de la cresta y los taludes tanto aguas arriba como aguas abajo, a los cuales posteriormente es necesario calcularle su estabilidad y realizar el estudio de filtración; dichos estudios constituyen el campo de exposición de este trabajo

Debido a las grandes desventajas es que hay que hacer conciencia es de gran impacto en medio ambiente, el hábitat de los animales, estos efectos tienen impactos directos para los suelos, la vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima, y, especialmente, para las poblaciones humanas del área y perjudicial para el propio hombre. Existe el riesgo de que la presa falle e inunde poblaciones ubicadas cercanas al curso de agua, aguas abajo del cierre. La ingeniería civil se encarga de reducir al mínimo la posibilidad de la rotura del dique mediante un análisis exhaustivo del comportamiento de la obra ante situaciones extremas, calculando la estabilidad de la presa tomando en consideración sismos, lluvias torrenciales y otras catástrofes. (Velázquez, 2019)

## **2. Materiales y métodos**

### **2. 1 Características técnicas de la Micropresa Canasí**

#### **2.1.1 Datos Generales,**

La micropresa Canasí fue construida en el año 1975, por la ENPA del Ministerio de la Agricultura, se ubicó en las coordenadas: N: 153.500 y E: 612.870 del Río Seco, en la provincia de Santiago de Cuba. Todas estas investigaciones que se muestran a continuación fueron realizadas por decisión del estado según GEARH, 2016. Por decisión del consejo de estado las micropresas de la provincia pasaron a la administración del INRH de Santiago de Cuba, pero esta entidad no cuenta actualmente con el proyecto original, ni planos de la misma, la información disponible es escasa y muy diversa.



**Figura 1** Vista aérea Micropresa Canasí, Google Maps, 2020

### **2.1.2 Datos de Investigaciones**

Para la investigación se procedió a la búsqueda en archivos, en la ENPA, se entrevistaron especialistas, así como analizaron investigaciones e informes realizados en la Unidad Empresarial de Base de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de la provincia Santiago de Cuba.

Los resultados de la búsqueda arrojaron la siguiente información que servirá de material para los cálculos hidráulicos:

#### **Características Hidrológicas y Fisiográficas**

- ▣ Área de la cuenca: 7.65 km<sup>2</sup>
- ▣ Corriente que la capta: Río Seco
- ▣ Altura Media de la cuenca: 260 m
- ▣ Pendiente Media de la cuenca: 433 ‰
- ▣ Longitud del río principal: 5.97 km
- ▣ Densidad de drenaje: 1.45 km/km<sup>2</sup>

