

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Consideraciones de dimensionamiento de una pequeña presa para
un embalse de regulación diaria en la cuenca del río Cahabón, Alta
Verapaz, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por

Héctor Hugo Ruano Godoy

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2016

Consideraciones de dimensionamiento de una pequeña presa para
un embalse de regulación diaria en la cuenca del río Cahabón, Alta
Verapaz, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Consideraciones de dimensionamiento de una pequeña presa para
un embalse de regulación diaria en la cuenca del río Cahabón, Alta
Verapaz, Guatemala

Trabajo de graduación presentado por
Héctor Hugo Ruano Godoy
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2016

Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Roberto Godo Levensen

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

(f) 
Ing. Heber González

Fecha de aprobación: Guatemala, (16/Junio/2016)

PREFACIO

El documento surge de mi interés por las centrales hidroeléctricas y como estas aprovechan la energía del agua para la generación de electricidad. De lo cual me surgen dudas como: ¿Dónde se almacena el agua de una hidroeléctrica?, ¿Cómo almacenar el volumen de agua?, esto me lleva a realizar una investigación en la cual se contestan las preguntas antes mencionadas.

Así como encontrar un tema donde pueda poner en práctica lo aprendido en la universidad, realizo una investigación que ayude a futuras generaciones a interesarse por el tema de generación de energía limpia en Guatemala.

Por lo que pensé en dar un enfoque no solo científico basándome en clases como Calculo II, Hidráulica I, Mecánica de fluidos, Física I y II, Instalaciones eléctricas, si no también enfocarme en la clase de Ciencias ambientales, en la cual se observa que, aunque algunos no estén totalmente de acuerdo en esta forma de generación de energía, es una alternativa para evitar la contaminación, y que futuras generaciones no sean afectadas por los daños ocasionados al medio ambiente.

La investigación se basa en determinar las partes importantes de una central hidroeléctrica que se encargan de generar energía eléctrica limpia. Utilizando: embalse, presa, canal, cámara de carga, tubería reforzada, chimenea de equilibrio, casa de máquinas. Con lo cual se aprovecha la energía gravitacional del agua por medio de la diferencia de alturas para mover las turbinas que generaran energía.

Determinando estos principios básicos me doy cuenta que una de las partes principales de la central hidroeléctrica es el embalse, el cual debe contener al volumen de agua necesario para la demanda de generación de energía, pero al mismo tiempo debe cumplir con ciertas normas no solo ambientales sino también de diseño para poder resistir las fuerzas ejercidas por el agua, tomando en cuenta los factores climatológicos del lugar donde se desee instalar la estructura.

Por lo que mi investigación se orienta al dimensionamiento de una presa para un embalse de regulación diaria en Guatemala, delimitando el área de Alta Verapaz.

Agradezco a los catedráticos que me enseñaron no solo realizar cálculos en una computadora, sino a tener en cuenta el cuidado del medio ambiente.

ÍNDICE

PREFACIO	v
LISTADO DE ECUACIONES	vii
LISTADO DE IMÁGENES.....	ix
LISTADO DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. General	2
B. Específicos	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
A. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	3
1. Centrales hidroeléctricas..	3
B. FACTORES FÍSICOS QUE GOBIERNAN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA.....	12
1. Geomorfología..	12
2. Estratigrafía.....	12
3. Riesgos sísmicos.....	12
C. DIMENSIONAMIENTO DE PEQUEÑA PRESA	13
1. Dimensionamiento de embalse.....	13
D. VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO	44
1. Verificación de estabilidad.	44
IV. DISCUSIÓN	52
V. CONCLUSIONES	54
VI. RECOMENDACIONES	55
VII. BIBLIOGRAFÍA	56
VIII. ANEXOS	59

LISTADO DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	21
ECUACIÓN 2 RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE MENSUAL	21
ECUACIÓN 3 ALTURA PROMEDIO EN FUNCIÓN DEL ÁREA	29
ECUACIÓN 4 DETERMINACIÓN DEL ÁREA EMBALSADA	29
ECUACIÓN 5 DETERMINACIÓN DE VOLUMEN EMBALSADO	29
ECUACIÓN 6 EVAPORACIÓN EN UN EMBALSE	30
ECUACIÓN 7 DETERMINACIÓN DE VOLUMEN Y ALTURAS PARA EMBALSE	30
ECUACIÓN 8 CAUDAL MÍNIMO TÉCNICO	31
ECUACIÓN 9 POTENCIA A INSTALAR	32
ECUACIÓN 10 FACTOR DE EFICIENCIA PARA LA TURBINA	32
ECUACIÓN 11 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SEGÚN KIRPICH	33
ECUACIÓN 12 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN SEGÚN NRCS	34
ECUACIÓN 13 INTENSIDAD PARA CÁLCULO DE CURVAS IDF	35
ECUACIÓN 14 INTENSIDAD PARA CÁLCULO DE CURVAS IDF	35
ECUACIÓN 15 INTENSIDAD PARA CÁLCULO DE CURVAS IDF	35
ECUACIÓN 16 COEFICIENTE DE CORRECCIÓN EN FUNCIÓN DE TR.....	35
ECUACIÓN 17 COEFICIENTE DE CORRECCIÓN CD, PARA "D" MENOR A 3 HORAS.....	36
ECUACIÓN 18 COEFICIENTE DE CORRECCIÓN CD, PARA "D" MAYOR A 3 HORAS.....	36
ECUACIÓN 19 COEFICIENTE DE CORRECCIÓN CA, EN FUNCIÓN DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y ÁREA.....	37
ECUACIÓN 20 PRECIPITACIÓN CORREGIDA.....	38
ECUACIÓN 21 PRECIPITACIÓN PARA (12TC/7)	38
ECUACIÓN 22 RETENCIÓN MÁXIMA DEL SUELO	38
ECUACIÓN 23 RETENCIÓN DEL SUELO AL INICIO DEL ESCURRIMIENTO.....	39
ECUACIÓN 24 VOLUMEN DE ESCORRENTÍA.....	39
ECUACIÓN 25 CAUDAL MÁXIMO ESPECIFICO	39
ECUACIÓN 26 CAUDAL EN LA AVENIDA EXTRAORDINARIA	40
ECUACIÓN 27 VOLUMEN DE VERTIDO.....	40
ECUACIÓN 28 CAUDAL MÁXIMO DE VERTIDO.....	40
ECUACIÓN 29 CONSTANTE K	41
ECUACIÓN 30 CAUDAL ESPECÍFICO POR UNIDAD DE ANCHO DE VERTEDERO.....	41
ECUACIÓN 31 VELOCIDAD DE VERTIDO	41
ECUACIÓN 32 ANCHO DE VERTEDERO	42
ECUACIÓN 33 CALCULO DE PESO PARA LA PRESA D. CEDEÑO	44
ECUACIÓN 34 EXCENTRICIDAD RESPECTO AL CENTROIDE D. CEDEÑO.....	44
ECUACIÓN 35 MOMENTO QUE ACTÚA EN LA ESTRUCTURA D. CEDEÑO.....	45

ECUACIÓN 36 ESFUERZO, POSITIVO Y NEGATIVO D. CEDEÑO.....	45
ECUACIÓN 37 EFECTOS MÁXIMOS D. CEDEÑO.....	46
ECUACIÓN 38 FUERZA HORIZONTAL D. CEDEÑO.....	46
ECUACIÓN 39 FUERZA VERTICAL D. CEDEÑO	46
ECUACIÓN 40 FUERZA BOYANTE D. CEDEÑO.....	47
ECUACIÓN 41 EQUIVALENCIA PARA LA REACCIÓN HORIZONTAL D. CEDEÑO	47
ECUACIÓN 42 MOMENTO D. CEDEÑO	47
ECUACIÓN 43 MOMENTO POR VOLCAMIENTO D. CEDEÑO	47
ECUACIÓN 44 DETERMINACIÓN DE MP D. CEDEÑO	48
ECUACIÓN 45 FACTOR DE SEGURIDAD D. CEDEÑO.....	48
ECUACIÓN 46 RANGO PARA EL FACTOR DE SEGURIDAD D. CEDEÑO	48
ECUACIÓN 47 FACTOR DE FRICCIÓN D. CEDEÑO.....	48
ECUACIÓN 48 FACTOR DE SEGURIDAD DE DESLIZAMIENTO D. CEDEÑO.....	48
ECUACIÓN 49 DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS D. CEDEÑO.....	49
ECUACIÓN 50 ESFUERZO POSITIVO Y NEGATIVO D. CEDEÑO.....	49

LISTADO DE IMÁGENES

IMAGEN 1 ESQUEMA DE CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	3
IMAGEN 2 ESQUEMA DE UNA PRESA.....	7
IMAGEN 3 ESTRUCTURA DE UNA PRESA	9
IMAGEN 4 ESQUEMA DE CHIMENEA DE EQUILIBRIO	11
IMAGEN 5 LOCALIZACIÓN DE CUENCA DEL RÍO CAHABÓN.....	16
IMAGEN 6 UBICACIÓN DE ESTACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN.....	17
IMAGEN 7 CUENCA DEL RÍO CAHABÓN	20
IMAGEN 8 MAPA DE ISOYETAS DEL RÍO CAHABÓN	25
IMAGEN 9 MAPA DE ISOPLETAS.....	27
IMAGEN 10 DIAGRAMA DE COTAS DE NIVEL Y VOLÚMENES DE EMBALSE	30
IMAGEN 11 GRÁFICA DE CAUDAL	31
IMAGEN 12 ESQUEMA DE ALIVIADERO Y RELACIONES, PARA SU DISEÑO REFERENCIA.....	33
IMAGEN 13 DIAGRAMA DE FLUJO DE ESTABILIZACIÓN	51

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	6
TABLA 2 HIDROELÉCTRICAS DE GUATEMALA CON TIPO DE EMBALSE	8
TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOTÉCNICAS EN COBÁN	13
TABLA 4 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN DEL INSIVUMEH, EN LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN	14
TABLA 5 ESTACIONES PARA EL ESTUDIO DE LA CUENCA DEL CAHABÓN	15
TABLA 6 ÁREA GEOLÓGICA Y PORCENTAJE	18
TABLA 7 ÁREA CLIMÁTICA EN GUATEMALA	19
TABLA 8 BRILLO SOLAR	21
TABLA 9 ESTIMACIONES PARA LA UTILIZACIÓN DEL BRILLO SOLAR	22
TABLA 10 DATOS DE PRECIPITACIÓN PARA LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN	23
TABLA 11 DATOS PARA EL MÉTODO DE ISOYETAS	24
TABLA 12 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	26
TABLA 13 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MEDIA	26
TABLA 14 REPORTE DEL CIV E INSIVUMEH	28
TABLA 15 CÁLCULOS CON LA INFORMACIÓN ENCONTRADA	28
TABLA 16 PORCENTAJE DE DIFERENCIA ENTRE DATOS ENCONTRADOS	28
TABLA 17 ALTURA EN FUNCIÓN DE LAS COTAS TOPOGRÁFICAS	29
TABLA 18 APROXIMACIÓN DE COEFICIENTE CT	37
TABLA 19 APROXIMACIÓN DE COEFICIENTE CD	37
TABLA 20 TABLA DE CÁLCULO PARA VERTEDERO	42
TABLA 21 VERIFICACIÓN DE DIMENSIONAMIENTO	43
TABLA 22 VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD	50

RESUMEN

Guatemala es un país que cuenta con una gran cantidad de recursos naturales renovables con gran potencial energético, entre los cuales se encuentra la energía solar, el agua (generación de electricidad por el aprovechamiento de la energía gravitacional del agua), el viento (energía eólica, generación de energía por medio la velocidad del viento), entre otras para la generación de energía limpia.

Uno de los potenciales más observados y que se ha utilizado en Guatemala es el aprovechamiento de la energía del agua, que ha estado presente desde 1,884 en la hidroeléctrica de la finca el Zapote, que se ubicaba al norte de la ciudad capital, donde la primera hidroeléctrica inicia con la generación de energía limpia en del país. Estas construcciones han ayudado a generar energía limpia y disminuir la contaminación a la que nos enfrentamos a diario.

Para lograr la generación de energía hidroeléctrica es necesaria la construcción de una represa o presa, que es la encargada de crear una barrera y formar un embalse el cual mantiene el volumen necesario de agua para lograr la generación de electricidad sin que se vea afectado por sequías, las que podrían disminuir el caudal del cuerpo de agua.

La construcción de centrales hidroeléctricas es un avance para el país ya que se pueden mantener los caudales en los afluentes sin que afecten el cauce del mismo o al medio ambiente, así como en un futuro la generación de energía limpia (por medio de hidroeléctricas), lo que nos lleva a que su adecuada utilización brinde un equilibrio entre energía y medio ambiente, dejando a un lado la contaminación que es uno de los problemas que se enfrenta a diario para las diversas formas de generación de energía, ya que la generación de electricidad nos ha llevado a contaminar el medio ambiente y también afectar la biodiversidad.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de electricidad y el medio ambiente son temas que están relacionados, tomando en cuenta que unas son más amigables que otras para el medio ambiente. Como es el caso de la generación de energía eléctrica producida por la fuerza del agua, viento, o radiación solar (energía renovable), donde su impacto es menor que si se utilizara diésel o gasolina, ya que estos producen gases que aportan a la causa del efecto invernadero. Este es uno de los temas de mayor importancia en la actualidad ya que con el paso del tiempo se observa de una manera más marcada como ha cambiado el medio ambiente y como dicho cambio ha afectado también a distintas especies de animales.

Para la reducción de dicho impacto se inició el cambio de matriz energética, la cual empezó con la construcción de centrales hidroeléctricas en Guatemala que datan del año 1,884 con la hidroeléctrica en la finca el Zapote, luego en la parte de escuintla se instaló la hidroeléctrica de Palín que generaba 732 KW, con la que se brindaron servicios eléctricos a Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla. Así como la hidroeléctrica de Santa María, Jurún Marinalá, Aguacapa, y Chixoy.

El agua juega un papel complejo y multifacético, tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales. Reconociendo que es un elemento finito y frágil, y que para que sea un bien de dominio público se debe llevar a cabo una gestión multidimensional, con la participación de comunidades, técnicos y de aquellos que toman las decisiones (IARNA, 2005). La demanda de agua en Guatemala, ha incrementado en los últimos años y las represas aparecen como una herramienta económicamente viable para almacenar el agua en el invierno y utilizarla en el verano cuando hay escases. De esta manera las represas permiten satisfacer dicha demanda, frente a la imposibilidad de realizar otros métodos.

Como lo han evidenciado los acontecimientos recientes, Guatemala es un país vulnerable que se ve amenazado por conflictos en sus recursos hídricos, si su capacidad de sostener su ecosistema acuático y proveer a la población del nivel deseado de desarrollo social y económico no está sustentado en el conocimiento y la calidad en la gestión de su sistema hidrológico y la infraestructura de los recursos hídricos (IARNA, 2005).

II. OBJETIVOS

A. General

1. Dimensionar una pequeña presa para embalse de regulación diaria en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala.

B. Específicos

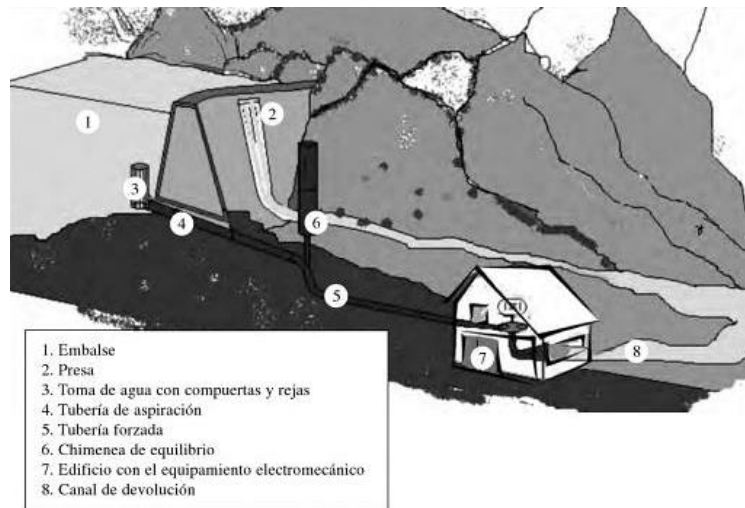
1. Definir las diferentes partes de una presa para centrales hidroeléctricas.
2. Identificar factores iniciales de diseño para pequeña presa de embalse de regulación diaria.
3. Identificar requisitos de diseño de pequeña presa de embalse de regulaciones diaria.
4. Definir factores de dimensionamiento en una presa en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala.

III. MARCO TEÓRICO

A. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

1. Centrales hidroeléctricas. Desde la antigüedad se ha utilizado la energía del agua para realizar distintas actividades como mover molinos o elevar el agua de riego, utilizando desniveles y convirtiendo la energía potencial del agua en energía mecánica, de lo que nacen las centrales hidroeléctricas que se encargan de realizar este proceso no solo para generar energía eléctrica sino también para disminuir la contaminación por medio de generación de energía limpia.

Imagen 1 Esquema de central hidroeléctrica



Fuente: (Sanz, 2008)

Las centrales hidroeléctricas se clasifican en función de sus características técnicas, así como sus condiciones de funcionamiento:

a. Centrales de agua fluyente. Son las que no cuenta con almacenamiento de agua, si no que se aprovecha únicamente el agua que llega por el cauce normal del río, lo cual puede causar una fluctuación en la generación de energía debida a la variación de los niveles del caudal del afluente.

b. Centrales de agua embalsada. Son las que cuenta con una reserva de agua de un embalse que es conseguido mediante la construcción de una presa. Dicho embalse se utiliza dependiendo la demanda que exija la central hidroeléctrica. Regularización la *generación de energía*.

c. Centrales de acumulación por bombeo. Estas centrales disponen de dos embalses situados a diferentes niveles. Cuando la demanda de energía alcanza su máximo nivel a lo largo del día el agua almacenada en el embalse superior, hace girar un rodete de una turbina asociada a un alternador funcionando como una central convencional generando energía, después el agua queda almacenada en el embalse inferior.

d. Topografía. Es la representación plana de una parte de la superficie terrestre, todo estudio de ingeniería debe realizar un estudio previo para determinar los detalles y condiciones iniciales del terreno. A partir de las cuales se realizan estudios de factibilidad del proyecto.

Después de contar con los datos topográficos se procede ubicar el proyecto por medio de mapas topográficos, los cuales se pueden hacer de dos maneras: levantamientos hechos especialmente para el sitio o pueden ser consultados en las publicaciones del IGN (Instituto Geográfico Nacional).

