

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ETAPAS DEL PROCESO DE GENERACIÓN ELECTRICA
EN CENTRALES HIDROELECTRICAS”**

Realizado por:

**COLÓN DELGADO, ELIMAR CAROLINA
GUARIMATA, JUAN CARLOS**

**Monografía de Grado presentada ante la Universidad de
Oriente como Requisito Parcial para optar al Título de:**

INGENIERO CIVIL

Barcelona, Abril de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ETAPAS DEL PROCESO DE GENERACION ELECTRICA
EN CENTRALES HIDROELECTRICAS”**

Realizado por:

COLÓN D, ELIMAR C.

GUARIMATA, JUAN C.

Revisado y aprobado por:

PROF. ENRIQUE MONTEJO

Asesor Académico

Barcelona, Abril de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ETAPAS DEL PROCESO DE GENERACIÓN ELECTRICA
EN CENTRALES HIDROELECTRICAS”**

Jurado calificador:

Prof. Luisa Torres
Jurado Principal

Prof. José Sosa
Jurado Principal

Barcelona, Abril de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“PARA LA APROBACIÓN DEFINITIVA DE LOS CURSOS ESPECIALES DE GRADO COMO MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO, SERÁ REQUISITO PARCIAL LA ENTREGA A UN JURADO CALIFICADOR, DE UNA MONOGRAFÍA EN LA CUAL SE PROFUNDICE EN UNO O MÁS TEMAS RELACIONADOS CON EL ÁREA DE CONCENTRACIÓN”

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico Dios, por las cosas maravillosas que me regala y me permite disfrutar, haciéndome sentir viva y con ganas de superarme día a día como persona.

A mis padres María y Elías porque a través de ellos y la gracia divina de Dios me dieron la vida, gracias por apoyarme en mis decisiones yo sé que siempre han querido lo mejor para mi.

A mis padres Paula y Vicente que desde muy pequeña han cuidado de mi y me han orientado con buenos valores y principios, gracias por su amor incondicional.

A mis familiares, mi novio y mis amigos que han estado conmigo en los momentos que más lo he necesitado y sobre todo no me han permitido decaer ante las adversidades. Muchas gracias.

Elimar Carolina Colón Delgado.

DEDICATORIA

Esta monografía de grado va especialmente dedicada a Dios Todopoderoso porque aún a pesar de todas las adversidades y obstáculos que se me pusieron al frente me permitió llegar a este momento tan anhelado.

En segundo lugar, va dedicado a mi madre, por haberme apoyado en todo momento y en toda circunstancia.....a mi padre que aun cuando ya no está presente se que le hubiese dado gusto verme lograr esta meta.

Por ultimo, dedico este trabajo a mis hermanos, familiares, amigos y a todas aquellas personas especiales que a lo largo de todo este tiempo estuvieron allí dándome ánimos y fortalezas con la noble intención de verme alcanzar este objetivo que ellos saben es de mucho valor para mi.

Juan Carlos Guarimata.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien me demostró que la paciencia y la tolerancia son virtudes que se deben desarrollar para alcanzar el equilibrio.

A mis padres, que nunca me han desamparado y siempre me han ayudado a tomar las mejores decisiones, por la vida, el amor, el apoyo, y tantas bendiciones, decir gracias representa solo una mínima parte de mi eterno agradecimiento.

A mis hermanos y primos que de alguna forma contribuyeron en la realización de este trabajo y en especial a Gilberto, Elizabeth y Alba, por apoyarme y brindarme todas las herramientas necesarias para lograr mis objetivos.

A José de Abreu por quererme, tenerme mucha paciencia, y sobre todo por el apoyo incondicional que recibí de su parte en este último año de mi carrera universitaria. Eres un gran ser humano y excelente novio, te quiero mucho.

A Mis amigos de las áreas, compañeros universitarios y futuros colegas por haber compartido conmigo momentos de angustias y alegrías todos los días en la universidad. Nunca los olvidaré.

A los profesores que me dieron clases, en especial a los de las áreas de grado (Luisa, Montejo y Sosa), por haberse comprometido con el grupo y ayudarnos a culminar la carrera. Son un ejemplo, años de experiencia y sabiduría. Gracias.

Elimar Carolina Colón Delgado.

AGRADECIMIENTOS

Empezar estas líneas sin mencionar al artífice de todos mis días y mis logros sería una solemne ingratitud...gracias Diosito, por ser mi guía, por nunca haber soltado mi mano.

A ti mamá, por tu lucha perenne através de todos estos años por darle a tus hijos lo mejor de ti....tu mano amiga ha sido fundamental para este logro.....gracias corazón.

A ti papá, que en el lugar de descanso que Dios ha dispuesto para ti...Sepas que aquí está tu hijo logrando una meta tan importante, sé que eso te va a llenar de mucho orgullo.