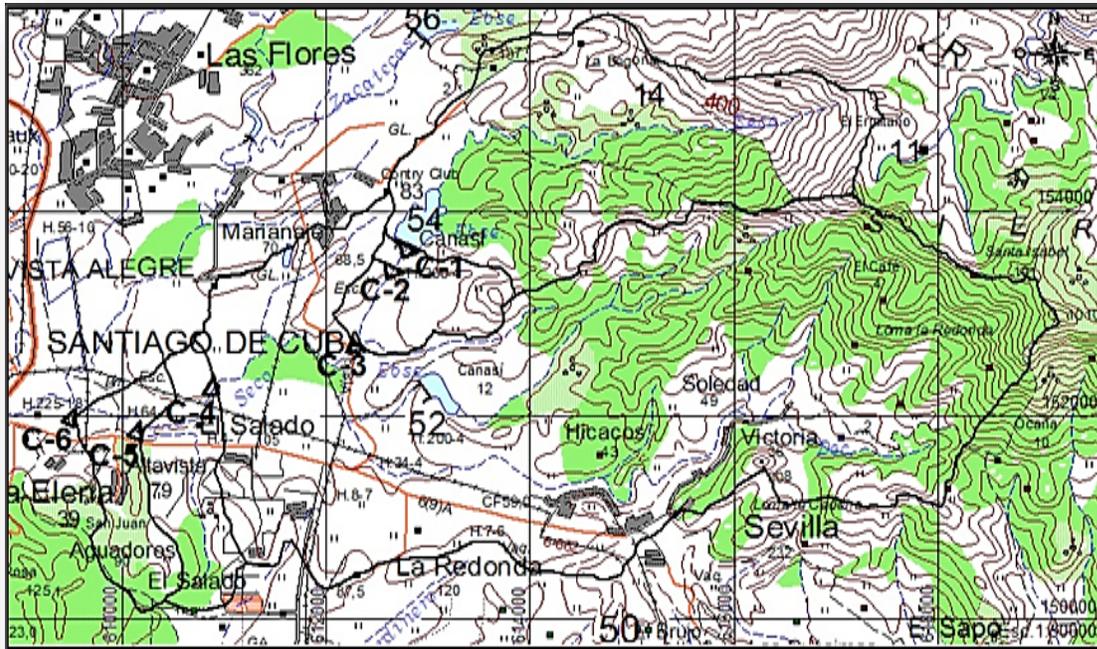


Figura 2 Plano de localización de la cuenca colectora, GEARH, 2016

### Topografía

- Levantamiento topográfico: 1: 25000

### Estudio ingeniero geológico.

La geología en la cuenca de estudio; en su parte baja la compone el Miembro Santiago: Argilitas calcáreas, limoso-arenáceas con interestratificaciones de limonitas y calcilitas. En su parte media se localiza el Grupo El Cobre, el cual se compone de rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias en distintas correlaciones y combinaciones alternantes, muy variables. Mientras que en su parte alta se localiza la Formación El Caney, donde se encuentran alternancia de tobas, tufitas, calizas tobáceas, lapiditas e intercalaciones de lavas y aglomerados.

### Resultados

- Tipo de Regulación: Hiperanual
- Coeficiente de Regulación: 0.579
- Volumen de Entrega garantizada: 0.770 hm<sup>3</sup>
- Nivel de Aguas Normales (NAN) = 54.19 m

- ✚ Nivel de Aguas Máximas (NAM) =55.12m
- ✚ Nivel de Volumen Muerto (NVM) =43.21 m
- ✚ Volumen útil,  $W_{\text{útil}} = 0.930 \text{ hm}^3$

## 2.2 MÉTODOS DE CÁLCULO

### 2.2.1 Métodos de cálculo para la cortina

#### Revestimiento de los taludes

- ✚ Aguas arriba

El revestimiento aguas arriba se extiende desde la cota de corona hasta una distancia por debajo del nivel mínimo del agua igual a la altura de la ola máxima en esa condición, pero no menos de 2.0 m. El material más utilizado como revestimiento es enrocamiento a volteo. El tipo de revestimiento debe definirse a partir de la valoración técnico-económica de la variante, teniendo en cuenta la utilización máxima de los materiales locales, el carácter del suelo de la presa, la agresividad del agua y la durabilidad del rendimiento en las condiciones de explotación.

#### 2.2.2 Cálculo del revestimiento:

$$Q = \frac{M * \gamma_m * h^3 * \lambda^3}{\left(\frac{\lambda m}{\lambda w} - 1\right)^3 * \sqrt{1} + m^3}$$

- ✚  $Q$  → Peso máximo de piedras aisladas:
- ✚  $\mu$  → Coeficiente de forma de la piedra (rajón normal)
- ✚ **Krug** → Coeficiente que depende de la categoría de la obra
- ✚  $\gamma_m$  → Peso específico de la piedra
- ✚  $\gamma_w$  → Peso específico del agua
- ✚  $m$  → Talud que se va a revestir
- ✚  $h^4$  → Altura de la ola para la probabilidad de diseño
- ✚  $\lambda^4$  → Longitud de la ola para la probabilidad de diseño
- ✚  $Q$  → Peso máximo de cálculo de la piedra
- ✚  $Desf$  → Diámetro máximo de la piedra a colocar en el talud

$$Desf = \sqrt[3]{\frac{Q}{0,524 * Ym}}$$

El 50% de las piedras debe tener un diámetro igual o mayor que:

$$D50\% = K * Desf$$

Espesor del revestimiento de piedra calculado, para R=2 por presencia de piedra clasificada

$$e = R * D50\%$$

e → Espesor del revestimiento

#### Aguas abajo

Se construyen por la posible erosión a causa de las lluvias y además por la existencia de un nivel de aguas abajo.

1. Capa de grava: 20 cm de espesor.
2. Capa de vegetal: 20-30cm de espesor sembrada con hierba. En caso de preverse plantas de raíces fuertes y profundas se recomienda un espesor de 50 cm.