La utilización de los mapas es para determinar la potencia eléctrica, donde se revisa la topografía de lugar para especificar alturas y desniveles que existen para la realización del proyecto, la cual es directamente proporcional al salto máximo que se puede generar, teniendo en cuenta siempre los límites de viabilidad de inversión y factores ambientales.

e. Estudio hidrográfico. El agua naturalmente presenta una dinámica la cual se define en etapas por su manera de analizarse, se le denomina ciclo del agua ya que empieza donde posteriormente termina. Esto es debido a que toda agua caída por precipitación se drena hacia un mismo punto en común que pueden ser ríos que después desembocan a lagos o mares.

Estos flujos pueden utilizarse como punto de control de la cuenca que se desea analizar. La región se delimita por montañas, laderas o colinas.

El comportamiento de una cuenca hidrográfica se ve afectado por la cobertura vegetal, topografía del terreno, el tipo de suelo entre otros para lo que se toman en cuenta los datos de:

- Superficie
- Topografía
- Geología y suelos
- Cobertura.

f. Estudios geológicos. La geología es la ciencia que estudia la composición mineral para la clasificación de las rocas, para la determinación de antigüedad o formación de un terreno y los cambios que ha sufrido con el paso de los años hasta la actualidad. En la ingeniería civil, la geología permite conocer a detalle el área donde se desea construir, así como las características principales con las que se cuentan dentro de dicha área dependiendo del tipo de minerales o rocas que se puedan encontrar.

1) Tipos de rocas. Las rocas son agregados minerales que se pueden clasificar dependiendo de su composición mineral, que son contraladas principalmente por su composición química y su estructura molecular. Obteniendo tres clasificaciones de rocas:

- Ígneas: las rocas ígneas se forman a partir de la presencia de magma o lava se dividen en dos tipos intrusivas y extrusivas; las intrusivas son aquellas que se formaron en el interior de la tierra bajo la presencia de magma siendo arrojadas luego a la superficie. Mientras que las extrusivas son las que se formaron por presencia de lava que fue expulsada a la superficie terrestre teniendo contacto con minerales.
- Metamórficas: las rocas metamórficas son ígneas o sedimentarias que han sufrido cambios debidos a la presencia de altas presiones o temperaturas muy elevadas, ocasionando alteraciones moleculares, que cambian su composición original.
- Sedimentarias: Las rocas sedimentarias se identifican por tener capas claramente definidas ya que se forman por restos orgánicos o de otros minerales que se depositan sobre ellas por medio del agua, viento o lluvia.

g. Riesgos geológicos. Para la determinación del estudio geológico y de las clasificaciones de rocas es necesario localizar las zonas que podrían representar fallas donde se desea realizar la presa. Estas zonas se pueden volver inestables debido a fallas con material que favorecen a su deslizamiento, material erosionado, entre otras. Estos aspectos ayudan a realizar refuerzos en las zonas que lo necesiten para prever cualquier tipo de accidentes o negligencias al momento de construir.

h. Características del suelo. Para el tipo de suelo con el cual se trabajara es necesario realizar estudios granulométricos para conocer la variación de tamaños de partículas y saber concretamente de que tipo suelo se tratara durante la construcción. El análisis granulométrico se basa en la descomposición de las partículas de diferentes tamaños que puede tener un suelo en el cual se pasa por tamices para determinar los diámetros encontrados y determinar el tipo de

suelo en base a su composición. Los resultados de este estudio se pueden encontrar en la Tabla 1.

Tabla 1 Sistema unificado de clasificación de suelos

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)				Símbolo del grupo	Nombres típicos		
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4 Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro)	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos		
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla		
	Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4 Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro)	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos		
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas		
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas		
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia)		
			Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
			Media a alta	Nula a muy lenta	Media	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50		Ligera a media	Lenta	Ligera	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
		Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos	
		Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas	
	Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta		
Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos		

Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Fuente: (UNAM, 2011)

i. Embalse. Un embalse es un volumen de agua que proviene de la *cuenca vertiente* que se encuentra retenido aguas arriba de las turbinas de la central hidroeléctrica almacenando el volumen de agua que pasara por las turbinas. “La implementación de un embalse permite utilizar toda la energía del agua para producir kilovatios-hora más baratos” (García, 2011). El volumen de agua almacenado no solo es utilizado para la generación de energía eléctrica ya que también se utiliza para diferentes necesidades de poblaciones aledañas como actividades de riego en tiempo de sequía o de verano.

Uno de los problemas que enfrenta una hidroeléctrica es la fluctuación del caudal del afluente, lo cual causa variación en la generación de energía dependiendo del tipo de embalse, para lo que existen diferentes clasificaciones de embalses dependiendo de la regulación que se desee realizar.

En un embalse es necesario distinguir entre la capacidad útil y la capacidad total del agua, ya que una es la que se utiliza para la generación de energía y la otra es la no utilizable separándolas por medio de la construcción de una presa.

Imagen 2 Esquema de una presa



Fuente: (García 2011)

1) Centrales con embalse o de regulación: Estas centrales tienen la posibilidad de almacenar las aportaciones de un río mediante la construcción de un embalse, donde se regulan los caudales de salida para mantener una producción de energía uniforme.

2) Embalse de regulación diaria: Estos embalses son más amigos del medio ambiente, pero presentan mayor susceptibilidad ante periodos de sequía. “Una opción potencial podría ser el desarrollo de pequeños embalses en cascada con lo cual se podría aprovechar el mismo volumen de agua para generar energía más de una vez”. (CNEE/Dobias, 2014)

3) Embalse de Regulación anual: tienen las ventajas de ser zonas de amortiguación ante las amenazas de inundaciones; como la capacidad de almacenar agua para abastecimiento durante periodos de sequías prolongadas, asimismo pueden ser desarrollados con propósitos multiusos; sin embargo, desde el punto de vista ambiental, el caudal puede verse afectado aguas abajo (CNEE/Dobias, 2014).

Tabla 2 Hidroeléctricas de Guatemala con tipo de embalse

Hidroeléctrica	Ubicación	Tipo de embalse
Hidroeléctrica Aguacapa	Escuintla	Regulación diaria
Hidroeléctrica Jurún Marinala	Escuintla	Regulación diaria
Hidroeléctrica Los Esclavos	Santa Rosa	Regulación diaria
Hidroeléctrica Santa María	Quetzaltenango	Regulación diaria

Fuente: (INDE, 2013)

j. Presas o diques. Para provocar una retención en el cauce de un río se puede utilizar dos alternativas:

1) Diques. El dique crea un remanso para desviar parte del caudal del río hacia la toma, el agua no derivada vierte por el aliviadero siguiendo su curso normal. Para su construcción se utiliza hormigón, ladrillo de escollera o tierra, revestimiento de hormigón. En los diques de escollera se suelen colocar anclajes para aumentar su estabilidad.

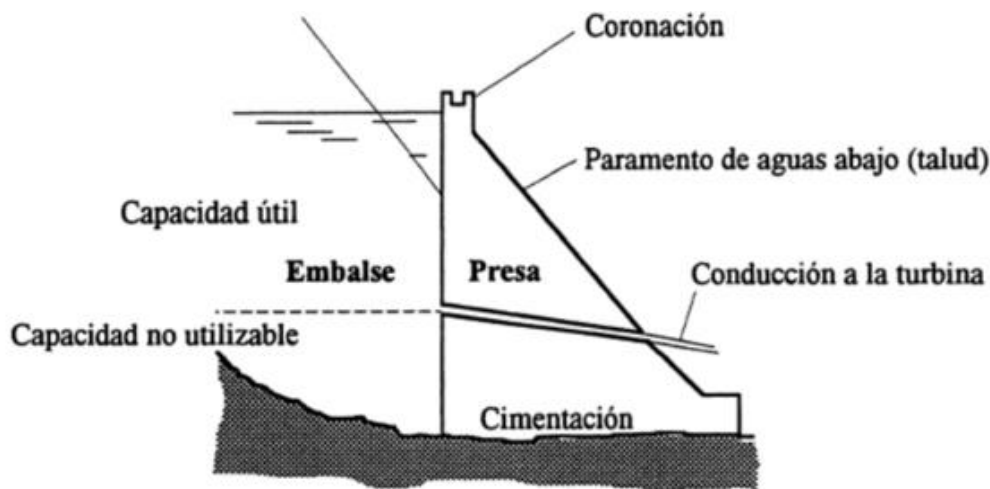
2) Presas. La presa crea una notable elevación del nivel del río mediante la edificación de un embalse, para evitar el peligro que podría ocasionar las avenidas, las presas disponen de elementos de seguridad para la elevación de caudales:

- Aliviadores de superficie: se utilizan como dispositivos de regulación y controlar los niveles del embalse.
- Desagüe de medio fondo: se utilizan dispositivos de cierre que son compuertas o válvulas. Las válvulas son propias de desagües, mientras que las compuertas se utilizan en todo tipo de caudales.
- Desagüe de fondo: se utilizan los dispositivos de cierre o compuertas igual que los desagües de medio fondo.

Una presa es una estructura que actúa como barrera, obstaculizando la circulación normal de una cauce, que se construye por dos razones:

- Formar un salto, incrementar la elevación del nivel de agua.
- Crear un almacenamiento de agua para regular de la misma.

Imagen 3 Estructura de una presa



Fuente: (A. Viedma, 1997)

Las presas se clasifican según la forma de su estructura o materiales que se utilicen. Entre ellas se encuentran las presas de concreto y las de elementos sin trabar. Las presas de concreto más comunes: de gravedad, bóveda, y contrafuertes. Las presas de elementos sin trabar suelen ser de piedra o de tierra.

a) Selección del tipo de presa. Para la selección de una presa se deben tomar en cuenta los factores como el empuje debido al agua y los sedimentos, la presión que se genera debido al paso del agua por debajo de la presa ya que el terreno no es completamente impermeable, el propio peso de la estructura entre otros aspectos importantes. Por lo que es importante con datos topográficos, estudios geológicos, estudios hidrológicos y un análisis beneficio-costos donde además de analizar la factibilidad económica de la obra se analizan posibles afectaciones sociales respecto a los beneficios que una obra de este tipo traería a las poblaciones aledañas.

- Presa de gravedad: Las presas de gravedad son estructuras de concreto de sección triangular, con una base ancha que se va estrechando hacia la parte superior, la cara que se encuentra en la parte del embalse es prácticamente vertical. Uno de los problemas que enfrenta este tipo de presas son los volcamientos que son producidos por los deslizamientos horizontales, los cuales deben ser contrarrestados por una adecuada distribución de cargas volumétricas. Para lo cual se deben determinar coeficiente de seguridad contra volcamiento.
- Presa de bóveda: Este tipo de presa utiliza los fundamentos de una bóveda, la cual se encarga de distribuir de manera uniforme las cargas desde el centro hacia los extremos.
- Presa de contrafuertes: Las presas de contrafuertes se conforman por una pared que se soporta directamente la carga del agua por medio de pilares o contrafuertes, los cuales se encargan de transmitir la carga así a la base del muro.
- Presa de derivación: Es la presa que aparte de conseguir un salto de agua, desvían los caudales hacia la central hidroeléctrica.
- Presa de materiales sueltos: también conocida como presa de escollera. Se realiza sobre terrenos con suficiente grado impenetrabilidad del agua, colocando una pantalla impermeable aguas arriba, y completando la estructura con un relleno suficientemente compactado de tierra, piedras, capas de escorilla.

3) Toma. Es la parte ancha al inicio del canal la que facilita la entrada de agua retenida por el dique o la presa, la cual se diseña para que las pérdidas de energía sean mínimas. La toma contiene una rejilla que impide la entrada sedimentos al canal y una compuerta para interrumpir la entrada de agua al momento de necesitar una reparación de las conducciones o limpieza.

4) Canal. sirve para conducir el caudal derivado hacia la cámara de carga, el cual se realiza por medio de un canal a cielo abierto, un canal enterrado, o una conducción a presión. El canal normalmente se realiza por línea que sigue la pendiente del terreno con una pendiente poco pronunciada, la cual ayuda realizar el mínimo movimiento de tierras. Las secciones transversales del canal dependerán del tipo de terreno, usualmente en un terreno rocoso se utiliza una sección rectangular y para tierra un canal trapezoidal

5) Cámara de carga. Es un depósito localizado al final del canal a partir del cual arranca la tubería forzada, esta tiene la capacidad de suministrar el volumen necesario para el arranque de las turbinas sin intermitencia.

En el momento que la central tiene alguna parada el agua no turbinada es vertida por la cámara de carga la cual debe tener una zona de aliviadero y encauzamiento hasta devolver al río. La cámara de carga también puede tener elementos adicionales como rejillas y compuertas de desarenación y limpieza.

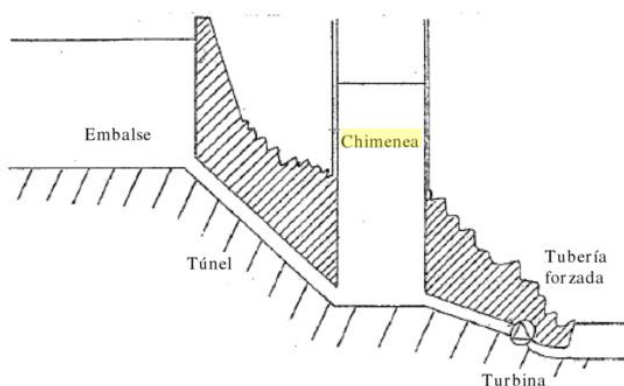
La cámara de carga debe diseñarse para tener el mínimo de pérdidas de energía ya sea que se empiece aguas arriba o en la misma cámara lo cual puede provocar vértices en la tubería forzada, provocando fuertes vibraciones en las turbinas y disminuyendo su rendimiento.

6) Tubería forzada. La tubería forzada tiene que llevar el agua desde cámara de carga hasta las turbinas con la pendiente necesaria. Debe estar diseñada para soportar presiones producidas por la columna de agua y la presión producida por el golpe de aire en caso de una parada brusca en la central.

7) Chimenea de equilibrio. La chimenea es un depósito abierto a la atmósfera que se encuentra conectado a la tubería forzada, este elemento se utiliza en los saltos de agua para la regulación del caudal en las turbinas, por lo que refleja las fluctuaciones de presión provenientes de la turbina, protegiendo al túnel del golpe de ariete, reduciendo las sobrepresiones e incrementando la amortiguación.

La chimenea también desempeña una misión de regulación, ya que puede almacenar y proporcionar agua cuando se necesite.

Imagen 4 Esquema de chimenea de equilibrio



Fuente: (U. Sánchez, 2000)

B. FACTORES FÍSICOS QUE GOBIERNAN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA

1. **Geomorfología.** Es la encargada de estudiar las formaciones en la superficie de la tierra y las fuerzas que las provocaron a lo largo del tiempo, como, por ejemplo, las formaciones montañosas, las llanuras, valles entre otros, describiendo detalladamente la composición y el relieve. La descripción de cada uno de estos relieves contiene características como la edad, composición topográfica, tipo de pendientes, tipo de drenajes.

2. **Estratigrafía.** Es un rasgo representativo de las rocas, las capas que éstas representan, se conocen como estratos y estas características es una de las más importante en el análisis de las rocas.

3. **Riesgos sísmicos.** Este tipo de estudio debe estar apoyar con los códigos sísmicos del país para realizar los cálculos correctos y determinar factores de seguridad para la obra, como índices de recurrencia cerca del terreno, otro dato que ayuda en este aspecto es la utilización de registros histórico del lugar para tener un dato estadístico de los últimos años.

Utilizando la normativa de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), en la cual se presentan las “Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala”, en el Capítulo 13 de Estudios Sísmicos y Dinámicos se encuentra que para la categorización del sitio donde se edificara, inicialmente se deben realizar estimaciones de velocidad de onda de corte V_s a una profundidad como mínimo por debajo del nivel de las cimentaciones, para lo que se pueden utilizar métodos geofísicos.

Si no es posible obtener la clasificación del sitio se debe realizar una investigación del suelo, en el cual se debe comprender al menos:

- Descripción estratigráfica del suelo, considerando extensiones laterales y verticales, número de estratos y sus espesores.
- Propiedades físicas y químicas del suelo, de la roca y sus valores utilizados para su clasificación.
- Velocidad e la onda S y P, relaciones de esfuerzo-deformación, así como propiedades de resistencia estático y dinámicos, consolidación, permeabilidad, como otras propiedades mecánicas del ensayo de campo en el lugar.

- Características del nivel freático de las aguas subterráneas.

La distribución geográfica de Cobán Alta Verapaz Guatemala se encuentra.

Tabla 3 Clasificación de unidades geotécnicas en Cobán

Calificación de Unidades Geotécnicas en Cobán

Tipo de perfil	Descripción
C	Depósitos carbonáticos. Rocas carbonáticas que incluye miembros dolomíticos, calcéros, además de calizas de plataforma externa y con nódulos de pedernal fosilíferas.
D	Aluvión cuaternario. Depósitos indiferenciados, de aluviones de llanura de inundación, arenas y arcillas.

Fuente: (E. Cotto, 2006)

C. DIMENSIONAMIENTO DE PEQUEÑA PRESA

1. Dimensionamiento de embalse. Para el dimensionamiento del embalse en necesaria la topografía del lugar donde se desea realizar la presa ya que se analizan diferentes tipos de combinaciones de cotas de comienzo de vertido y de toma de agua.

El volumen óptimo de un embalse es el que satisface la demanda que analiza estadísticamente durante un periodo específico.

a. Datos necesarios para el diseño del embalse

1) Precipitación mensual. Se deben tener los datos de precipitación acumulada del pluviómetro más cercano a la cuenca la cual e puede obtener a través del INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), denominando a la precipitación como P_i .

$$P_i = \text{precipitación en la cuenca, mm/mes}$$

2) Área de la cuenca de aporte. Se debe delimitar la cuenca de aporte y calcular su superficie.

$$AC = \text{superficie de la cuenca de aporte, ha}$$

- 3) Agua disponible. Cantidad de agua disponible de los suelos de la cuenca.

$$AD = \text{Agua disponible en los suelos, mm}$$

4) Ciclo anual de evapotranspiración. También conocida como ET_o , ET_m , o real, es esencial para la solución de problemas prácticos en hidrología, agronomía y micro meteorología. En algunos casos no es posible la medición de la evapotranspiración por razones prácticas, por lo que también se proponen estimaciones para su utilización.

Al determinar el baricentro de la cuenca se procede a determinar:

$$ETP_M = \text{Evapotranspiración media mensual, mm/mes}$$

$$ETP_i = \text{Ciclo anual medio de evapotranspiración potencial, mm/mes}$$

5) Balance hídrico mensual en un embalse. Para realizar el balance hídrico se necesitan los datos hidrológicos y climáticos de la cuenca, la entidad encargada de proporcionar los valores en base a los datos obtenidos en las estaciones es el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), y la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del Instituto Nacional de Electrificación (EGEE-INDE).