A mi familia por quererme y estar allí cuando se hizo necesario.

A mis amigos y compañeros de estudios que han hecho de esta travesía algo digno de recordar.Se les aprecia infinitamente.

Finalmente y en mención especial a mis queridos, apreciados y abnegados profesores de la Universidad de Oriente....gracias por todo sus conocimientos, les aseguro les daré el mejor uso posible.

Juan Carlos Guarimata.

RESUMEN

La presente investigación se basó en la necesidad de conocer de la manera mas exacta posible, cuales son la etapas que conforman el proceso de generación eléctrica en centrales hidroeléctricas, tema este que al juzgar por la forma en que estaban expuestas, las informaciones disponibles sobre el mismo, no gozaba de una adecuada exposición (al menos no en un mismo libro, artículo, etc.) que permitiese hacer mas fácil entender un proceso tan complejo e importante. Para alcanzar los objetivos específicos de : a) conocer la función del balance hídrico en el marco del diseño y operación de una central hidroeléctrica ,b) describir el funcionamiento electromecánico de una central hidroeléctrica, y por ultimo c) comentar sobre el uso de modelos matemáticos en el proceso de monitoreo de la operación de una central hidroeléctrica; se planificó una extensa y minuciosa investigación documental sobre tales aspectos ,valiéndose para ello los autores de bibliografía y tesis en las ramas de la ingeniería civil, tales como hidrología, hidráulica de represas, y en la ingeniería de sistema lo referente a modelos matemáticos, etc. Asimismo se utilizaron herramientas tales como la red Internet, la cual hizo posible ubicar información muy útil para el logro de los objetivos anteriormente planteados. Lo anterior permitió ensamblar un escrito, el cual ayudará para que, todos aquellos lectores interesados en el tema de la hidroelectricidad tengan una visión más amplia sobre esta forma de energía.

Palabras claves: hidroelectricidad, centrales, generación, balance hídrico, modelos, matemáticos.

INDICE

	Pp.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
RESUMEN	ix
INDICE.....	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE CUADROS	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I.....	17
EL PROBLEMA.....	17
1.1. Planteamiento del Problema	17
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo General.....	19
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
CAPITULO II.....	20
2.1 Contexto Mundial	20
2.2 Antecedentes Históricos.....	21
2.3 La Central Hidroeléctrica	22
2.4 Tipos de Central Hidroeléctrica	23
CAPITULO III.....	27
3.1 Hidrológica.....	27
3.1.1 Ciclo Hidrológico	28
3.1.2 Balance Hídrico	29
3.2 Geológica	38
3.3 Sísmica.....	38
CAPITULO IV.....	39
4.1. Características de la Energía Hidroeléctrica	39
4.1.1. Potencial Hidroeléctrico	39
4.1.2. Instalaciones de Obra Civil	41

4.3.1. Azud.....	41
4.3.2. Presa	42
4.3.3. Los Aliviaderos	46
4.3.4. Obras de Conducción	47
4.3.5. Casa de Máquinas.....	48
4.4 Equipamiento Electromecánico	49
4.4.1. Turbinas.....	49
4.4.2. Generador.....	51
4.4.3. Sala de Control	53
4.4.4. Equipos Auxiliares	53
4.4.5. Subestación.....	53
4.5 Usos y Aplicaciones	54
4.6 Operación de la Central.....	55
4.6.1 Modelo	56
4.6.2 Clasificaciones de Modelos Matemáticos según el Grado de Incertidumbre de los Resultados	57
4.6.3 Tipos de Modelos en Función del Origen de la Información Utilizada para Construirlos.....	57
4.6.4 Tipos de Modelos en Función de su Campo de Aplicación	57
4.6.5 Representación de los Modelos.....	58
4.6.6 Categorías por su aplicación	59
4.6.7 Modelo Matemático de Simulación Hidrológica	59
4.6.8 Curvas Guías para el Monitoreo del Volumen de Agua de un Embalse.....	64
4.6.9 Importancia del Uso de los Modelos Matemáticos en el Monitoreo de la Operación de una Central Hidroeléctrica.	67
CAPITULO V.....	68
5.1 Ventajas	68
5.2 Desventajas.....	69
5.3 Perspectivas de la hidroelectricidad	69
5.4 Barreras y medidas	70

CAPITULO VI.....	73
6.1 Hidroelectricidad en Venezuela.....	73
6.2 Vulnerabilidad climática.....	73
6.3 Crisis hidroeléctrica	74
6.4 Respuesta a la crisis	75
6.5 Perspectivas de la hidroelectricidad en Venezuela	76
6.6 Marco legal.....	76
CAPITULO VII.....	78
7.1 CONCLUSIONES.....	78
7.2 RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	86