#### **2.2.3 Método para la determinación de la Línea de Corriente Superior (LCS).**

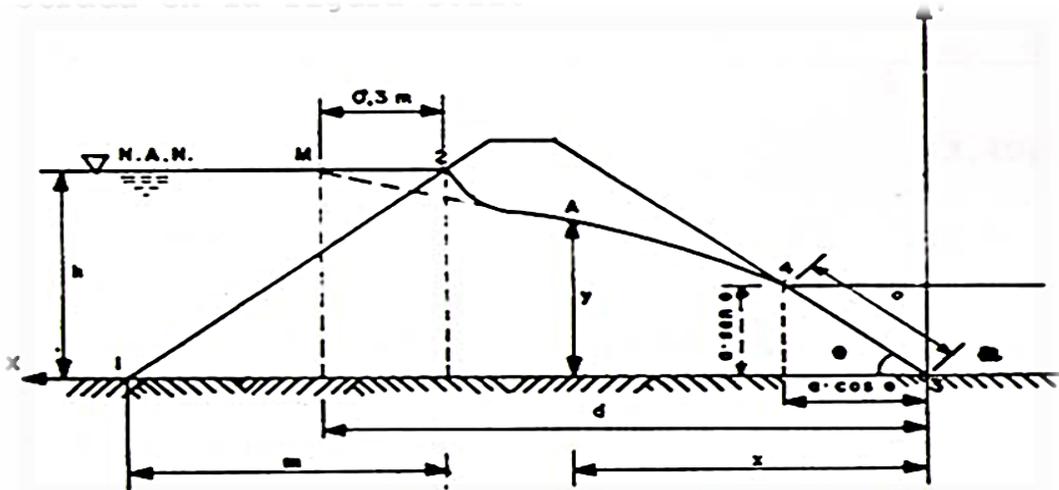
Según los autores Armas y Horta, 1987, existen diferentes métodos y criterios para determinar la Línea de Corriente Superior (LCS), fundamentados en el tipo de drenaje de la cortina. Estos cálculos nos permitirán determinar el gasto de filtración que circula por el cuerpo de la cortina y poder trazar la red de flujo, estimar las pérdidas por este concepto y la disminución de las propiedades de los materiales de la cortina fundamentalmente importantes para la estabilidad de la obra. Como la sección escogida de la micropresa es homogénea con drenaje recostado a pie de talud el método recomendado es el de Schaffernak y Van Ittersson.

#### **Método de Schaffernak y Van Ittersson.**

Schaffernak y Van Ittersson propusieron en 1916, de manera independiente, determinar la posición de la LCS

1. Base del método: la hipótesis de Dupuit.
2. Validez: sólo para  $h_0 = 0$  y  $\theta = 30^\circ$ .
3. Superficie de filtración: tiene una longitud sobre el talud seco de la presa.
4. Condiciones de entrada: las tiene en cuenta; por tanto, debe corregirse.
5. Punto M: se considera un punto M de coordenadas (d; h).

$$M = 0.3m \cdot h$$



**Figura 3** Esquema de la línea de corriente superior por el método de Schaffernak y Van Ittersson. (Armas y Horta 1987).

$$\alpha = d / \cos \theta - (d_2 / \cos \theta) - (h_2 - \sin 2\theta)$$

Expresión que permite calcular el valor de  $\alpha$  y situar el punto 4 de la LCS, siendo  $\theta$  el ángulo de inclinación del talud aguas abajo. Esto permite trazar la LCS en función del gasto.

Filtraciones: Al analizar el flujo del agua a través de la cortina y del terreno de la cimentación de una presa, se obtiene información de tres cuestiones fundamentales. (Armas y Horta 1987).

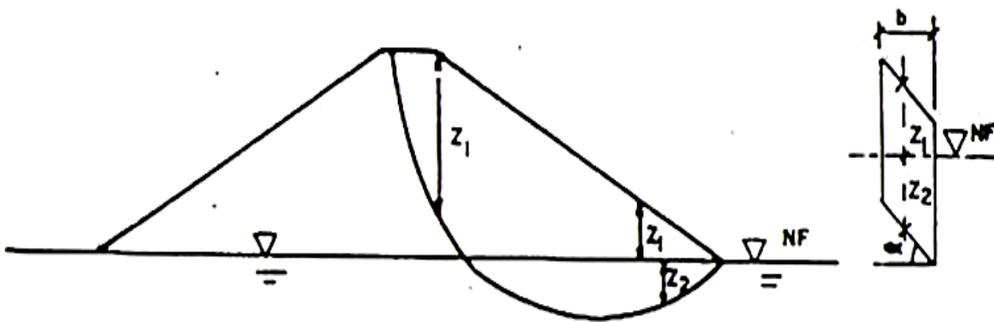
- ✚ El gasto de agua de infiltración a través de la zona de flujo.
- ✚ La influencia del flujo del agua sobre la estabilidad general de la masa de suelo a través de la que ocurre
- ✚ Las posibilidades del agua de infiltración de producir arrastres de material sólido, erosiones y Sifonamiento.