Las estaciones se encuentran ubicadas en distintas partes del país para la recolección de datos. Para el análisis de la cuenca del Cahabón se utiliza la Estación Cahabón, localizada:

Tabla 4 Ubicación de la estación del INSIVUMEH, en la cuenca del río Cahabón

Estación	Ubicación	Coordenadas geográficas y Latitudes	Tipo Est.	Registro Precipitación Pluvial.	Registro Temperatura	Estación	Propietario
Cobán	Cobán, A.V.	N 15°28'10" W 90°23'34" 1330 msnm	A	1947 - 1952 1970 - 1979 1900 - 2003	1947 - 1952 1970 - 1979 1900 - 2003	Activa	INSIVUMEH

Fuente: (E. Cotto, 2006)

Así como también la utilización de otras estaciones que sirven como influencia en la cuenca del río Cahabón:

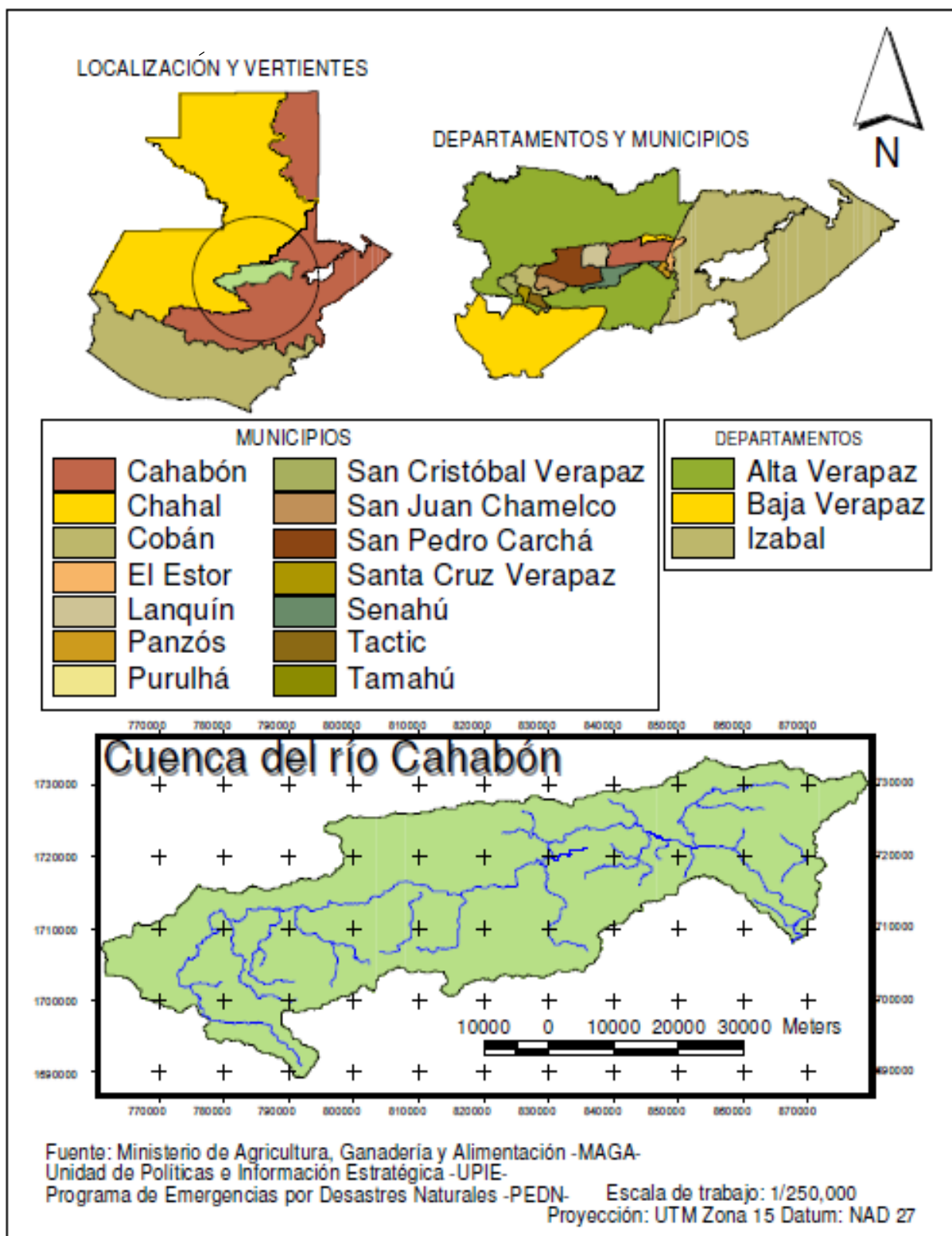
Tabla 5 Estaciones para el estudio de la cuenca del Cahabón

Propiedad	Tipo	Estado	Variable		
			PP	PT	ETP
INSIVUMEH	A = 02	Activa = 02	02	02	02
		Inactiva = 00	--	--	--
	B = 01	Activa = 01	01	01	01
		Inactiva = 00	--	--	--
	C = 14	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 14	14	14	14
	D = 11	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 11	10	01	01
EGEE-INDE	A = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
	B = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
	C = 04	Activa = 02	02	02	02
		Inactiva = 02	02	02	02
	D = 02	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 02	02	--	--
INAB	A = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
	B = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
	C = 02	Activa = 02	02	02	02
		Inactiva = 00	--	--	--
	D = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
PRIVADA	A = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
	B = 00	Activa = 00	--	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
	C = 01	Activa = 01	01	01	01
		Inactiva = 00	--	--	--
	D = 01	Activa = 01	01	--	--
		Inactiva = 00	--	--	--
TOTAL	38	38	37	25	25

Fuente: (E. Cotto, 2006)

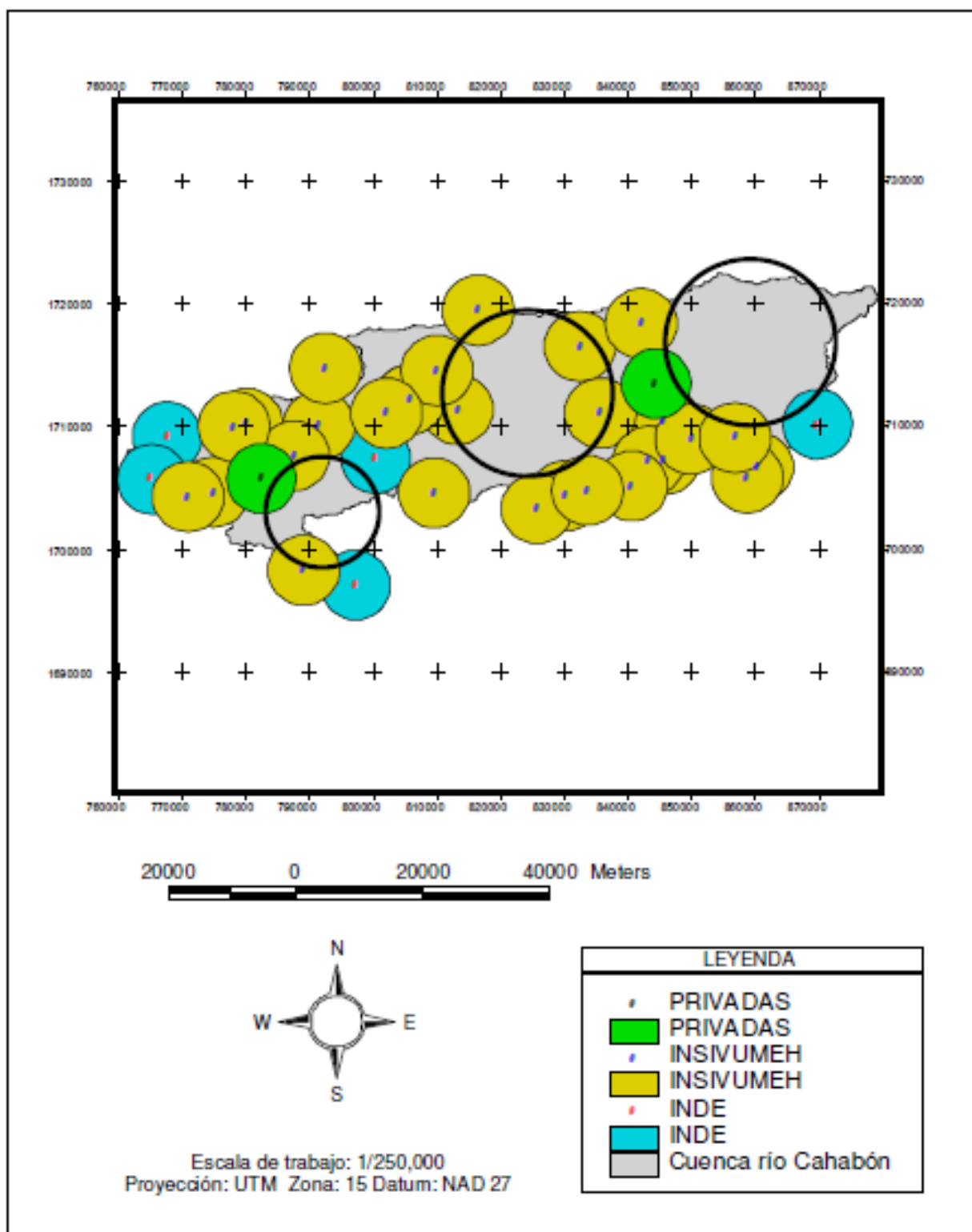
La cuenca del río Cahabón cuenta con un área de 2,630 km² que drenan a la vertiente del Caribe, se ubica en la parte norte de la república de Guatemala, entre las coordenadas geográficas 15°24'24" y 15°26'35" de Latitud Norte y 90°35'17" y 89°33'47" de Longitud Oeste, cuenta con alturas de 50 msnm – 2,645 msnm, se encuentra entre los departamentos de Izabal, Alta Verapaz y Baja Verapaz. Imagen 5 Localización de cuenca Cahabón (E. Cotto. 2006)

Imagen 5 Localización de cuenca del río Cahabón



Fuente: (E. Cotto, 2006)

Imagen 6 Ubicación de estaciones en la cuenca del río Cahabón



Fuente: (E. Cotto, 2006)

6) Tipos de rocas. En esta región se pueden encontrar diferentes tipos de rocas, así como diferentes tipos de suelos y parámetros de utilización. En los tipos de rocas se encuentran:

Tabla 6 Área geológica y porcentaje

UNIDAD GEOLICA	CÓDIGO	ÁREA (Km2)	PORCENTAJE (%)
Carbonifero-Permico	CPsr	43.02	1.75
Jurásico-Cretácico	JKts	18.68	0.76
Cretácico	Ksd	1,491.91	60.85
Cretácico-Terciario	KTs	320.88	13.09
Pérmico	Pc	246.44	10.05
Edad desconocida	π	208.81	12.60
Paleozoico	Pzm	2.59	0.12
Aluviones Cuaternarios	Qa	15.33	0.62
Cuaternario	Qp	4.01	0.16
TOTAL=		2,351.67	100.00

Fuente: (E. Cotto, 2006)

- **CPsr:** Presencia de rocas sedimentarias, caracterizado por el grupo de lutitas, areniscas, conglomerados y filitas.
- **JKts:** Presencia de rocas sedimentarias, formación de Todos Santos y San Ricardo.
- **Ksd:** Rocas sedimentarias, se caracteriza por los carbonatos del Neocomiano – Campanianos.
- **Kts:** Presencia de sedimentos clásticos marinos. Formación de Toledo, Reforma, Cambio y Grupo Verapaz.
- **Pc:** Rocas sedimentarias del periodo pérmico, formación de Chóchal.
- **Pi:** Rocas ígneas y metamórficas, se caracteriza por rocas metamórficas sin dividir.
- **Pzm:** Rocas ígneas y metamórficas, presencia de filitas, esquistos cloritos y granatíferos, Esquistos y Gneisse de cuarzo-mica-feldespato, Mármol Migmatitas.
- **Qa:** Presencia de Rocas sedimentarias, periodo de Aluviones Cuaternarios.
- **Qp:** Rocas ígneas y metamórficas, se caracterizan por rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso.

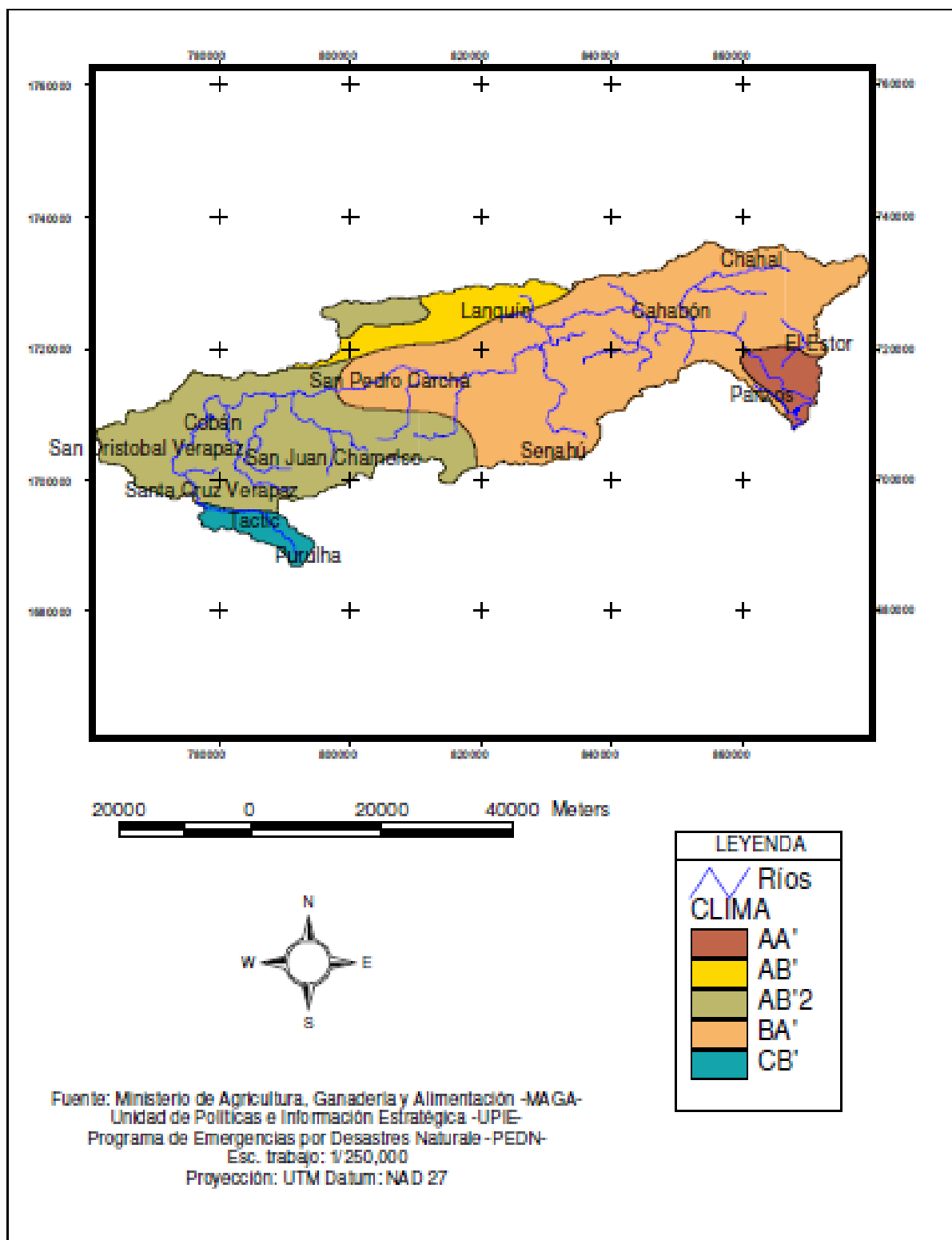
7) Clima. El 93.35% del ambiente de la cuenca es predominantemente bosque muy húmedo subtropical cálido y frío, presentando una alta cantidad de precipitación. Se tiene un rango de entre 1600 a 4000 mm de precipitación, la temperatura mínima promedio se mantiene entre 10 a 20 °C, temperaturas máximas promedio de 26 a 32 °C y a humedad relativa oscila entre el 80 y 90%. La evapotranspiración promedio es de 1200 a 1800 mm. Todos los valores y rangos anteriores se presentan en forma anual. El 34 % de la superficie de la cuenca tiene un clima muy húmedo – templado, el 52% corresponde a clima húmedo – cálido y el 14% restante se distribuye entre los tipos semi seco- semi cálido, húmedo – cálido y muy húmedo – semi cálido.

Tabla 7 Área climática en Guatemala

CÓDIGO DE HUMEDAD	TIPO	CÓDIGO DE TEMPERATURA	TIPO
A	Muy húmedo	A'	Cálido
B	Húmedo	B'	Semi cálido
C	Semi seco	B'2	Templado
CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA POR THORNTWHITE			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Km2)	PORCENTAJE (%)
CB'	Semi seco - Semi cálido	70.63	3.00
AB'2	Muy húmedo - Templado	840.11	34.00
AB'2	Muy húmedo - Semi cálido	169.20	7.00
BA'	Húmedo - cálido	1,283.06	52.00
AA'	Muy húmedo - cálido	88.67	4.00
TOTA		2,451.67	100.00

Fuente: (E. Cotto, 2006)

Imagen 7 Cuenca del río Cahabón



Fuente: (E. Cotto, 2006)

8) Determinación de evapotranspiración. Para la determinación de la evapotranspiración se utiliza el método de Hargreaves, este método estima la ET POT en función de la radiación solar y la temperatura promedio. Basándose en la ecuación:

Ecuación 1 Evapotranspiración

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM, \left(\frac{mm}{mes}\right)$$

Fuente: (E. Cotto. 2006)

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).

TMF = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit.

RSM = Radiación solar incidente mensual.

Ecuación 2 Radiación solar incidente mensual

$$RSM = 0.075 * RMM * S^{\frac{1}{2}}$$

Fuente: (E. Cotto. 2006)

RMM = Radiación Mensual extraterrestre, (mm/mes).

RMM = RS*No. Días del mes.

RS = Radiación solar extraterrestre.

Tabla 8 Brillo solar

LATITUD	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0.00	13.00	15.5	15.70	15.30	14.40	13.90	14.10	14.80	15.30	15.40	15.10	14.80
2.00	14.70	153	15.60	15.30	14.60	14.20	14.30	14.90	15.30	15.30	14.80	14.40	
4.00	14.30	15	15.50	15.50	14.90	14.40	14.60	15.10	15.30	15.10	14.50	14.10	
6.00	13.90	14.8	15.40	15.40	15.10	14.70	14.90	15.20	15.30	15.00	14.20	13.70	
8.00	13.60	14.5	15.30	15.60	15.20	15.00	15.10	15.40	15.30	14.80	13.90	13.30	
10.00	13.20	14.2	15.30	15.70	15.50	15.30	15.30	15.60	15.30	14.70	13.90	12.90	
12.00	12.80	13.9	15.10	15.00	15.70	15.50	15.50	15.70	15.20	14.40	13.30	12.50	
14.00	12.40	13.6	14.90	16.00	15.00	15.70	15.70	15.70	15.10	14.10	12.80	12.00	
16.00	12.00	13.30	14.70	16.00	16.00	15.90	15.90	15.80	15.00	13.90	12.40	11.60	
18.00	11.60	13.00	14.60	16.10	16.10	16.10	16.10	15.90	14.90	13.60	12.00	11.10	
20.00	11.20	12.70	14.40	16.30	16.30	16.70	16.30	15.90	14.80	13.30	11.60	10.70	

Fuente: (E. Cotto, 2006)

S = Brillo solar mensual en %.

$S = K_s * (100 - HR)^{1/2}$ (con datos de humedad relativa).

S = Duración máxima media diaria de horas de brillo solar (Cuadro 2).

K_s = Constancia igual a 12.5.

HR = Humedad Relativa media en %.

Nota: Si no se dispone de información suficiente el brillo solar se puede estimar utilizando la siguiente tabla:

Tabla 9 Estimaciones para la utilización del brillo solar

LATITUDA	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0.00	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10
5.00	11.80	11.90	12.00	12.20	12.30	12.40	12.30	12.30	12.30	12.10	12.00	11.90	11.80
10.00	11.60	11.80	12.00	12.30	12.60	12.70	12.60	12.40	12.10	11.80	11.60	11.60	11.50
15.00	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.40	11.20
20.00	11.00	11.50	12.00	12.60	13.10	13.30	13.20	12.80	12.30	11.70	11.20	11.20	10.90

Fuente: (E. Cotto, 2006)

9) Precipitación pluvial. Se tiene un rango de entre 2200 a 3800 mm de precipitación acumulada al año. La precipitación disminuye conforme se desciende al valle de Cobán desde la región Oeste. En el centro de la cuenca se presentan precipitaciones desde 2400 hasta 3200 mm/año con alturas de 2000 a 1500 msnm. En la región Este de la cuenca se tienen precipitaciones pluviales de 3200 a 3800 mm/año en una topografía denominada por alturas de 500 msnm. Se atribuye que el alto valor de precipitación registrada se debe a la cercanía del área con el lago de Izabal.

Tabla 10 Datos de precipitación para la cuenca del río Cahabón

Municipios	Precipitación Pluvial (mm/año)
Purulhá, Baja Verapaz	2,200
Tamahú, Alta Verapaz	2,500
Tactic, Alta Verapaz	2,300
Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	2,200
San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz	2,300
Cobán, Alta Verapaz	2,500
San Juan Chamelco, Alta Verapaz	2,700
San Pedro Carchá, Alta Verapaz	2,800
Lanquín, Alta Verapaz	3,000
Santa María Cahabón, Alta Verapaz	2,600
Senahú, Alta Verapaz	3,100
Chahal, Alta Verapaz	2,700
Panzós, Alta Verapaz	3,500
El Estor, Izabal	3,400

Fuente: (E. Cotto, 2006)

a) Pluviómetro. El modelo de pluviómetro consiste en una boca receptora que tiene un área de 200 cm², el aparato está formado por dos partes un receptor en la parte superior con fondo en forma de embudo que ocupa aproximadamente $\frac{1}{2}$ del cilindro, que conduce el agua hacia el colector que se encuentra en la parte inferior. Para determinar la cantidad de agua almacenada se utiliza una probeta especialmente graduada obteniendo en milímetros la cantidad de agua almacenada.

b) Determinación de precipitación de una cuenca. Para determinar la lámina de agua promedio que cae sobre una cuenca se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Promedio Aritmético
- Método de Polígonos de Thiessen
- Método de Curvas de Isoyetas
- Método de Red de Puntos

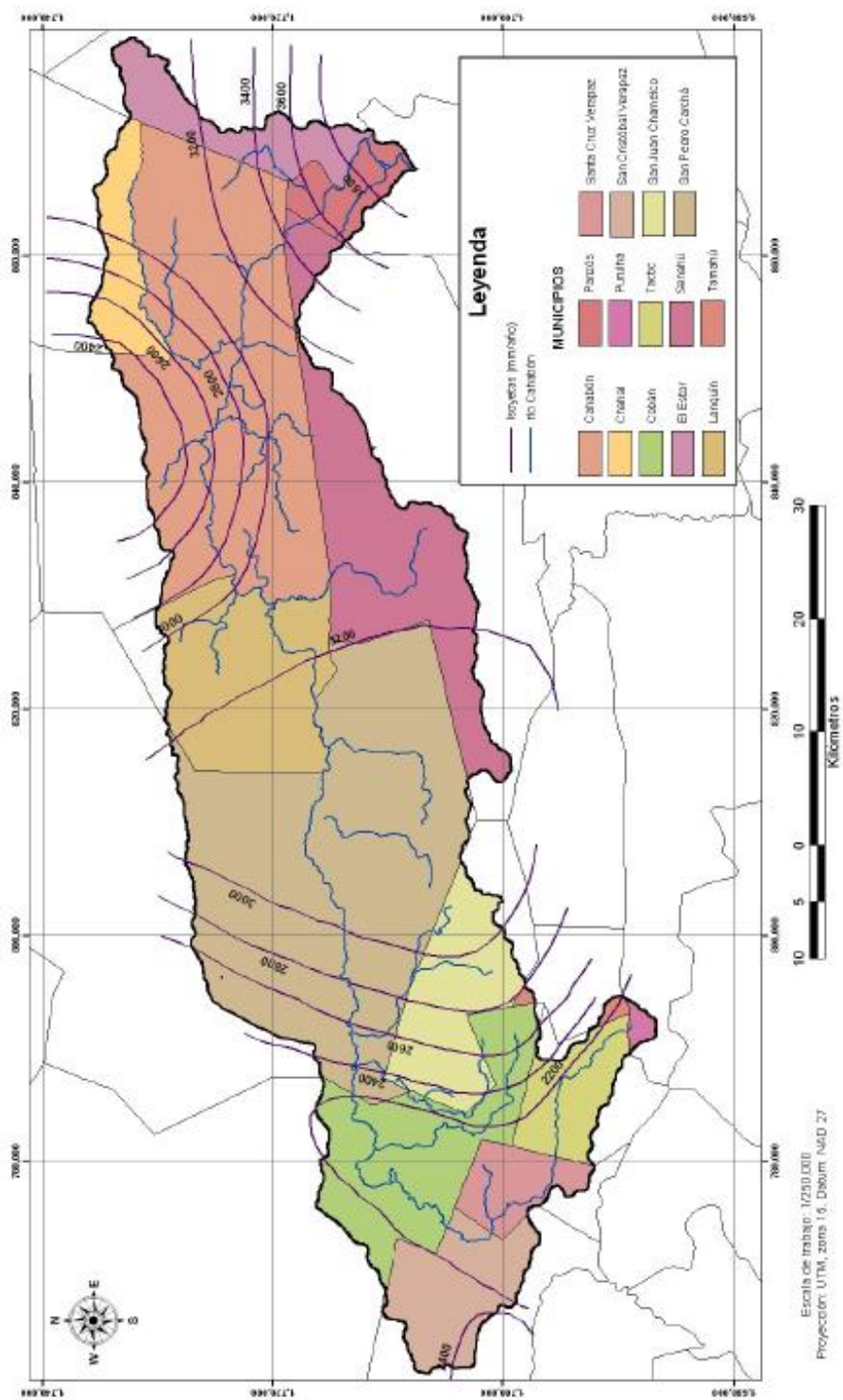
Por lo cual se determinará la precipitación por el método de Isoyetas, las cuales se realizan por medio de alturas, que tiene una determinada área, la cual detecta el pluviómetro más cercano, obteniendo al final las columnas de agua en una determinada área, mejor conocida como precipitación por el método de isoyetas, Este se puede observar en la Imagen No. 8.

Tabla 11 Datos para el método de isoyetas

No.	Isoyetas		Área parcial (km ²)	Precip. pluvial media (mm/año)	Área parcial por PPM
	De	A			
1	2,600.00	2,400.00	5.98	2,500.00	14,953.50
2	2,400.00	2,200.00	103.36	2,300.00	237,737.66
3	2,400.00	2,200.00	289.15	2,300.00	665,053.28
4	2,200.00	2,400.00	63.61	2,300.00	146,313.58
5	2,400.00	2,600.00	106.96	2,500.00	267,393.00
6	2,600.00	2,800.00	104.60	2,700.00	282,411.90
7	2,800.00	3,000.00	141.02	2,900.00	408,970.18
8	3,000.00	3,200.00	586.40	3,100.00	1,817,825.12
9	2,200.00	2,400.00	43.31	2,300.00	99,601.50
10	2,400.00	2,600.00	62.96	2,500.00	157,390.25
11	2,600.00	2,800.00	92.30	2,700.00	249,202.71
12	2,800.00	3,000.00	107.30	2,900.00	311,182.18
13	3,000.00	3,200.00	598.10	3,100.00	1,854,098.84
14	3,200.00	3,400.00	79.76	3,300.00	263,220.87
15	3,400.00	3,600.00	53.17	3,500.00	186,081.00
16	3,800.00	4,000.00	25.48	3,900.00	99,365.37
17	3,600.00	3,800.00	38.21	3,700.00	141,370.34
TOTAL			2,501.66		7,202,171.28
PPM=	2878.95366	mm/año			

Fuente: (E. Cotto, 2006)

Imagen 8 Mapa de isoyetas del río Cahabón



Fuente: (E. Cotto, 2006)

Obteniendo los cálculos de la evapotranspiración potencial:

Tabla 12 Evapotranspiración potencial

Municipios	ETP media (mm/año)
Purulhá, Baja Verapaz	600
Tamahú, Alta Verapaz	600
Tactic, Alta Verapaz	630
Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	670
San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz	660
Cobán, Alta Verapaz	640
San Juan Chamelco, Alta Verapaz	640
San Pedro Carchá, Alta Verapaz	680
Lanquín, Alta Verapaz	740
Santa María Cahabón, Alta Verapaz	760
Senahú, Alta Verapaz	700
Chahal, Alta Verapaz	790
Panzós, Alta Verapaz	790
El Estor, Izabal	790

Fuente: (E. Cotto, 2006)

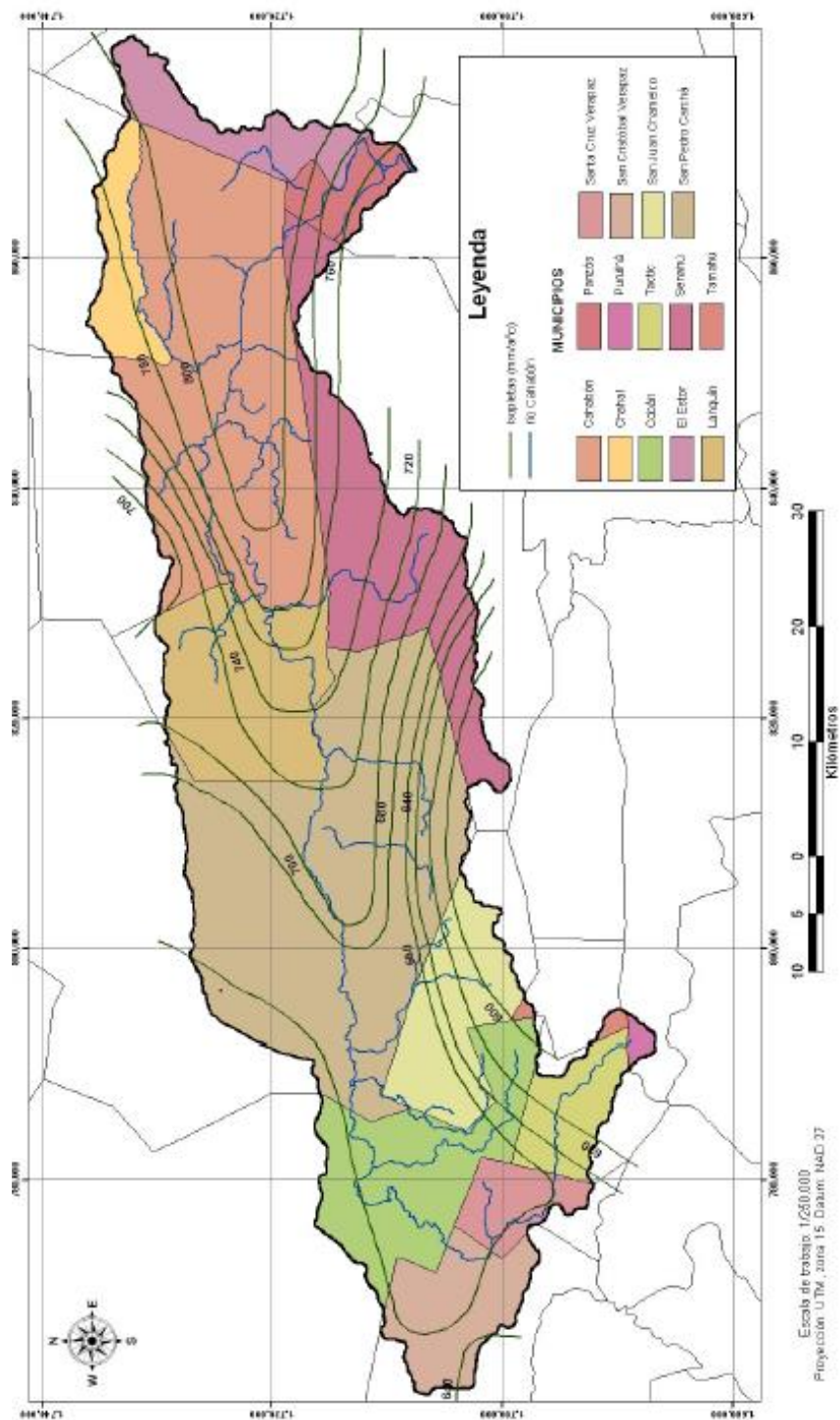
Tabla 13 Evapotranspiración potencial media

No.	Isopletas		Área parcial (km ²)	Precip. pluvial media (mm/año)	Área parcial por PPM
	De	A			
1	640.00	620.00	89.00	630.00	56,071.90
2	580.00	600.00	73.83	590.00	43,561.52
3	600.00	620.00	122.70	610.00	74,845.18
4	660.00	680.00	582.99	670.00	390,606.05
5	680.00	700.00	105.25	690.00	72,622.09
6	680.00	700.00	10.05	690.00	6,936.02
7	700.00	720.00	225.11	710.00	159,828.40
8	720.00	740.00	146.32	730.00	106,813.87
9	740.00	760.00	137.16	750.00	102,873.47
10	740.00	760.00	16.37	750.00	12,280.16
11	760.00	780.00	28.14	770.00	21,667.63
12	760.00	780.00	134.20	770.00	103,335.17
13	780.00	800.00	239.54	790.00	189,233.76
14	800.00	820.00	350.17	810.00	283,639.98
15	620.00	640.00	25.22	630.00	15,885.82
16	640.00	660.00	235.60	650.00	153,139.29
TOTAL			2,521.66		1,793,340.32
ETPM	711.173716	mm/año			

Fuente: (E. Cotto, 2006)

Determinando el mapa de isopletras:

Imagen 9 Mapa de isopletras



Fuente: (E. Cotto, 2006)

Con base en los datos previamente cálculos se compraron con un estudio realizado por el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (CIV), y el INSIVUMEH, obteniendo lo siguiente:

Tabla 14 Reporte del CIV e INSIVUMEH

ESTACIÓN	PM	ETRM	Área km2
RÍO CAHABÓN	2662.5	1230.1	2459

Fuente: (E. Cotto, 2006)

Tabla 15 Cálculos con la información encontrada

ESTACIÓN	PM	ETRM	Área km2
RÍO CAHABÓN	2878.95366 2	711.17371 6	2,501.6 6

Fuente: (E. Cotto, 2006)

Tabla 16 Porcentaje de diferencia entre datos encontrados

ESTACIÓN	PM	ETRM	Área km2
RÍO CAHABÓN	8.12971501 7	42.185699 1	1.7349654 3

Fuente: (E. Cotto, 2006)

c) Geometría del vaso del embalse. El relieve topográfico debe realizarse hasta la corona de la presa, trazando una curva de nivel cada metro y determinando la superficie para cada curva de nivel (A_i)

Después obtener los coeficientes de las relaciones volumen-altura y área-altura, que se toman entre los niveles de la toma y del vertedero.

Para lo que se calcula una cota especial que se denomina H^* utilizando las áreas medidas A_0 y A_i , (A_0 área inicial, A_i área final) y las cotas H_i .

Nota: No será necesariamente la cota del fondo del vaso donde el área es cero.