### 2.2.4 Cálculo de la estabilidad de la cortina:

Se analizó la estabilidad al final de la construcción debido a la falta de datos para otros estados de carga.

Se considera que existen dos posibilidades de fallo al final de la construcción:

Donde la primera se produce en los suelos con grado de saturación mayor que el 85 % y el coeficiente de consolidación  $C_v \leq 10^7 \text{ cm}^2/\text{año}$  en este caso el peso propio del terraplén produce presiones en los poros en el cuerpo del talud y la cimentación que no se disipan totalmente en el periodo constructivo utilizándose parámetros de diseño  $C_R$  y  $\phi_R$  correspondientes a ensayos rápidos (envolvente total) que tienen implícitos el efectos de los poros del final de construcción



**Figura 4** Esquema de Estabilidad al final de construcción. (Armas y Horta 1987).

En el caso de la micropresa Canasí, la cimentación y el cuerpo del talud es del mismo material empleándose el método para calcular el factor de seguridad fue el de Chagaev la formula se muestra a continuación:

$$F_{Ch} = \frac{R \sum c_R \cdot \delta_s}{\sum W \cdot x} + \frac{R \sum W \cdot \tan \phi_R}{\sum W \cdot x}$$

$$W = (\gamma_f \cdot Z_1 + \gamma' \cdot Z_2) b$$

Donde:

R: radio del círculo de falla

C<sub>R</sub>: Cohesión del material del terraplén

Tan φ<sub>R</sub>: ángulo de fricción interna material del terraplén

X: es el brazo de la fuerza y representa la distancia del centro de gravedad de la dovela al centro del círculo de falla

γ<sub>f</sub>: Peso específico húmedo del suelo

γ' Peso específico sumergido del suelo

Z<sub>1</sub>: Altura de la dovela sobre la cota del terreno o la LCS

Z<sub>2</sub>: Profundidad de la dovela en la cimentación

b: ancho de las dovelas

F<sub>Ch</sub>: Factor de seguridad.

### **2.2.5. Método empleado para el análisis del ancho del aliviadero tipo canal.**

El esquema aliviadero utilizado en la micropresa Canasí es de tipo canal, sin revestir. Este canal debe cumplir el requerimiento de conducir el agua en condición tranquila y normal a su longitud, evitando zonas de turbulencia que afecten la uniformidad de trabajo de la estructura, debe también producir las mínimas pérdidas de carga (energía por unidad de peso) para disponer de la mayor carga total para el vertimiento.

Las dimensiones (ancho y longitud) están generalmente subordinadas a la elección del tamaño, tipo y ubicación del vertimiento y al tipo de terreno.

Pasos a seguir:

1) Calcular un valor inicial de carga total según  $H_{oi} = H = NAM - NAN$  (o ligeramente inferior, dependiendo de la longitud y condiciones del canal).

## 2) Cálculo de la carga estática H.

$$H = H_{oi} - h_v = H_{oi} - \frac{V_{perm}^2}{2g}$$

Donde

H: es la distancia vertical entre la cresta del vertedor

H<sub>oi</sub>: valor inicial de carga total

NAN: nivel de aguas normales

NAM: nivel de aguas máximas

h<sub>v</sub> : carga a velocidad en el canal de aproximación

V<sub>perm</sub>: velocidad permisible

g: aceleración de la gravedad

## 3) Cálculo del ancho del canal de acceso.

$$B_{CA} = \frac{Q}{(P + H)V_{perm}}$$

Donde:

Q: caudal o gasto que circula por el aliviadero, m<sup>3</sup>/s.

P: altura del paramento superior del vertedor

H: carga estática sobre el vertedor

V<sub>perm</sub>: velocidad permisible

## 4) Cálculo del gasto específico en el canal de acceso.

$$Q_{CA} = Q/B_{CA}$$

Q: caudal o gasto que circula por el aliviadero, m<sup>3</sup>/s.