Ecuación 3 Altura promedio en función del área

$$H^* = \text{promedio} \left[\left(\sqrt{\frac{A_i}{A_0}} H_0 - H_i \right) / \left(\sqrt{\frac{A_i}{A_0}} - 1 \right) \right]_{i=1}^{i=n}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Con las alturas calculadas con las diferencias de $H_i - H^*$ y sus áreas se obtiene la función A_{emb} , que se ajusta más a la zona del vaso de interés donde se calculan los coeficientes α y β que se obtienen de los mínimos cuadrados de las funciones logarítmicas:

Tabla 17 Altura en función de las cotas topográficas

Cota	m	H0	H1	H2	H3	...	Hn
Superficies	ha	A0	A1	A2	A3	...	An
Atura	m	H0-H*	H1-H*	H2-H*	H3-H*	...	Hn-H*
Lg(Ai)		Lg(A0)	Lg(A1)	Lg(A2)	Lg(A3)	...	Lg(An)
Lg(Hi-H*)		Lg(H0-H*)	Lg(H1-H*)	Lg(H2-H*)	Lg(H3-H*)	...	Lg(Hn-H*)

Fuente: (R. Terra, 2011)

Determinando área embalsada

Ecuación 4 Determinación del área embalsada

$$A_{emb} = \alpha(H_i - H^*)^\beta$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Determinando el volumen embalsado:

Ecuación 5 Determinación de volumen embalsado

$$V_{emb\ i} = \frac{0.01\alpha}{(\beta + 1)(H_0 - H^*)^{\beta+1}}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Se define el volumen del embalse como el volumen de almacenamiento (V_{max}), el cual se termina definiendo como el volumen entre H_t y H_v , donde H_t es la cota ubicación de la toma de extracción de agua, y H_v la cota de comienzo de vertedero.

d) Evaporación mensual en el estanque. La evaporación es un factor que se multiplica por el valor del tanque, ya que es una demanda climática con la que cuenta el estanque, definida por la ecuación:

Ecuación 6 Evaporación en un embalse

$$E_{vi} = 0.7E_{ti}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

E_{vi} = Evaporación mensual en el embalse, mm

E_{ti} = Evaporación mensual en embalse más cercano

e) Aporte mensual de agua al embalse

V_{esci} = Escurrimiento de la cuenca, Hm^3

P_i = Precipitación directa del embalse, mm

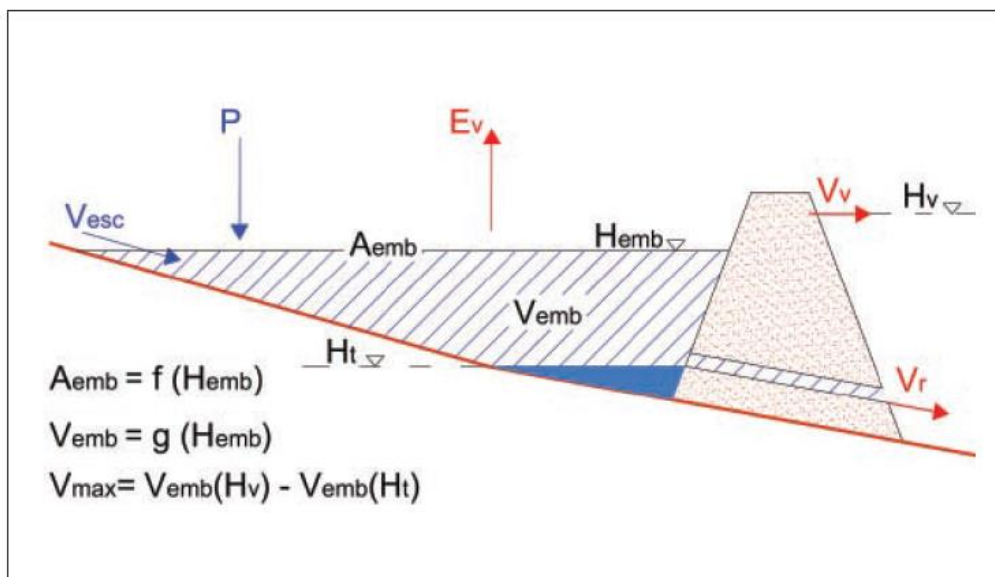
Para determinar el Balance hídrico con la ecuación:

Ecuación 7 Determinación de volumen y alturas para embalse

$$V_{esc} + (P - EV)A_{emb} - V_r - V_v = \Delta V_{emb}$$

Fuente: (R. Terra et al. 2011)

Imagen 10 Diagrama de cotas de nivel y volúmenes de embalse



Fuente: (R. Terra, 2011)

10) Elección de turbina. Los caudales proporcionan información sobre el volumen de agua existente, así como el volumen de turbina y el vertido por servidumbre.

Ecuación 8 Caudal mínimo técnico

$$Q_{mt} = KQ_e$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

Q_{mt} = Caudal mínimo técnico

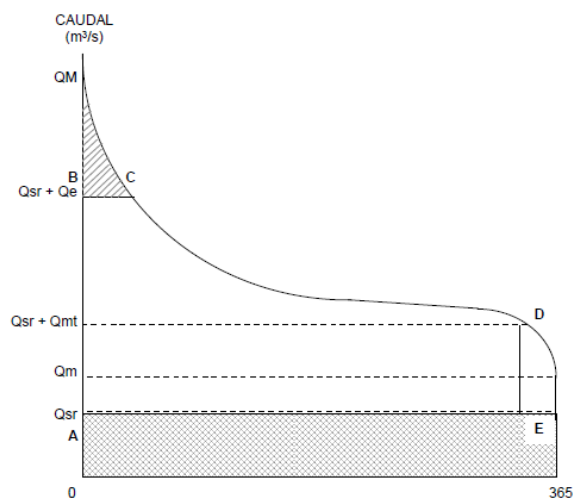
Q_e = Caudal de equipamiento

Los valores aproximados de K son:

- Turbinas PELTON: $k = 0.10$
- Turbinas KAPLAN: $k = 0.25$
- Turbinas SEMIKAPLAN: $k = 0.40$
- Turbinas FRANCIS: $k = 0.40$

Para la selección de caudal se utiliza la siguiente tabla en la cual aparece caudal máximo Q_M , caudal mínimo Q_m , caudal de servidumbre Q_{sr} , caudal mínimo técnico Q_{mt} .

Imagen 11 Gráfica de caudal



Fuente: (R. Terra, 2011)

11) Elección de la potencia. La potencia que se instala depende del caudal a turbinar y el salto que existe en cada instante. Se rige por la siguiente ecuación.

Ecuación 9 Potencia a instalar

$$P = 9.81 Q H_n e$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

P = Potencia instantánea, kW

Q = Caudal de turbina, m³/s

H_n = Salto neto, m

e = Factor de eficiencia de la central, es el producto del rendimiento en la producción de energía.

Ecuación 10 Factor de eficiencia para la turbina

$$e = R_t R_g R_s$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

R_t = Rendimiento de turbina

R_g = Rendimiento de generador

R_s = Rendimiento de transformador de salida

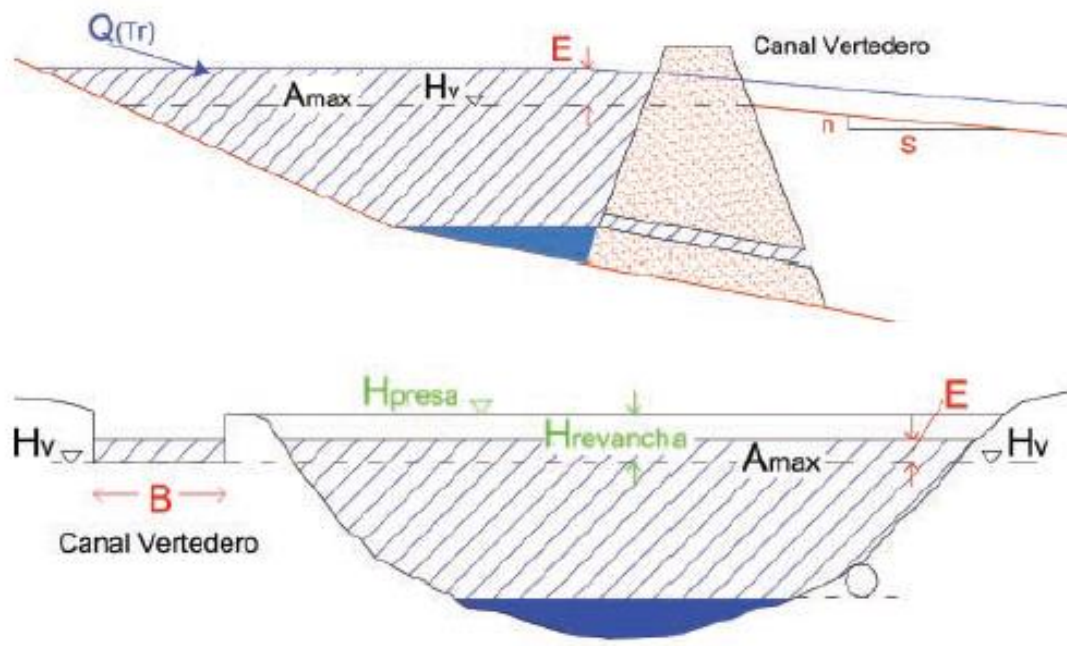
El rendimiento de producción de energía depende de las especificaciones del fabricante, pero se puede tomar un factor uniforme de eficiencia de 0.85. Después de conocer la potencia instantánea se calcula la producción de la central como producto de la potencia en cada momento por las horas de funcionamiento.

12) Aliviadero. El cálculo del vertedero a partir del tránsito en el embalse del periodo de retorno con el cual se proponen dos tipos de periodos de retornos:

- Para presas menores a 5 m de altura, Tr = 50 años
- Para pequeñas presas, Tr = 100 años

El ancho del vertedero (B) depende del valor asumido de crecida máxima (E), que se toma por encima de la cota de inicio.

Imagen 12 Esquema de aliviadero y relaciones, para su diseño referencia



Fuente: (R. Terra, 2011)

a) Tiempo de concentración. Después delimitar el cauce principal, se determina si el escurrimiento que ocurre es concentrado o no concentrado dependiendo del comportamiento del flujo, para lo cual se identifican las siguientes ecuaciones:

b) Escurrimiento concentrado en el cauce principal. Método de Kirpich: Utilizado para determinar el tiempo de concentración en una cuenca, es cuando la primera cantidad de agua de lluvia que ingresa a la cuenca llega al sitio de drenaje luego de que el suelo se ha saturado, de las ecuaciones que existen para la calcular el tiempo de retorno Kirpich desarrollo un método con mayor aceptación en el área de ingeniería, aguas y suelos, obteniendo:

Ecuación 11 Tiempo de concentración según Kirpich

$$t_c = 0.4_c L^{0.77} S^{-0.385}$$

Fuente: (R. Terra et al. 2011)

Donde:

Tc= Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (Km)

ΔH = Diferencia de cotas de altura del cauce principal (m)

S = $\Delta H/L/10$, pendiente del cauce principal (%)

Método de velocidades del NRCS: Se utiliza para calcular el tiempo de concentración, el cual es el tiempo que dura el escurrimiento desde el punto hidráulico más distante de la cuenca, a un punto de medición de flujo dentro de la cuenca. Obteniendo:

Ecuación 12 Tiempo de concentración según NRCS

$$t_c = 0.91 \Sigma L_i K_i S_i^{-0.5}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

Li = Longitud del tramo de la línea de corriente (km)

Ki = Coeficiente de cobertura del suelo (adim)

Si = $0,1 * \Delta H/L_i$, pendiente del tramo (%)

c) Precipitación máxima. Para determinar la precipitación se utilizan las curvas IDF, donde se tiene:

p = Coordenadas del punto de cierre de la cuenca

Tr = Periodo de retorno del evento extraordinario

d = Duración del intervalo de lluvia

Ac = Área de la cuenca

d) Curvas IDF (Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia). Después de calcular para un cierto periodo de tiempo y una intensidad se obtienen los factores de corrección. Que representan la intensidad de lluvia promedio en función de la duración.

Las ecuaciones que permiten describir las curvas IDF son las siguientes:

Ecuación 13 Intensidad para cálculo de curvas IDF

$$I = \frac{CN^x}{(a + t)^n}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Ecuación 14 Intensidad para cálculo de curvas IDF

$$I = \frac{M}{t + B}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Ecuación 15 Intensidad para cálculo de curvas IDF

$$I = \frac{M}{(t^n + B)}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

I = Intensidad promedio, mm/h

N = Periodo de retorno de lluvia, años

t = Duración de la lluvia, min

a, M, C, B, x, n = Constantes para cada periodo de retorno y para cada región

Al determinar las curvas IDF se procede a determinar los coeficientes de corrección que se deben aplicar a la precipitación, los cuales son en función de su periodo de retorno, tiempo de concentración, y área de la cuenca, obteniendo un valor corregido y aproximadamente real de la precipitación que afecta una determinada área.

Para determinar el procedimiento a utilizar se determina el periodo de retorno, si este es menor a 20 min. Se utiliza el método de Kirpich y si este es mayor se utiliza el método NRCS.

Coeficientes de corrección:

Ecuación 16 Coeficiente de corrección en función de Tr

$$CT_{(tr)} = 0.5786 - 0.4312 \log \left[\text{Ln} \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

CT = Coeficiente de corrección en base al tiempo de retorno, adm

Tr = Tiempo de retorno, años

Ecuación 17 Coeficiente de corrección Cd, para "d" menor a 3 horas

$$CD_{(d)} = \frac{0.6208 d}{(d + 0.0137)^{0.569}}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

CD = Coeficiente de corrección en base al periodo de concentración, adm.

d = tc = Tiempo de concentración. horas

Ecuación 18 Coeficiente de corrección Cd, para "d" mayor a 3 horas

$$CD_{(d)} = \frac{1.028 d}{(d + 0.0137)^{0.8083}}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

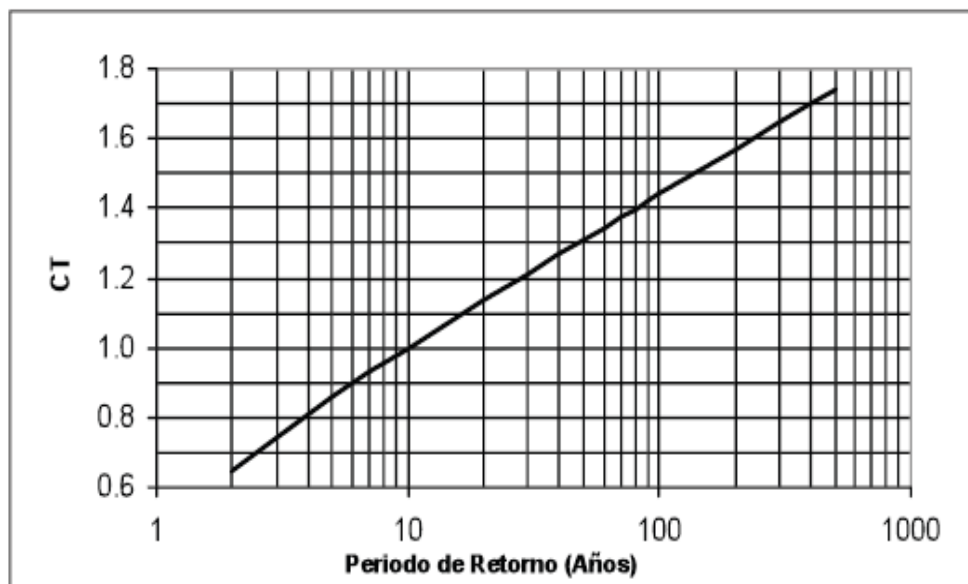
Donde:

CD = Coeficiente de corrección en base al tiempo de concentración, adm

d = tc = Tiempo de concentración, años.

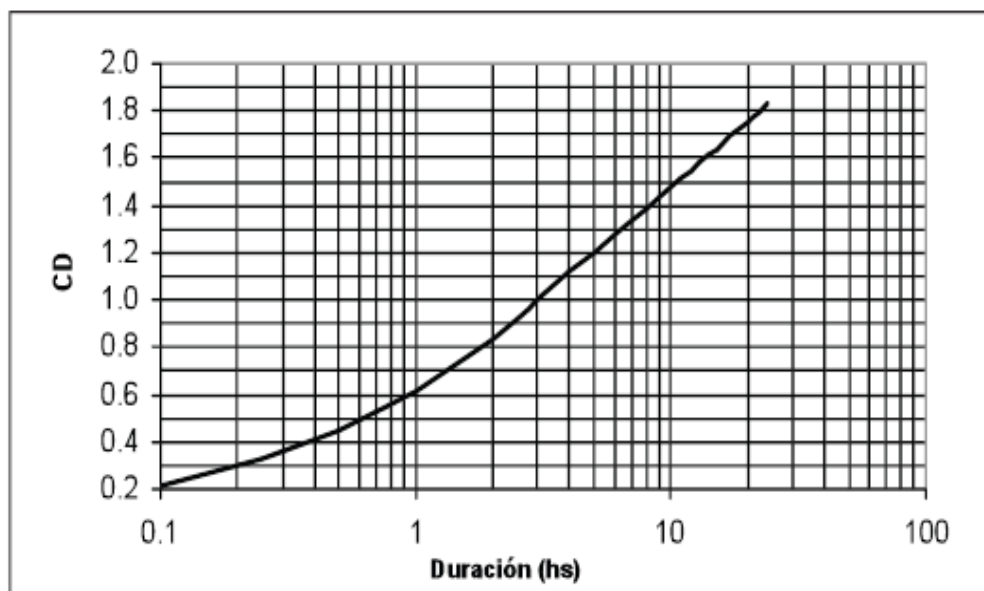
Aproximación de los coeficientes según las siguientes tablas:

Tabla 18 Aproximación de coeficiente CT



Fuente: (R. Terra, 2011)

Tabla 19 Aproximación de coeficiente CD



Fuente: (R. Terra, 2011)

Ecuación 19 Coeficiente de corrección CA, en función de tiempo de concentración y área

$$CA_{(Ac,d)} = 1 - 0.3549 d^{-0.4272} (1 - e^{-0.00015Ac})$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

CA = Coeficiente de corrección en base a tiempo de concentración y área, adm

d = tc = Tiempo de concentración, horas

Ac = Área de la cuenca, hm³

Determinación de precipitación con base en los coeficientes de corrección.

Ecuación 20 Precipitación corregida

$$P_{(d,Tr,p)} = P C t_{(Tr)} C D_{(d)} C A_{(Ac,d)}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Se determina una precipitación con un tiempo de concentración diferente en el cual se utiliza 12tc/7 para los coeficientes y precipitación.

Ecuación 21 Precipitación para (12tc/7)

$$P_{(12d/7,Tr,p)} = P C t_{(Tr)} C D_{(d)} C A_{(Ac,d)}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Caudal Máximo y Escorrentía

Es necesario determinar el grupo hidrológico de los suelos, los cuales por medio de mapas se pueden determinar tablas para obtener el número de curva, el cual se basa en la ecuación:

Ecuación 22 Retención máxima del suelo

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right)$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

S = Retención máxima del suelo, mm

NC = Número de curva

Ecuación 23 Retención del suelo al inicio del escurrimiento

$$I_a = 0.2S$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

la = Retención del suelo al inicio del escurrimiento, mm

S = Tetención máxima del suelo, mm

Determinando así el volumen de escorrentía dado por:

Ecuación 24 Volumen de escorrentía

$$V_{esc} = \frac{\left(P_{\left(\frac{12tc}{7}, Tr, P\right)} - I_a\right)^2}{\left(P_{\left(\frac{12tc}{7}, Tr, P\right)} + 4I_a\right)} A_c 10^{-5}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

Vesc = Volumen de escorrentía, Hm3

P = Precipitación en función de 12tc/7, mm

la = Retención del suelo al inicio del escurrimiento, mm

Ac = Área de la cuenta, hm

Se determina el caudal máximo específico

Ecuación 25 caudal máximo específico

$$q_{max} = 0.786 \frac{\left(1.223 - \frac{I_a}{P}\right)^2}{1.223 + 4\frac{I_a}{P}}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

qmax = Caudal máximo específico, m3/s/mm/Ha

la = Retención del suelo al inicio del escurrimiento, mm

P = Precipitación en función de coeficientes de corrección.

Y calculando el caudal de la avenida extraordinaria

Ecuación 26 Caudal en la avenida extraordinaria

$$Q_{max} = 0.310 \frac{q_{max}}{t_c} P_{(t_c, T_r, P)} A_c 10^{-2}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

qmax = Caudal máximo específico, m³/s/mm/Ha

t_c = Tiempo de concentración, hr

A_c = Área de la cuenca

Ancho de vertedero

Para determinar el ancho del vertedero se realiza una tabla de cálculo en la cual se especifican las unidades y ecuaciones esenciales para realizar su cálculo. Utilizando

Ecuación 27 Volumen de vertido

$$V_L = V(Hv + E) - V(Hv)$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

V_L = Volumen de vertido, Hm³

H_v = Cota de rebase, m

E = Lamina de vertido, adm

Ecuación 28 Caudal máximo de vertido

$$Qv_{max} = \left(1 - \frac{V_L}{V_{esc}}\right) Q_{max}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

Q_{vmax} = Caudal máximo de vertido, m³/s

V_L = Volumen de vertido, Hm³

V_{esc} = Volumen de escorrentía, Hm³

Q_{max} = Caudal de avenida extraordinaria, m³/s

Constante K, la cual se define en función de la pendiente, Manning y la lámina de vertido.

Ecuación 29 Constante K

$$K = (S/n^2)^{1/2} (2/3E)^{1/6} / g^{1/2}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

S = Pendiente

n = Rugosidad de Manning

E = Lamina de vertido

g = Gravedad, 9.81 m/s²

Ecuación 30 Caudal específico por unidad de ancho de vertedero

$$q = K(3/(2 + K^2))^{5/3} (2/3E)^{3/2} g^{1/2}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

K = Constante, adm

E = Lamina de vertido, adm

g = Gravedad, m/s²

Determinando la velocidad de vertido con:

Ecuación 31 Velocidad de vertido

$$v = K(3/(2 + K^2))^{2/3} (2/3gE)^{1/2}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Para obtener el ancho del vertedero el cual está dado por la ecuación:

Ecuación 32 Ancho de vertedero

$$B = \frac{Qv_{max}}{q}$$

Fuente: (R. Terra, 2011)

Donde:

B = Ancho de vertedero, m

Qvmax = Caudal máximo de vertido, m³/s

q = Caudal específico por unidad de ancho

De los datos obtenidos se realiza un cuadro de cálculo en el que se varía el valor de E,

Tabla 20 Tabla de cálculo para vertedero

E	VL	Qvmax	k	q	v	B
m	Hm ³	m ³ /s	adm	m ³ /s/m	m/s	m
0.40						
0.44						
0.45						
0.50						

Fuente: (R. Terra, 2011)

Tabla 21 Verificación de dimensionamiento

DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS			
ESTACIÓN		CUENCA	
NOMBRE DE ESTACIÓN		ÁREA	km ²
UBICACIÓN DE ESTACIÓN		PERIMETRO	km
TIPO DE ESTACIÓN		LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL	km
REGISTROS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL		Kc	
		Kf	
		PRECIPITACIÓN	mm
		ETRM	
SUELO			SÍ NO
Tipo de suelo			
EVAPOTRANSPIRACIÓN			SÍ NO
Datos de evapotranspiración en mm/mes			
MODELO DE ESCURRIMIENTO DE TEMEZ			SÍ NO
Capacidad de almacenamiento en el suelo			
Precipitación mínima para que exista escurrimiento			
Infiltración máxima			
GEOMETRIA DEL EMBALSE			SÍ NO
Área y volumen del embalse			
Cota de toma			
Cota de vertedero			
Volumen máximo			
Volumen mensual de demanda			
DIMENSIONAMIENTO DEL ALIVIADERO			SÍ NO
Longitud del cauce principal			
Diferencia entre cotas			
Tiempos de concentración según Kirpich			
METODO NRCS			
Precipitación máxima			
Coeficiente de corrección Tc			
CAUDAL MAXIMO Y ESCORRENTIA			SÍ NO
Máxima agua en el suelo			
Retención de agua en el suelo			
Volumen de escorrentía			
Caudal máximo específico			
Volumen laminado			
Caudal específico por unidad de ancho de vertedero			
Velocidad de vertedero			
COTA DE CORONACIÓN			SÍ NO
Cota de coronación			

Fuente: Elaboración propia

D. VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO

1. Verificación de estabilidad. Para la determinación de estabilidad en una presa se divide la presa en secciones y la sección escogida en figuras geométricas conocidas para su análisis. Tomando en cuenta las especificaciones del concreto y del agua donde se utilizará:

$$S=2.4$$

$$Y_c=150 \text{ lb/ft}^3$$

$$Y_a=23.52 \text{ KN/m}^3$$

$$T= 15^\circ\text{C}$$

Al dividir las secciones se procesa a analizar las propiedades estáticas de cada una, en la cual se calcula el volumen y peso en función de cada figura conocida y obteniendo el peso total donde se utiliza la ecuación

Ecuación 33 Calculo de peso para la presa D. Cedeño

$$w = V * Y_c$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

W = Peso, lb

V = Volumen, ft³

Y_c = Peso específico del concreto, lb/ft³

Después de calcular el peso total de la estructura a analizar se determina la excentricidad donde se aplicará el peso.

Ecuación 34 Excentricidad respecto al centroide D. Cedeño

$$e = x - \frac{L}{2}$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

e = Excentricidad, ft

L/2 = Aplicación al centro, ft

x = Centroide, ft

El momento se genera al centro por lo que se utiliza excentricidad y el peso total de la sección para determinar el momento en la estructura:

Ecuación 35 Momento que actúa en la estructura D. Cedeño

$$M = w * e$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

M = Momento, lb*ft

w = Peso total de la estructura, lb

e = Excentricidad, ft

Utilizando la mecánica de cuerpos deformables se determinan los esfuerzos dentro de la sección utilizando la ecuación.

Ecuación 36 Esfuerzo, positivo y negativo D. Cedeño

$$\sigma = \frac{w}{A} \pm \frac{My}{I}$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

σ = Esfuerzo, PSI

w = Peso total, lb

M = Momento, lb*ft

A = Área, ft²

Y = Aplicación al centro. Ft

I = Inercia respecto a la figura analizada, ft⁴

Como se tiene una relación de tolerancia se determina para las dos partes, positivo y negativo, si los datos obtenidos en el análisis son positivos la estructura está sometida a compresión, si alguno de los datos se obtiene negativo significa que alguno está en tensión lo cual nos produce grietas y el área efectiva para la transmisión de fuerzas cortantes cambia.

Dependiendo cuál de las dos fuerzas calculadas sea la mayor se determina donde se está aplicando la fuerza.

Luego se determina donde se están aplicando los efectos máximos en la cual se determina una σ' , donde se determina en PSI, con base en la relación de ángulos utilizando la ecuación:

Ecuación 37 Efectos Máximos D. Cedeño

$$\sigma' = \frac{\sigma}{(\cos \beta)^2}$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Luego se procede a realizar el análisis del embalse lleno, donde se espera que los efectos máximos se inviertan en sus puntos de aplicación. Por medio de estática se determina el valor de la fuerza aplicada en eje horizontal, así como en el eje vertical, utilizando el peso específico del agua, la cual realizar la fuerza sobre la estructura.

Ecuación 38 Fuerza Horizontal D. Cedeño

$$Fh = \gamma_a * H * Ap$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

Fh = Fuerza horizontal, lb

γ_a = Peso específico del agua, lb/ft³

H = Altura, ft

Ap = Área de aplicación, ft²

Ecuación 39 Fuerza Vertical D. Cedeño

$$Fv = \gamma_a * H * Ap$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

Fh = Fuerza horizontal, lb

γ_a = Peso específico del agua, lb/ft³

H = Altura de aplicación al centro, ft

Ap = Área de aplicación, ft²

El peso del agua genera una fuerza para arriba debido a la filtración de agua que hay en el suelo por lo que la fuerza boyante se toma en cuenta para la sumatorio de fuerzas, determinada por la ecuación:

Ecuación 40 Fuerza Boyante D. Cedeño

$$Fb = \gamma_a * V$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Donde:

Fb = Fuerza boyante, lb

γ_a = Peso específico del agua, lb/ft³

V = Volumen de la sección

Se prosigue a realizar las equivalencias de las fuerzas para determinar el momento y su punto de aplicación. Donde se determina:

Ecuación 41 Equivalencia para la reacción horizontal D. Cedeño

$$Rh = Fh$$

$$Rv = Fv + W - Fb$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Definiendo el momento de Enderezamiento y Volcamiento despejando de la sumatoria de fuerzas y obteniendo.

Momento por enderezamiento:

Ecuación 42 Momento D. Cedeño

$$M_E = w * e + Fv * \left(L \frac{2}{3}\right)$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Momento por volcamiento:

Ecuación 43 Momento por volcamiento D. Cedeño

$$M_V = Fh * \frac{h}{3} + Fb * \left(L \frac{2}{3}\right)$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Determinando el Mp:

Ecuación 44 Determinación de Mp D. Cedeño

$$M_p = M_E - M_V$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Se determinan los factores de seguridad lo cuales deben de estar dentro del rango de 1.5 y 2.0, si el factor de seguridad sobrepasa el 2.0 se toma como correcto, pero se debe tomar en cuenta que un factor de seguridad muy alto puede encarecer la estructura.

Ecuación 45 Factor de seguridad D. Cedeño

$$F_s = \frac{M_E}{M_V}$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/01)

Ecuación 46 Rango para el factor de seguridad D. Cedeño

$$1.5 < F_s < 2.0$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/03)

Se determina el deslizamiento de la presa, para lo que se determina que el coeficiente de fricción, μ_s debe de ser igual o mayor al del hormigón para garantizar que no ocurrirá deslizamiento, y sustituyendo la Normal por Rv, se obtiene el factor de fricción.

Ecuación 47 Factor de fricción D. Cedeño

$$F_f = N * \mu_s$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/03)

Luego determinar el factor de seguridad de deslizamiento para determinar si la sección analizada es estable o no, y también verificar si se puede reducir la sección. Para tomar dicha decisión se toma que el factor Fsd debe ser mayor a uno para cumplir con la estabilidad.

Ecuación 48 Factor de seguridad de deslizamiento D. Cedeño

$$F_{sd} = F_f / F_h$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/03)

Se determinan las partes de aplicación de los esfuerzos τ en lb/plg², obteniendo la ecuación:

Ecuación 49 Determinación de esfuerzos D. Cedeño

$$\tau = \frac{R_H}{A}$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/03)

Donde:

T = Esfuerzo, lb/plg²

Rh = Reacción horizontal, lb

A = Área de aplicación del esfuerzo, ft²

Se determinan los esfuerzos en el punto y el talón para saber dónde se aplica el esfuerzo máximo utilizando la ecuación despejada:

Ecuación 50 Esfuerzo positivo y negativo D. Cedeño

$$\sigma = \frac{Rv}{A} \pm \frac{My}{I}$$

Fuente: [Hydraulics012]. (2014/09/03)

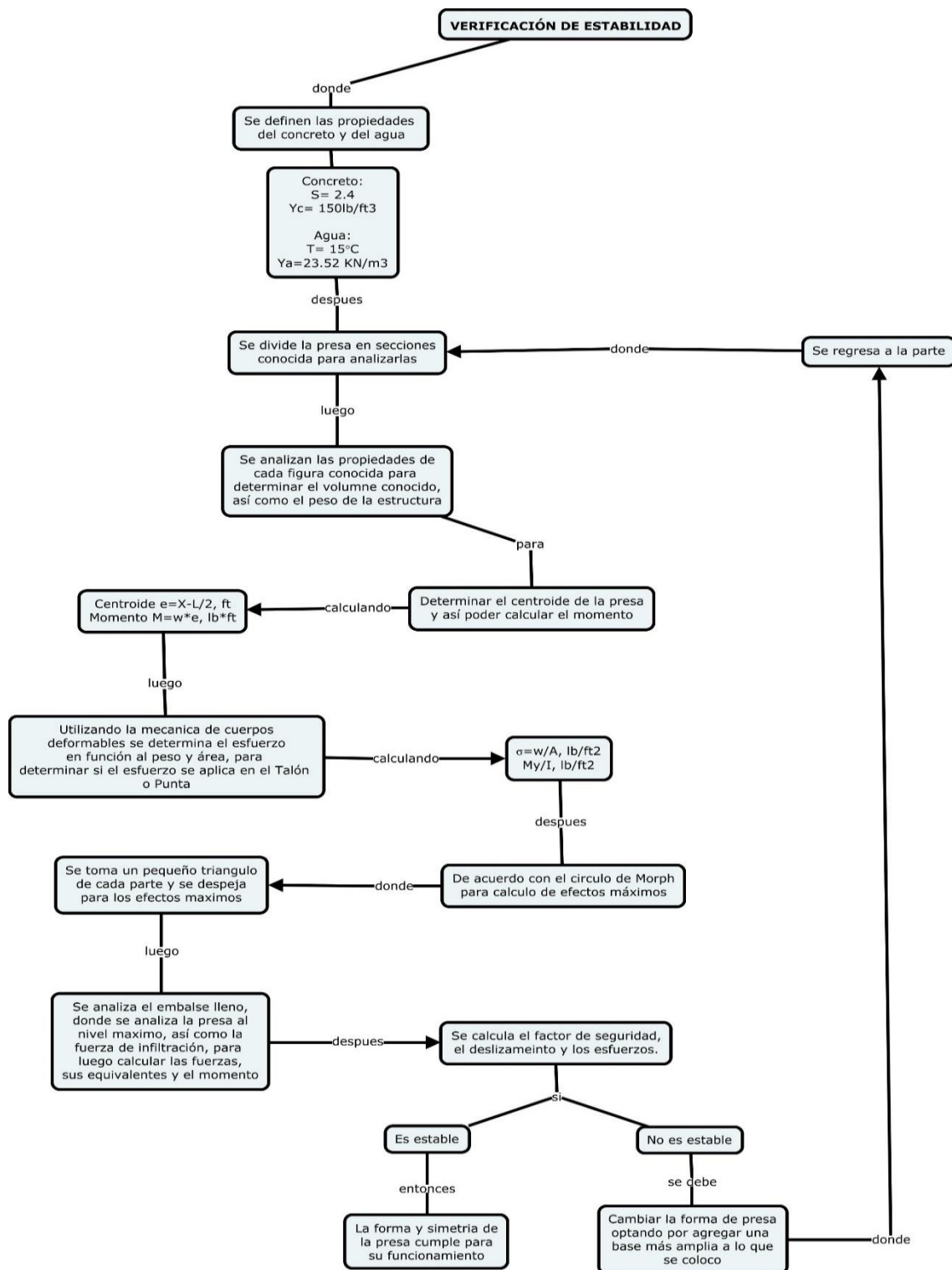
Dando como resultado que la aplicación de la fuerza cambia de lugar con el embalse lleno, ya que pasa a la punta mientras si está vacía la fuerza esta aplicada en la punta, el diseño se realiza con los datos del embalse lleno ya que es la mayor carga aplicada en la presa que estando vacía.

Tabla 22 Verificación de estabilidad

VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD		
PROPIEDADES	SÍ	NO
Propiedades del concreto		
Propiedades del agua		
FORMA	SÍ	NO
Dividir en secciones conocidas		
Conocer todas las medidas		
CENTROIDE	SÍ	NO
Calculo de centroide		
Momento		
Calculo de momento		
MECÁNICA DE CUERPOS DEFORMABLES	SÍ	NO
Cálculo de esfuerzos en el talón		
Cálculo de esfuerzos en la punta		
CIRCULO DE MORH	SÍ	NO
Cálculo de efectos en el talón		
Cálculo de efectos en la punta		
ANÁLISIS DE EMBALSE LLENO	SÍ	NO
Análisis de nivel máximo		
FACTORES DE SEGURIDAD	SÍ	NO
Determinar factor de seguridad al volteo		
DESLIZAMIENTO	SÍ	NO
Determinar deslizamiento		
APLICACIÓN DE FUERZA	SÍ	NO
Determinar aplicación de la fuerza		

Fuente: Elaboración propia

Imagen 13 Diagrama de flujo de estabilización



Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

Para realizar un proyecto hidroeléctrico es necesario realizar estudios nuevos sobre la cuenca así como tipo de suelo, o tipos de rocas que se encuentran dentro del área, ya que dependiendo de esto se determina donde se colocara la presa, saber si tendrá estabilidad respecto a la base, así como filtración de agua o si necesita de algún tratamiento debido a los asentamientos que ocupe el peso de la estructura dentro del terreno, para lo cual se realiza un replanteo topográfico de todo el terreno.

La topografía es una parte importante dentro de la construcción de presa, debido a que esta determina las alturas con las que se cuenta y el volumen que se puede embalsar en diferentes lugares, así mismo para la construcción de todas las partes de la hidroeléctrica antes mencionada como la cámara de carga, túnel de presión, chimenea de equilibrio, y casa de máquinas.

La determinación de alturas para una presa no solo depende de la demanda de la central hidroeléctrica sino también de la utilización del terreno alrededor a la presa, ya que dependiendo de esto se debe tener la consideración de la zona muerta del embalse donde se concentraran los sedimentos arrastrados por el río sin que afecte el volumen óptimo para la generación de energía, así como si se fuera a desarrollar la presa para retención de agua potable, donde no pueden haber poblados cercanos ya que el desagua de sus desechos van a dar al río que después queda embalsado en la presa causando que si las personas tienen algunas enfermedades esta se transmite aguas abajo.

La utilización de planos ayuda a identificar de mejor manera la ubicación de las diferentes estaciones, así como las delimitaciones y forma de la cuenca, con el que se determinan partes como las isoyetas e isoplejas para su utilización dentro del balance hídrico, pero debido a la escasez de datos se interpolan para realizar cálculos en base a áreas conocidas.

La utilización de una presa no solo ayuda a generar energía si no también ayuda a nuestro país para disminuir la contaminación que es uno de los factores que se trata de mantener durante todo el proyecto, ya que se debe crear un caudal ambiente o ecológico.

El diseño de una presa para una hidroeléctrica no es un trabajo que solo se refiera a realizar una estructura que embalsa un afluente si no que requiere estudios previos del comportamiento del mismo, así como la climatología y como esta afecta a los caudales efectivos que este pueda tener. Tomando en cuenta todos los aspectos que afecten al afluente. La definición de tipo de roca

y suelo como se ha mencionado con anterioridad debido a que la carga afecta directamente a la estructura debida a la fuerza que el agua realiza hacia arriba por la filtración del agua

Uno de los problemas que se observó al realizar este tipo de trabajo es la falta de información que se encuentra en nuestro país ya que no se puede realizar un estudio hidrológico para realizar un balance ya que no se cuenta con datos actualizados como pasa con el aforo del río Cahabón, el cual se realizó hasta el año de 1,963, hasta la fecha no se cuenta con datos actualizados ya que no han sido revisados por los especialistas.