B<sub>CA</sub>: ancho del canal de acceso

5) Cálculo de las pérdidas de energía en el canal, debiendo considerarse todas aquellas que se identifican en el esquema o configuración del canal; si por ejemplo solo se consideran pérdidas de entrada y longitudinales, entonces:

### a) Pérdidas de entrada.

$$h_{fe} = K_e * \frac{V_{perm}^2}{2g}$$

K<sub>e</sub>: coeficiente de pérdidas de carga por entrada, generalmente se adopta K<sub>e</sub> = 0,05 a 0,1, pudiendo inclusive tomar el valor cero para aquellos casos en los que

el canal tiene un ancho considerable y en los que la entrada del agua al canal se produce no solamente por su extremo de aguas arriba, sino también por sus zonas laterales

$V_{perm}$ : velocidad permisible

$g$ : aceleración de la gravedad

b) Pérdidas longitudinales.

$$h_{fe} = \frac{q_{CA}^2 * n^2}{(P + H)^{10/3}} * L_{CA}$$

$h_{fe}$  : pérdidas de carga a la entrada del canal

$q_{CA}$ : caudal específico o también conocido como caudal por unidad de ancho

$n$  : coeficiente de rugosidad de Manning

$L_{CA}$ : longitud del canal de aproximación

$P$ : altura del paramento superior del vertedor

$H$ : carga estática sobre el vertedor

6) Cálculo de la  $\Sigma h_f$  en el canal de acceso.

$$\Sigma h_t = h_e + h_{fl}$$

$$h_e = K_e * h_v$$

$K_e$ : coeficiente de pérdidas de carga por entrada, generalmente se adopta  $K_e = 0,05$  a  $0,1$ , pudiendo inclusive tomar el valor cero para aquellos casos en los que el canal tiene un ancho considerable y en los que la entrada del agua al canal se produce no solamente por su extremo de aguas arriba, sino también por sus zonas laterales

$h_v$  : carga a velocidad en el canal de aproximación, se estima según:

$$h_v = \frac{V_{ca}^2}{2g} = \frac{1}{2g} * \left( \frac{Q}{A} \right)^2$$

Siendo

$V_{ca}$ : velocidad media del flujo en el canal de aproximación, m/s.

$Q$ : caudal o gasto que circula por el aliviadero, m<sup>3</sup>/s.

$A$ : área mojada en el canal de aproximación, m<sup>2</sup>.

$h_{fi}$ : pérdidas por fricción, se estiman aproximadamente con el empleo de alguna fórmula de régimen uniforme en canales (generalmente por la ecuación de Manning).

g: aceleración de la gravedad

7) Cálculo de la carga  $H_{of}$ .

$$H_{of} = NAM - NAN - \Sigma h_f$$

NAN: nivel de aguas normales

NAM: nivel de aguas máximas

$\Sigma h_f$  la sumatoria de las pérdidas de carga en el canal de aproximación.

8) Se comprueba si el error que se comete considerando la carga inicial  $H_{oi}$  es menor que el error permisible  $e_{perm}$ , lo cual puede formularse de la forma siguiente:

$(1 - H_{of} / H_{oi}) * 100 \leq e_{perm}$  En la práctica se acepta un error permisible de 2%, aunque los métodos informáticos permiten realizar las iteraciones necesarias con rapidez hasta lograr que dicho error sea cero.

Si se cumple, entonces  $H_0 = H_{of}$ . Si no se cumple, entonces se repite el proceso desde el segundo paso, sólo que ahora se parte de  $H_{oi} = H_{of}$  obtenido en el paso anterior y así sucesivamente hasta lograr la convergencia de la solución, lo cual puede formularse de la forma siguiente:

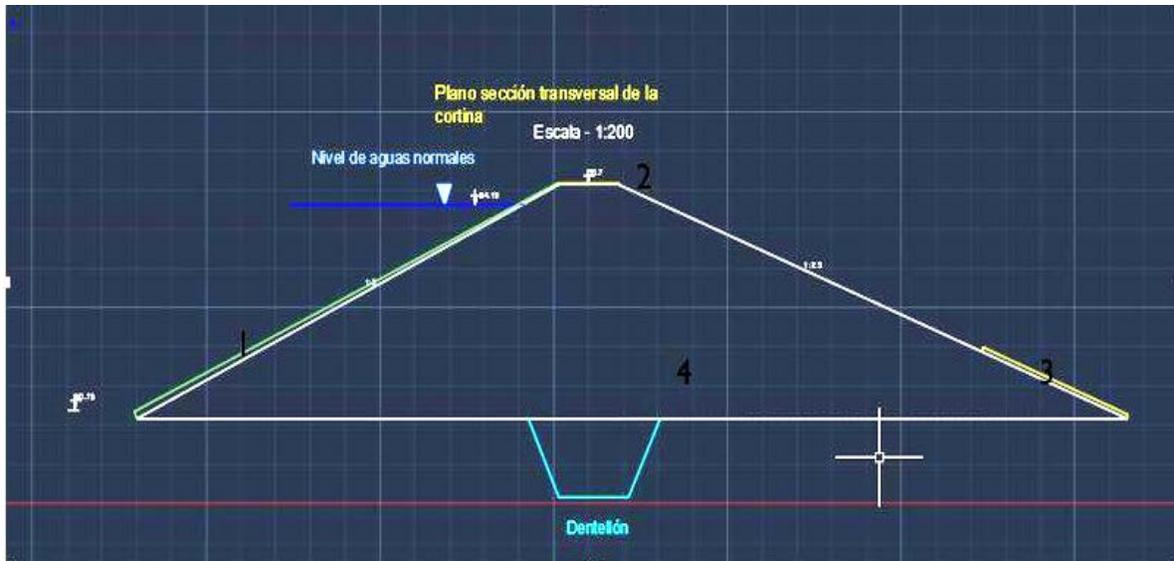
$(1 - H_{of} / H_{oi}) * 100 \leq e_{perm}$  En la práctica se acepta un error permisible de 2%, aunque los métodos informáticos permiten realizar las iteraciones necesarias con rapidez hasta lograr que dicho error sea cero.

Si se cumple, entonces  $H_0 = H_{of}$ . Si no se cumple, entonces se repite el proceso desde el segundo paso, sólo que ahora se parte de  $H_{oi} = H_{of}$  obtenido en el paso anterior y así sucesivamente hasta lograr la convergencia de la solución. Habana (Pardo y Alegret ,2001)

### **3. Análisis de los resultados**

#### **3.1 Resultados del diseño hidráulico**

1- Sección transversal de la cortina propuesta (ver Anexo 4 Sección transversal de la cortina).



**Figura 5** Captura de pantalla de la Sección transversal de la cortina propuesto. Fuente: Autora, 2020

#### Simbología

1. Protección del talud con un revestimiento de piedra a volteo sobre dos capas de filtro de grava y otra de arena.
2. Recubrimiento de la corona con una capa de mejoramiento  $e = 0.10\text{m}$
3. Drenaje recostado de pie de talud sobre dos capas de filtro una de grava y otra de arena
4. Material que está compuesta es arcilla

**Tabla1** Datos generales de la cortina.

Parámetros	Cortina
Tipo	Homogénea
Material	Arcilla
Longitud corona (m)	229
Ancho corona (m)	4.25
Cota de la base del (Cauce) (m)	40.75
Cota de corona (m)	55.7
Altura de la presa (m)	14.95
Talud Seco	1:2
Talud Húmedo	1:2.5

<b>Tipo de revestimiento. (Talud Mojado)</b>	Roca a volteo
<b>Tipo de revestimiento (Talud Seco)</b>	Capa vegetal césped
<b>Tipo de drenaje</b>	Recostado
<b>Diámetro de la piedra <math>\phi_m</math></b>	0.25m

## 2- Resultados de la determinación de la Línea de Corriente Superior (Ver Anexo 5)

**Tabla 2** Resultados de los valores X, y de Y correspondientes a la línea de corriente superior.

<b>Coordenadas</b>	<b>Valores</b>				
<b>X, m</b>	10.30	20.00	30.00	40.00	48.75
<b>Y, m</b>	4.35	8.09	10.11	11.79	13.10

**Tabla 3** Resultados de la longitud de drenaje y el espesor del revestimiento

<b>Parámetros Línea de Corriente Superior</b>	<b>Valores</b>
<b>Longitud del drenaje a</b>	12.0 m
<b>Espesor del revestimiento e</b>	3.0 m

3- Resultados de la estabilidad para el estado de carga de Final de Construcción para un suelo con un grado de saturación mayor que el 85% y coeficiente de consolidación  $C_v \leq 10^7$  cm<sup>2</sup>/año Ver Anexo 6 Archivo (AutoCAD) y Ver Anexo 7 Archivo Excel

**Tabla 4** Datos para el cálculo Estabilidad para el estado de carga de Final de Construcción.

<b>Parámetros del círculo de tanteo</b>	<b>Valores</b>
<b>Radio</b>	25.0 m
<b>Centro</b>	(15.0 m ;20.0 m)

$$F_{Ch} = 1.42$$

No se utilizó el  $R_{min.}$  para el cálculo de la estabilidad por lo que se muestra un resultado algo mayor que el recomendado por la NC de 1.15 a 1,20 para condiciones normales de trabajo, pero cumple con ser estable, en otras investigaciones haciendo uso de programas profesionales se pueden analizar todos los posibles círculos de falla.