La realización de un proyecto hidroeléctrico en Guatemala es una nueva posibilidad de generar energía limpia para la utilización en el país como se pudo observar en los valores encontrados en estudios anteriores sobre el río Cahabón y el estudio realizado por el Ministerio de Comunicaciones y el INSIVUMEH se encontró porcentaje de error entre lo que es área, precipitación y evapotranspiración, pero el dato que tiene un porcentaje de error elevado es la Evapotranspiración ya que tiene un error del 42.18% lo cual se puede ver afectado ya que el reporte del CIV e INSIVUMEH se realiza mediante estaciones que toman datos climatológicos durante todo el día con una incidencia de 20 años, mientras los datos que se observan en otros estudios encontrados no tienen una recurrencia tan significativa en el tiempo lo cual puede evitar que fenómenos como el Niño o la Niña, que pueden ser sequías o lluvias exageradas, se vean representadas en los datos. Para lo que se determina utilizar los datos del CIV e INSIVUMEH para realizar datos de balance hídrico y determinar si el caudal del afluente, y el agua de lluvia, como escorrentía superficial son suficiente para satisfacer la demanda que reclama la hidroeléctrica.

Dentro de los porcentajes de error se observó que el caudal es algo que no se puede comparar, ya que los datos obtenidos en el INSIVUMEH no son compatibles con los datos del reporte encontrado, ya que la estación de Cahaboncito dejó de funcionar en 1,963 y no se encuentra reportes de caudal desde ese tiempo a la fecha, por lo que se determina que para un futuro se debe realizar el aforo del río, así como sus mediciones correspondientes para realizar un estudio más actualizado.

El análisis completo de la estructura demuestra que los esfuerzos máximos y necesarios para el diseño son lo que se dan cuando el embalse se encuentra completamente lleno hasta la parte de la corona.

V. CONCLUSIONES

- Para centrales hidroeléctricas se pueden realizar diferentes tipos de presas como presa de bóveda, de gravedad, de derivación, de materiales o de contrafuertes, estas son las más utilizadas dentro de este ámbito.
- Los factores iniciales para el diseño de una presan son: topografía, climatología, hidrología, potencia requerida, ya que son los que marcan las dimensiones y el caudal existente de la cuenca para la generación de energía eléctrica. El factor topográfico determina si el terreno es apto para aprovechar una diferencia de alturas y tener la energía potencial dela agua necesaria. El factor climatológico determina la cantidad de agua disponible debido al ciclo del agua, la cual se obtiene durante la lluvia, así como la capacidad de infiltración en el suelo. El análisis hidrológico determina determinan la forma del río el caudal existente, las subcuencas y microcuencas que aportan agua al río, con estos datos se determina un caudal mínimo en función del potencial eléctrico requerido para el correcto funcionamiento de la central hidroeléctrica.
- Teniendo los factores iniciales de la presa se determinan los factores de diseño en los cuales se debe especificar la capacidad de la presa para resistir la presión del agua acumulada, el volteo de la estructura, así como la resistencia sísmica que esta pueda tener.
- Para el diseño de la presa en la cuenca del río Cahabón se interpolaron los datos la estación más cerca por medio de relación de áreas lo que permite realizar el diseño de una presa y chequeos necesarios para estabilidad y diseño de sección, obteniendo los resultados presentados en la parte de anexos. La utilización de centrales hidroeléctricas nos demuestras que los estudios hidrológicos, climatológicos entre otros deben estar actualizados, ya que son una ventana a realizar proyectos que ayudan al medio ambiente, debido a que sus exigencias piden por lo menos 20 años de estudios del área para su correcta construcción.

VI. RECOMENDACIONES

- Para un diseño exacto se deben realizar todos los trabajos de campo, como aforo de un río, estudio climatológico, y topografía reciente, ya que dependiendo de estos factores iniciales se determina el diseño de la presa.
- Analizar como los factores climáticos a largo plazo pueden afectar una central hidroeléctrica, como la precipitación.
- Realizar un estudio de impacto ambiental dentro del sector del Cahabón para determinar aparte del diseño de la presa, como afectaría o beneficiaría la construcción de una hidroeléctrica.
- Se recomienda realizar un estudio detallado sobre la cuenca del río Cahabón, para determinar factores iniciales actualizados.
- Realizar un estudio hidrológico y climatológico de la cuenca del río Cahabón y compáralo con datos anteriores.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- A. Viedma. 1997. *Teoría de máquinas hidráulicas*. 4ta. Edición. España. Universidad de Murcia. Página 123, 124.
- Sanz J. 2008. *Energía hidroeléctrica (Energías renovables)*. Prensas Universitarias Zaragoza. España. Páginas 30, 31, 32.
- L. García. 2011. *Identificación y evaluación de riesgos operacionales en casa de máquinas, presa, embalse, talleres y subestaciones, en la planta hidroeléctrica los esclavos del municipio de Cuilapa, santa rosa*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Guatemala. Páginas 136.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica; Dobias, J. 2014. **Cambio climático y sus efectos en la generación hidroeléctrica**. EN: <http://www.cnee.gob.gt/xhtml/informacion/docs/0114%20Cambio%20climático%20y%20sus%20efectos%20en%20la%20generación%20hidroeléctrica.pdf> [Revisión 7/09/2015].
- Instituto Nacional de Electrificación, INDE. **INDE continúa trabajando**. Noticias INDE. EN: <http://www.inde.gob.gt> [Revisión 7/09/2015].
- J. Díaz. 2006. *Mecánica de fluidos e hidráulica*. 1ra. Edición. Colombia. Universidad del Valle. Páginas 29,30.
- A. Garcia; M. Rosique; F. Segado. 1994. *TOPOGRAFIA BASICA PARA INGENIEROS*. 1ra. Edición. España. Universidad de Murcia. Página 1.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, IARNA; Universidad Rafael Landívar, URL. 2005. **Situación del Recurso Hídrico en Guatemala**. Perfil Ambiental de Guatemala Producciones. 31 págs.
- Méndez, Alfredo. 2003. *Pequeñas Hidroeléctricas: una opción factible económicamente para la electrificación rural en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Páginas 6 – 11.

- U. Sánchez. 2000. *Maquina hidráulicas*. 2da. Edición. Editorial Club Universitario (ECU). Impreso en España. Página 290.
- L. Maderey. 2005. *Principios de hidrogeografía estudio del ciclo hidrológico*. 1era. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. Impreso en México. Página 11-13.
- F. Briere. 2005. *Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia*. 1era edición. Ecole polytechnique de Montreal. Impreso en Canadá. Páginas 176.
- E. Cotto. 2006. *Aportes para mejorar manejo de los recursos naturales renovables en la cuenca del río Cahabon, Alta Verapaz*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de agronomía. Páginas, 7 – 50,
- M. Paulet. 1983. *Requerimiento de agua de las plantas en relación con el clima y suelo para una producción óptima*. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Santo Domingo. Página B-1.
- J. Nuñez. 2001. *Manejo y conservación el suelo*. Primera Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. Página 57.
- R. Terra *et al.* 2011. *Manual de diseño y construcción de pequeñas presas*. Segunda Edición. Ministerio de vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA). Uruguay. Páginas 1-103.
- D. Cedeño, [Hydraulics012]. (2014/09/01),
<https://www.youtube.com/watch?v=aB9RiS6OiD8&list=PLutHWvJ3zk1LsS-tCRVYhQ2vAtj5INMuX&index=1>
- D. Cedeño, [Hydraulics012]. (2014/09/01),
<https://www.youtube.com/watch?v=kP8ECXg9I-s&index=2&list=PLutHWvJ3zk1LsS-tCRVYhQ2vAtj5INMuX>

- D. Cedeño, [Hydraulics012]. (2014/09/01),
<https://www.youtube.com/watch?v=alg12WQ1j2g&list=PLutHWvJ3zk1LsS-tCRVYhQ2vAtj5INMuX&index=3>
- D. Cedeño, [Hydraulics012]. (2014/09/03),
<https://www.youtube.com/watch?v=zfDSx6XRkm4&index=4&list=PLutHWvJ3zk1LsS-tCRVYhQ2vAtj5INMuX>
- D. Cedeño, [Hydraulics012]. (2014/09/03),
<https://www.youtube.com/watch?v=1otPLi5JvJk&index=5&list=PLutHWvJ3zk1LsS-tCRVYhQ2vAtj5INMuX>
- AGIES. 2010. *Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala*. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Página 41.
- O. Flores; J. Ligorria; J. Escibá; M. Matus; R. Escobar. 2001. *Zonificación sísmica urbana en Guatemala*. Centro de estudios de Energía y Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Página 14.

Á
Á
Á
VIII. ANEXOS

Precipitación mensual

Area=	2630	km ²
Perimetro=	364.88	km
Longitud de cuenca=	10.3	km
Longitud de cauce principal=	200.076	km
Coeficiente de compacidad Kc=	2	
Coeficiente de forma Kf=	0.275	
Densidad de drenaje=	0.07607452	km/km ²
Orden total del río Cahabon =	5	
Precipitación =	2,662.50	mm
ETRM =	1,230.10	

Para la determinación de la precipitación mensual se utilizan los valores del pluviometro más cercano, o interpolación de datos respecto a estaciones cercanas.

Estación	Ubicación	Coordenadas geográficas y Latitudes	Tipo Est.	Registro Precipitación Pluvial.	Registro Temperatura
Cobán	Cobán, A.V.	N 15°28'10" W 90°23'34" 1330 msnm	A	1947 - 1952 1970 - 1979 1900 - 2003	1947 - 1952 1970 - 1979 1900 - 2003

Estación	Propietario
Cobán	INSIVUMEH

Para la interpolación de datos se utiliza un coeficiente de corrección el cual se da en base a la y el area que cubre la estación, si en determinado caso no se cuenta con esos datos el coeficiente es la relación de Áreas, evapotranspiración.

Área de la cuenca de aporte

Para la determinación del Área de la cuenca se utilizan los planos cartograficos en los cuales se determinara el área dependiendo de la cuenca, las subcuencas y la topografía del terreno para delimitarlo.

Ac= 2,630.00 ha

Agua disponible

Se determina por medio de la verificación de mapas en los caules se observa el agua disponible para cada uno de los suelos y el área que cada uno utiliza.

Suelo	A D (mm)	AREA (ha)
	21.50	2,445.90
	52.10	184.10
A D (mm/ha)	22.30	

2,630.00 ha

4) Determinar Evapotranspiración

Obteniendo los datos de la evapotranspiración en mm/mes se saca un promedio el cual se utilizara como ETPm

Mes	ETP (mm/mes)
Ene	190.10
Feb	146.60
Mar	120.30
Abr	73.80
May	44.50
Jun	29.30
Jul	35.40
Ago	55.60
Sep	78.90
Oct	113.20

Mes	ETP (mm/mes)
Nov	148.60
Dic	180.00
Promedio	101.36 mm/mes

ETPm= 101.36 mm/mes

5) Modelo de escurrimiento de Temez

Maxima capacidad de almacenamiento de agua en el suelo

$$H_{max} = 0.916 * AD$$

AD= 22.30 mm

Hmax= 20.43 mm

Considerando :

Precipitación mínima para que exista escurrimiento

CPO= 0.30

Parametro de infiltración máxima

Imax= 386.00 mm

α = 2.33 1/mes

6) Geometria del embalse

Dependiendo de como sea la topografía del lugar se revisa la superficie del terreno para indicar cual sera la cota de la presa. Esta va en función al volumen que debe embalsar, colocando las cotas que sirvan para calcular el volumen en cada cota.

Se procede a calcular H*

H* 98.65

Cota (m)	101.20	102.20	103.20	104.20	105.20
Área (ha)	37.70	84.40	135.90	177.00	224.60
H*	104.22	106.92	111.28	113.11	112.55
Hi-H*	2.55	3.55	4.55	5.55	6.55
Vemb (hm3)	0.40	1.02	2.04	3.57	5.69

Cota (m)	106.20
Área (ha)	300.90
H*	109.61
Hi-H*	7.55
Vemb (hm3)	8.49

Cota de toma	101.20
Cota de vertedero	106.20
Volumen maximo	8.49 Hm3

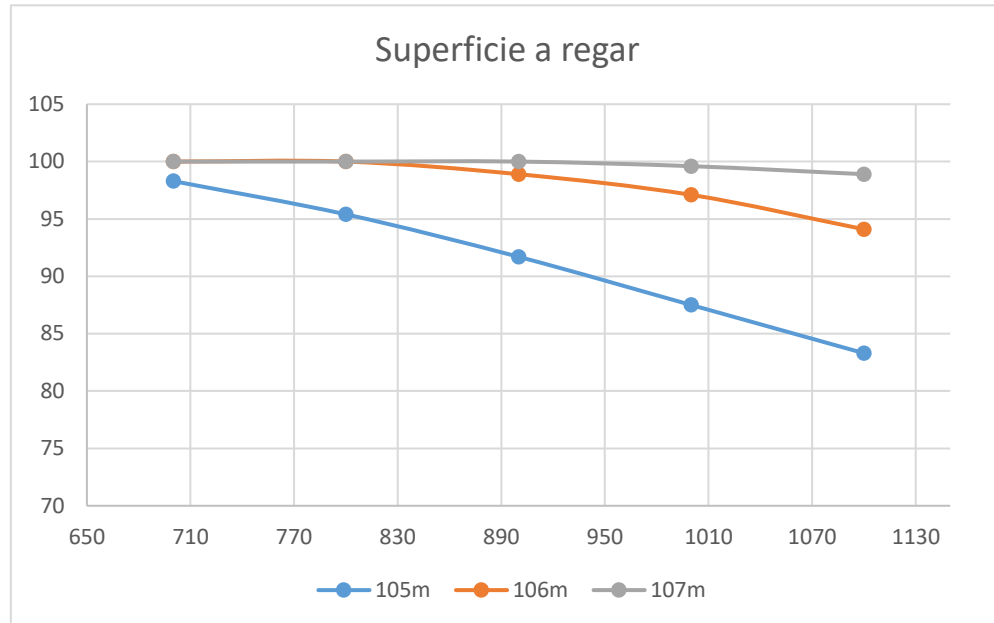
Se calcula para satisfacer una demanda de riego en la cual solo se necesitara agua para cosechas.

DEMANDA Vdi (mm/mes)

Ene	318.00
Feb	153.00
Mar	47.00
Abr	0.00
May	0.00
Jun	0.00
Jul	0.00
Ago	0.00
Sep	0.00
Oct	59.00
Nov	212.00
Dic	388.00

Vdiprom= 98.08

Superficie a regar	Hv		
	105m	106m	107m
700.00	98.30	100.00	100.00
800.00	95.40	100.00	100.00
900.00	91.70	98.90	100.00
1,000.00	87.50	97.10	99.60
1,100.00	83.30	94.10	98.90



DISEÑO DE ALIVIADERO

Para el diseño del aliviadero se determinar por medio de mapas o estudios de alcuencia, la longitud del cause principal y la diferencia entre cotas.

Longitud del cause principal

L= 10.30 km

Diferencia entre cotas

$\Delta H =$ 98.65 m

Se utiliza el metodo de Kirpich para determinar el tiempo de concentración

$$t_c = 0.4L^{0.77}S^{-0.385}$$

$t_c =$ 2.45 horas

Metodo NRCS

Precipitación Máxima

Para la determinación de la precipitación máxima se utilizan los datos encontrados según las estaciones meteorológicas

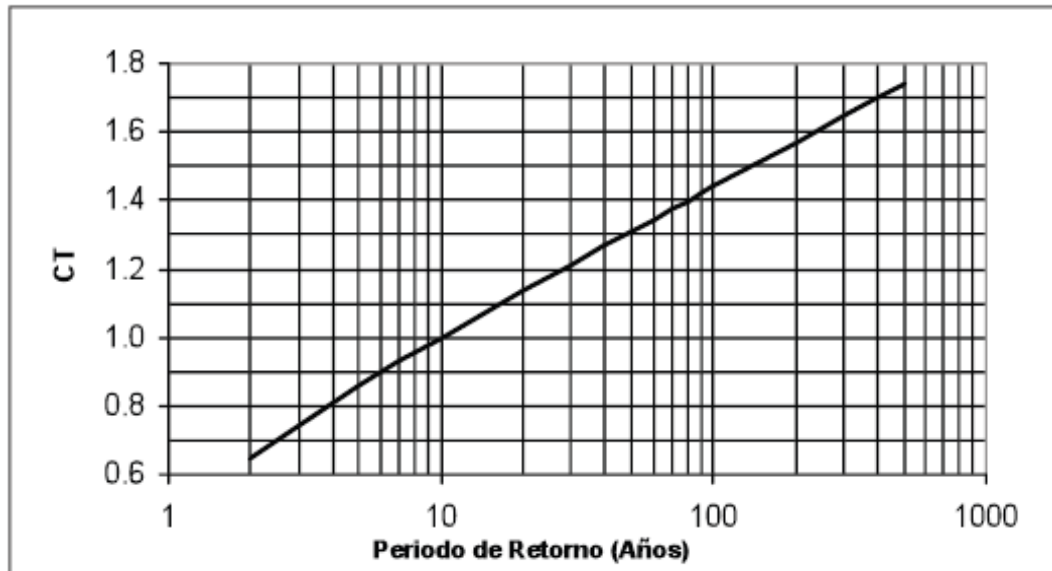
P= 97.00 mm Según las isoyetas
 Periodo de
 retorno = 100.00 años

Utilizando los parametros de tiempos de concentración se calcula el coeficiente de corrección T_c

$$CT_{(tr)} = 0.5786 - 0.4312 \log \left[\text{Ln} \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

$Ct(tr)$ 1.44

Se puede estimar el coeficiente corrección CT en función del periodo de retorno utilizando la siguiente tabla



Se calcula el coeficiente de corrección C_d para el tiempo de retorno que sera igual a la duración de lluvia.

$d=$ 2.45 horas

$Tr=$ 100.00 años

Si la duración de lluvia es menor a 3 horas Si la duración de lluvias es mayor a 3 horas

$$CD_{(d)} = \frac{0.6208 d}{(d + 0.0137)^{0.569}}$$

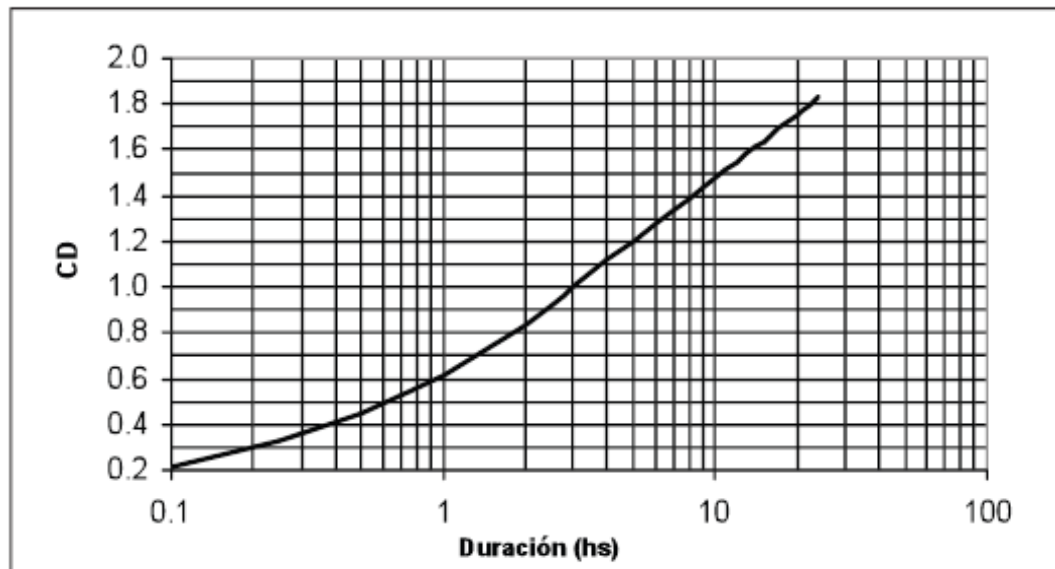
$$CD_{(d)} = \frac{1.028 d}{(d + 0.0137)^{0.8083}}$$

$$CD = 0.91$$

$$CD = 1.22$$

$$CD(d) = 0.91$$

También se puede estimar el coeficiente de corrección CD según la siguiente tabla en base a su tiempo de concentración



A partir de la duración de lluvia y la superficie de la cuenca que se denota como A_c , se determina el coeficiente de corrección $CA(A_c, d)$

$$CA_{(A_c, d)} = 1 - 0.3549 d^{-0.4272} (1 - e^{-0.00015 A_c})$$

$$A_c = 2,630.00 \text{ Hm}$$

$$CA = 0.92$$

La precipitación en una duración d y un tiempo de retorno Tr en cierto punto está dada por:

$$P_{(d, Tr, p)} = P C t_{(Tr)} CD_{(d)} CA_{(A_c, d)}$$

$$P = 117.63 \text{ mm}$$

Se determina la precipitación con un t_c deferente el cual es $12t_c/7$, obteniendo

$$d = 12t_c/7 = 4.20 \text{ horas}$$

$$CD_{(d)} = \frac{0.6208 d}{(d + 0.0137)^{0.569}}$$

$$CD = 1.16$$

$$CD(d) = 1.16$$

$$CA_{(Ac,d)} = 1 - 0.3549 d^{-0.4272} (1 - e^{-0.00015Ac})$$

$$Ac = 2,630.00 \text{ Hm}$$

$$CA = 0.94$$

$$P_{(12d/7, Tr, p)} = PCt_{(Tr)} CD_{(d)} CA_{(Ac,d)}$$

$$P = 151.64 \text{ mm}$$

Calculo de Caudal Máximo y Escorrentia

Se utiliza el metodo NRCS ya que el tiempo de concentración es mayor a 20min.

Determinando el grupo hidrológico de los suelos presentes según los mapas, se obtiene el numero de curva el cual con el que se determina el volumen de escorrentía y el caudal máximo.

Unidad cartografica del suelo	Grupo	No. Curva	Area (ha)
	D	80.00	2,445.90
	C	74.00	184.10
Numero de curva		79.80	

Retención máxima de agua en el suelo

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right)$$

S= 64.30 mm

Retención del suelo al inicio del escurrimiento

$$I_a = 0.2S$$

Ia= 12.86 mm

Volumen de escorrentia

$$V_{esc} = \frac{\left(P \left(\frac{12tc}{7}, Tr, P \right) - I_a \right)^2}{\left(P \left(\frac{12tc}{7}, Tr, P \right) + 4I_a \right)} A_c 10^{-5}$$

P12
Ia
Ac

Vesc= 2.49 Hm3

Caudal Maximo de la avenida

Se define el parametro de inicio de escurrimiento

$$\frac{I_a}{P}$$

Ia/P= 0.11

Asi determinando el caudal máximo especifico

$$q_{max} = 0.786 \frac{\left(1.223 - \frac{I_a}{P} \right)^2}{1.223 + 4 \frac{I_a}{P}}$$

qmax= 0.59 m3/s/mm/Ha

Caudal de la avenida extraordinaria

$$Q_{max} = 0.310 \frac{q_{max}}{t_c} P_{(tc,Tr,P)} A_c 10^{-2}$$

$$Q_{max} = 229.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_v = 106.20$$

Se determina el cuadro en el cual se calcula en base a E que es la lamina de vertido, y a la cota de vertido cual sera el ancho del vertedero, en el que se define el volumen laminar depende de la pendiente y la rugosidad de Manning en funcion de la lamina de vertido y la gravedad. Caudal maximo vertido Q_{vmax} .

Volumen laminado

$$V_L = V(H_v + E) - V(H_v)$$

Caudal Máximo vertido

$$Q_{vmax} = \left(1 - \frac{V_L}{V_{esc}}\right) Q_{max}$$

Coefficiente K

$$K = (S/n^2)^{1/2} (2/3E)^{1/6} / g^{1/2}$$

Caudal especifico por unidad de ancho de vertedero

$$q = K(3/(2 + K^2))^{5/3} (2/3E)^{3/2} g^{1/2}$$

Velocidad de vertido

$$v = K(3/(2 + K^2))^{2/3} (2/3gE)^{1/2}$$

Obteniendo el ancho del vertedero que esta dado por la ecuación

$$B = \frac{Q_{vmax}}{q}$$

E	VL	Qvmax	k	q	v
m	Hm3	m3/s	adm	m3/s/m	m/s
0.40	1.24	115.58	0.73	0.42	1.32
0.44	1.36	104.16	0.74	0.48	1.40
0.45	1.39	101.30	0.75	0.50	1.42
0.50	1.55	87.01	0.76	0.59	1.52

E	B
m	m
0.40	276.66
0.44	215.11
0.45	202.07
0.50	147.52

DETERMINAR COTA DE CORONAMIENTO

La altura de la presa se da en base a el Hv que es la cota y la altura de revancha, esta altura que se da en base a la altura que se produce por la fuerza del viento y como esta afecta a cierta lámina de agua.

Nos vasamos en la siguiente tabla para decidir la velocidad el viento

Cubierta vegetal	Velocidad
Escasa	Menor a 1
Por siembra	1.0 a 1.2
Variable	1.2 a 1.5
Bien estable	1.5 a 1.8
Condiciones muy especiales	1.8 a 2.1

Se determina dos revanchas una normal y una minima, la normal indica el borde libre que considera el efecto máximo de la ola, y la mínima el borde libre necesario para considera el efecto de ola maxima.

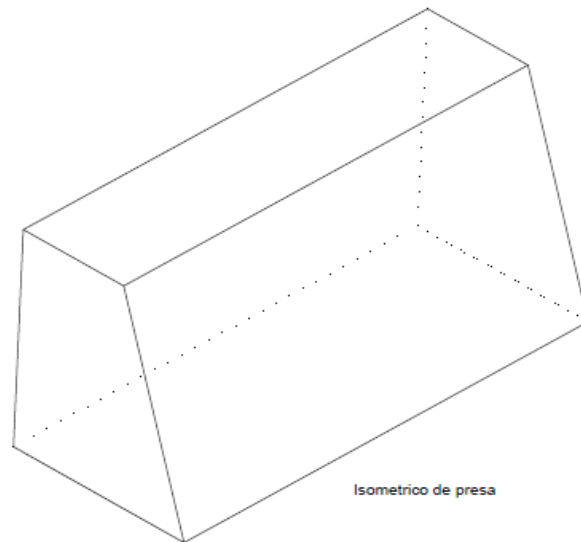
Fetch	BL normal	BL minimo
menro a 1.6	1.20	0.90
1.60	1.50	1.20
4.00	1.80	1.50
8.00	2.40	1.50
16.10	3.00	2.10

Hrevancha= BI Normal 1.20 m

Hrevancha= BL minimo 1.65 m

Cota de Coronamiento ***107.85 m***

VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD



Propiedades del concreto

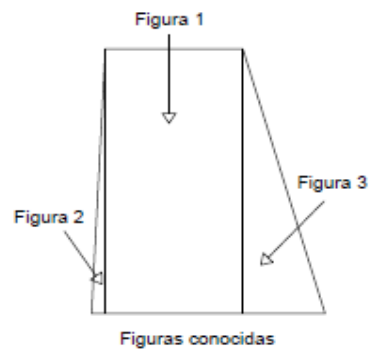
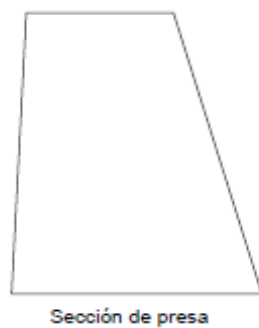
S=	2.4	
γ_c =	150	lb/ft ³

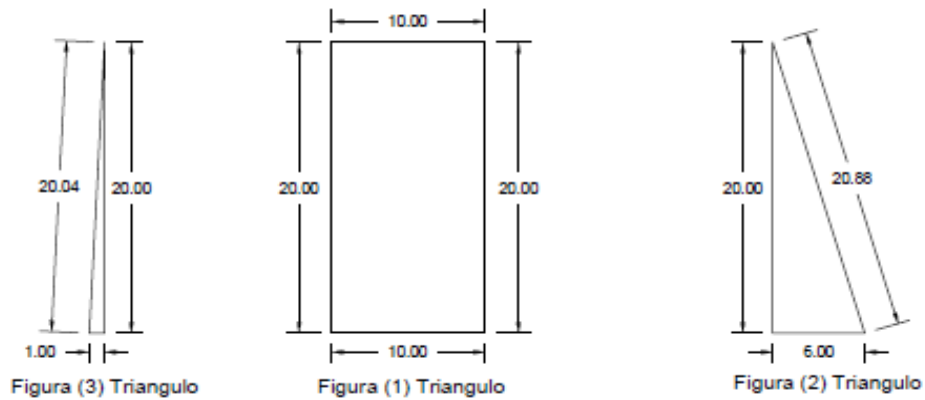
Propiedades del agua

T=	15	°C
γ_a =	23.52	KN/m ³

1) Dividir la presa en secciones

La presa se debe dividir en secciones de figura geométrica conocidas para realizar su análisis.





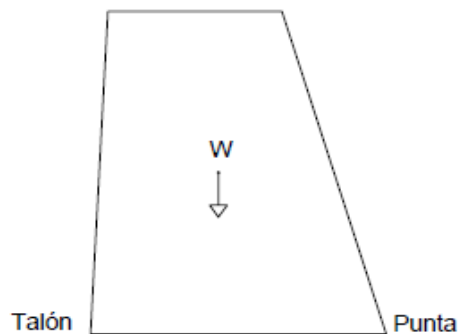
PROPIEDADES ESTATICAS DE LA SECCIÓN A ANALIZAR

Figura	Tipo	Alturas (ft)	Bases (ft)	Anchos (ft)	Volumne (ft ³)
1	Cuadrado	20.00	10.00	1.00	200.00
2	Triangulo	20.00	6.00	1.00	60.00
3	Triangulo	20.00	1.00	1.00	10.00

Figura	w (lb)
1	30,000.00
2	9,000.00
3	1,500.00
wtotal=	40,500.00

2) Calculo de centroide

Figura	x (ft)	x*w (ft*lb)
1	11.00	330,000.00
2	4.00	36,000.00
3	16.33	24,500.00
	X=	9.64



3) Calculo de excentricidad

$$e = X - L/2 = 1.14 \text{ ft}$$

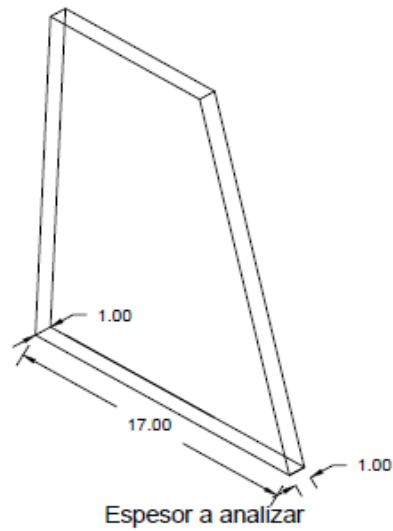
L = 17.00

X = 9.64

4) Momento generado al centro

M=w*e=	46,250.00	lb*ft
---------------	------------------	--------------

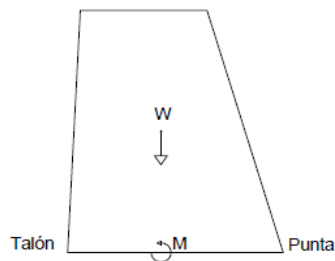
5) MECANICA DE CUERPOS DEFORMABLES



$$\sigma = w/A \quad \mathbf{2,382.35 \text{ lb/ft}^2}$$

$A = L \cdot \text{ancho} = 17.00 \text{ ft}^2$
 $L = 17.00 \text{ ft}$
 $\text{ancho} = 1.00 \text{ ft}$

$H = 17.00 \text{ ft}$
 $B = 1.00 \text{ ft}$



$$My/I = \mathbf{960.21 \text{ lb/ft}^2}$$

$M = 46,250.00 \text{ lb/ft}$
 $y = 8.50 \text{ ft}$ Respecto al rectangulo
 $I = 409.42 \text{ ft}^4$ Respecto al rectangulo
 $b = 1.00 \text{ ft}$
 $h = 17.00 \text{ ft}$

Esfuerzos

Aplicación				
Talón	$w/A + My/I$	3342.56055	lb/ft ²	23.2122261 PSI
Punta	$w/A - My/I$	1422.14533	lb/ft ²	9.87600923 PSI

NOTA: Si los dos son positivos esta en compresión, Si alguno da en tensión se producen grietas y el área efectiva para transmisión de fuerzas cortantes cambia.

APLICACIÓN DE FUERZA

PUNTO=	TALON
--------	-------

6) CIRCULO DE MORH PARA EFECTOS MAXIMOS

Se toma un pequeño triángulo de cada parte y se depeja para los efectos Maximos

Efectos		Catetos		Angulos °	σ (PSI)
Talon	$\beta_1=$	1	20	2.86240523	23.2122261
Punta	$\beta_2=$	6	20	16.6992442	9.87600923

Efectos		$\text{Cos}2\beta$
Talon	$\beta_1=$	0.92405862
Punta	$\beta_2=$	0.92405862

Efectos		σ' (PSI)
Talon	$\beta_1=$	25.1198631
Punta	$\beta_2=$	10.6876436

7) ANALISIS DE EMBALSE LLENO

ANALISIS DE LA PRESA EN EL NIVEL MAXIMO

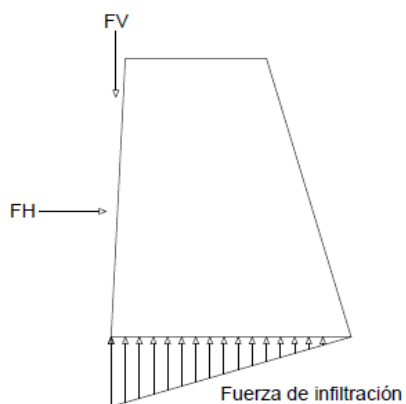
$$FH = \gamma_a H A_p = 12480 \text{ lb}$$

$\gamma_a = 62.4 \text{ lb/ft}^3$
 $H = 10 \text{ ft}$
 $A_p = 20 \text{ ft}^2$

$$FV = \gamma_a H A_p = 6240 \text{ lb}$$

$\gamma_a = 62.4 \text{ lb/ft}^3$
 $H = 5 \text{ ft}$
 $A_p = 20 \text{ ft}^2$

$$FB = 10608 \text{ lb}$$



FUERZAS (lb)		Equivalencias (lb)		Momento (lb-ft)	
FH	12480	RH	12480	Enderezamein	457060
FV	6240	RV	36132	Volcamiento	203424
FB	10608				

$$M_p = 253636$$

FACTOR DE SEGURIDAD

$$F_s = 2.2468342$$

CONCLUSIÓN	OK
-------------------	-----------

DESLIZAMIENTO

$$\mu_{sh} = 0.65$$

$$N = R_v = 36132 \text{ lb}$$

$$F_{fmax} = 23485.8$$

$$F_{sd} = 1.881875$$

CONCLUSIÓN	La sección es estable
-------------------	------------------------------

Esfuerzos

$$\tau = 50.9803922 \text{ lb/plg}^2$$

$$R_H = 12480 \text{ lb}$$

$$A = 17 \text{ ft}^2$$

$$\mu = 0.3454002$$

CONCLUSIÓN	OK
-------------------	-----------

$$M = R_v e' = -283744.596 \text{ lb-ft}$$

$$R_v = 36132 \text{ lb}$$

$$e' = -7.853 \text{ ft}$$

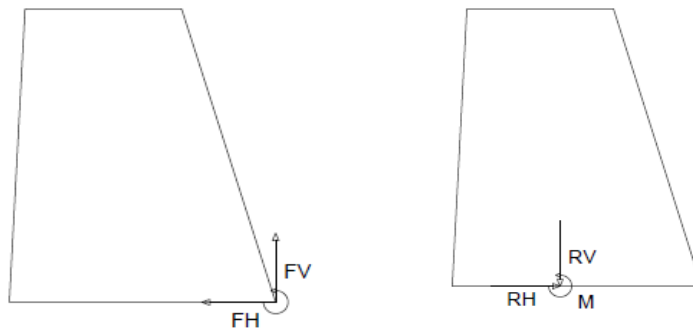
$$x = 0.647 \text{ ft}$$

$$L/2 = 8.5 \text{ ft}$$

$$F_v = 6240 \text{ lb}$$

$$M_p = 4037.28 \text{ lb-ft}$$

Esfuerzos


 $My/I =$

	My	I	Rv	A	σ
Talon	-2411829.07	409.416667	36132	17	-3765.4795
Punta	-2411829.07	409.416667	36132	17	8016.30303

	PSI
Talon	-26.1491632
Punta	55.668771

APLICACIÓN DE FUERZA

PUNTO= PUNTA