No se logró en esta etapa obtener datos de investigaciones geológicas que permitieran realizar un análisis de la estabilidad de los taludes para comprobar la estabilidad para otros estados de carga lo cual se recomienda para una posterior etapa de trabajo.

4- Se realizó un análisis del aliviadero (ver anexo 8) el cual está en mal estado constructivo debido a la erosión y la falta de mantenimiento por lo que se propone restablecer el ancho del canal aliviadero  $B=L_1=127.3\text{m}$ , manteniendo siempre una velocidad máxima de circulación del flujo igual 1.2 m/s, pues no está revestido y se encuentra cimentado totalmente sobre arcilla.

5- La obra de toma es de fondo donde se recomienda efectuar un mantenimiento de la misma, pues pasa mucho tiempo sin funcionar y esto provoca que los elementos metálicos se oxidan, produciéndose la pérdida de capacidad de funcionamiento adecuado.

#### **Propuesta de trabajos de rehabilitación.**

- ✚ Perfilar los taludes aguas arriba y aguas abajo antes de colocar los revestimientos y filtros sugeridos
- ✚ Restablecer el ancho de la corona a 4.25 m. Colocar una capa de mejoramiento de 0,10 m de espesor
- ✚ Los filtros se deben diseñar en la etapa de ingeniería de detalle
- ✚ Construir una instalación de explotación.
- ✚ Limitar el acceso de personal no autorizado a la obra.

# *Conclusiones*

1. En la actualidad es imprescindible la construcción, mantenimiento y rehabilitación de las presas y micropresas por su importancia para el desarrollo de la sociedad.
2. La rehabilitación de la micropresa Canasí debe ajustarse a la propuesta de diseño hidráulico de la investigación.
3. Se presentan todas las investigaciones efectuadas hasta la fecha en un documento único de gran valor para los especialistas del INRH

# *Recomendaciones*

1. Presentar los resultados de la investigación en la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba.
2. Continuar con el análisis de las propuestas de rehabilitación en otra etapa.
3. Construir una caseta de explotación de la obra y establecer un sistema de protección al acceso.

# Bibliografía

1. Armas Novoa, Rolando y Horta Mestas, Evelio. Editorial Universitaria Félix Varela, 1987.
2. Camejo Corrales, D. M. Pionera de la construcción de embalses en Cuba. Conversaciones sobre el agua, Capítulo I. 19 octubre 2007.
3. Colectivo de autores; Caracterización socio-económica y técnica de la pesca en micropresas del Trópico seco del Sur de México, Zootecnia Trop., 29(2):195-203.2011.
4. El mundo se muere de sed/ by stop cambio climático, iAgua, 2020.
5. Esteve, Toni .El secreto de los pantanos olvidados, 12/12/2011.
6. Ferrer Fernández, Diego. Observaciones Relativas al Mantenimiento y Operación de Presas de Tierra en Venezuela, 2008.
7. Hidrogeología Micropresa Canasí, Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Santiago de Cuba perteneciente al GEARH, 2016.
8. <http://www.cambio climático abastecimiento/2020> iAgua Likes.
9. <http://www.presa 2020>.
10. Instituto Nacional de Suelos Camagüey, 2020.
11. Pardo, Rafael A. y Alegret Evio R. Colectivo de autores, Diseño Hidráulico de Aliviaderos para Presas Pequeñas, La Habana 2001.
12. Ramírez Velázquez, Yurianna. Estudio de las filtraciones en la Presa Cauto del Paso, tesis de grado, junio 2019.
13. Ríos, Arcadio. Máquinas agrícolas, tracción animal e implementos manuales. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (SAGARPA). La Habana, 2011.
14. Santos García, Nelson. Estudiaran estado de micropresas en la isla, Juventud Rebelde 7/06/2018.

15. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA), 2020.
16. The Marib Dam (Nabatea) / Aramco World / The Great Marib Dam – the eighth wonder of the world / New Developments in Dam Engineering (Martin Wieland, Qingwen Ren, John S.Y. Tan, eds.) / Inam's Water World / Wikipedia.

# Anexos

## **Anexo 1 Estudio Hidrológico Micropresa Canasí. Ing. Ariel Tablada Matos. EIPH SC, 2016**

### **INTRODUCCIÓN**

- Levantamiento topográfico
- Modelación topográfica del embalse a partir de la hoja esc. 1: 25000 (AutoCAD)
- Archivo Excel “Parámetros técnicos de Micropresas” de la provincia de Santiago de Cuba.

A partir de la simulación de las curvas de nivel del área del embalse a partir de la base digital a escala 1: 25000 de GeoCuba se conformó la Curva de Área y Capacidad para el cálculo de los parámetros de regulación de escurrimiento de la micropresa utilizando el software Microsoft Excel.

Para la ejecución del cálculo de los parámetros de regulación escurrimiento se adoptó el sistema KAX 2.0 que es un programa especialmente diseñado para ello cuando existe embalses simples, en cascada simple o cascada múltiple, que reciben o no un trasvase regulado desde otras cuencas o fuentes de abastecimiento de agua. Inicialmente el programa realiza los cálculos por el método estadístico aproximado de Kritski y Menkel y a partir de los resultados obtenidos realiza una simulación de la entrega anual de una serie de 1000 años que se ajusta a la garantía de entrega deseada.

Normalmente para que un embalse tenga una buena regulación que permita almacenar los excedentes de escurrimientos de los años acuados, para usarlos en los años secos, el coeficiente de regulación  $\alpha$  tiene que estar en el rango de 0,65 a 0,80. Coeficientes  $\alpha$  menores a 0,4- señalan poca hiperanualidad del escurrimiento, señalando más claramente una regulación estacional dentro del año.

El caso de la micropresa Canasí dado los resultados programa KAX 2.0 muestra que para la regulación  $\alpha = 0,579$  exige un volumen de almacenamiento de:  $0.930 \text{ hm}^3$ , lo que de acuerdo a la NC-974/2013 “Presas, diques, canales y obras asociadas. Categorías para nuevos proyectos o para el rediseño de estructuras existentes en escenario climático cambiante”, el embalse pasaría a ser de categoría IV a categoría III “Categorías de proyección de obras permanentes principales de acuerdo con la clase del cimiento, la altura H y el volumen de almacenamiento)

- Categoría IV:  $15 \text{ m} > H \geq 6 \text{ m}$  y  $3 \text{ hm}^3 > V \geq 0,15 \text{ hm}^3$
- Categoría III:  $20 \text{ m} > H \geq 15 \text{ m}$

**Tabla** Distribución típica de las precipitaciones

Prob.	Meses (%)												Anual
	enero	feb.	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	oct.	nov.	dic.	
Med	2.7	3.5	6.5	6.2	14.1	10.1	6.9	9.7	13.1	15.0	8.3	3.8	100
75	3.2	4.2	2.8	3.0	16.8	8.5	7.1	12.0	15.5	14.4	8.8	3.7	100
95	3.2	3.9	3.3	3.1	12.9	11.0	8.2	13.3	15.0	14.2	8.4	3.4	100

• G  
AE  
RH,  
201  
6

**Tabla** Distribución anual de las precipitaciones

Prob.	Meses (mm)												Anual
	enero	feb.	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept.	oct.	nov.	dic.	
Med	36	46	86	82	187	134	91	129	174	200	110	50	1326
75	42	45	35	34	188	122	76	130	157	140	63	36	1069
95	26	31	26	25	103	88	66	107	120	115	67	27	801

• GAERH, 2016

- Anexo 2 Archivo (AutoCAD) Sección transversal de la cortina propuesto.
- Anexo 3 Archivo Excel Cálculo de la LCS por el Método de Schaffernak y Van Ittersen.
- Anexo 4 Archivo (AutoCAD) Cálculo de la estabilidad de talud para el estado de carga final de construcción
- Anexo 5 Archivo Excel Cálculo de la estabilidad de talud para el estado de carga final de construcción

- Anexo 6 Archivo Excel Diseño hidráulico del ancho del canal aliviadero.
- Anexo 7 Archivo Línea de Corriente Superior (AutoCAD)
- Anexo 8 (AutoCAD) Microlocalización de la micropresa Canasí.