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PP.
1. Central Hidroeléctrica de las 3 Gargantas. China.....	21
2. Central Hidroeléctrica de Aguas Fluyentes.....	22
3. Central Hidroeléctrica de Bombeo.....	23
4. Central con Embalse.....	24
5. Ciclo Hidrológico.....	27
6. Esquema de Balance Hídrico.....	29
7. Presa de tierra McPhee, Colorado. USA.....	42
8. Represa de Kleine, Kinzig	43
9. Represa Yacyretá, Yacyretá. Argentina.....	43
10. Presa en arco	44
11. Aliviadero de una Central Hidroeléctrica.....	45
12. Casa de Máquinas.....	47
13. Turbina Pelton.....	48
14. Turbina Francis.....	48
15. Turbina Caplan.....	49
16. Estator.....	50
17. Rotores.....	50

18. Transformadores de Potencia.....	52
19. Principales Variables que Intervienen en los Modelos de Simulación Hidrológica de la Operación de una Represa.....	59
20. Ejemplo de Curva Guía con Volumen de Espera Variable anual.....	64

LISTA DE CUADROS

CUADROS	Pp.
1. Cálculo de la ETP Anual por el método de Thornthwaite.....	35
2. Principales barreras al desarrollo de las centrales Hidroeléctricas.....	69

INTRODUCCIÓN

Venezuela en la actualidad atraviesa por una crisis en el suministro eléctrico, de manera que sus ciudadanos están ante la incomodidad numerosos y constantes cortes programados. Esta situación es paradójica por cuanto Venezuela es un país con un alto potencial energético per cápita y una alta capacidad de generación eléctrica per cápita. Está fuera del alcance de esta monografía analizar las causas, que desde luego que las hay, unas evitables (negligencia, mala gestión, falta de planificación, derroche, sabotaje, marco legal) y otras inevitables (fenómenos climáticos y desastres naturales). Hasta la fecha la hidroelectricidad es la principal fuente de generación (más del 70 %) seguida de la termoelectricidad, no obstante su preponderancia en el sector energético la hidroelectricidad es vulnerable a los cambios climáticos y estos cada vez son más extremos.

El propósito de este trabajo es elaborar un documento que recoja los aspectos fundamentales y generales de la hidroelectricidad que predisponga al ciudadano a su mejor uso, a la aceptación de medidas (racionamiento) cuando las circunstancias lo ameriten y lo capacite para exigir a las autoridades la mejor gestión para optimizar el servicio y minimizar los riesgos.

El tema se presenta empezando por los aspectos generales; luego se trata sobre la factibilidad del proyecto; se sigue con los aspectos técnicos, de equipamiento y operacionales; se señalan las ventajas y desventajas de la hidroelectricidad y se termina con la hidroelectricidad en el contexto venezolano.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

A nivel mundial, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad y su participación en el sector energético de muchos países sigue en franco ascenso. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas, Estados Unidos un 13 %. Otros países en los cuales constituye una fuente de electricidad muy importante son Noruega (99%), Zaire (97%), Brasil (96%), Venezuela (70%), entre otros. Según Posso (2004):

De las cifras de consumo energético de Venezuela se desprende que la hidroeléctrica en gran escala ha tenido y tiene una participación apreciable en el balance energético del país. Sus planes de desarrollo pretenden satisfacer el aumento de 4% interanual esperado en la demanda (11) y contemplan una inversión de 10 millardos de dólares.... (p.157)

No obstante; a pesar de tan apreciable nivel de participación en el desarrollo energético de muchos países y de ser palanca para el mejoramiento de la calidad de vida de millones de seres humanos, se observa - a través de la revisión de una amplia y variada bibliografía y de la información disponible en medios como la red Internet - la inexistencia de material de divulgación que ofrezca de una manera completa y detallada información respecto al tema de la hidroelectricidad.

Lo anterior implica que para millones de personas la hidroelectricidad sea un tema poco conocido más allá del hecho de

saberse que es producto de la transformación de la energía cinética de considerables masas de agua en energía mecánica para producir electricidad y a lo sumo tener conocimiento de que dicho proceso se lleva a cabo en estructuras llamadas centrales hidroeléctricas.

Tal vacío de información deriva en el desconocimiento por parte de las personas de aspectos tales como : Las condiciones hidrográficas mínimas e ideales que deben tener las cuencas de los ríos que aportan su potencial energético para la producción de electricidad, la influencia del clima en el proceso de generación hidroeléctrica, los componentes estructurales de una central hidroeléctrica, el funcionamiento electromecánico de dichas centrales hidroeléctricas y los procesos operativos que se deben llevar a cabo para que el proceso de generación hidroeléctrica se realice de manera optima y eficiente.

Se infiere de la anterior situación de desconocimiento que mientras no haya por parte de las personas un conocimiento detallado y preciso de cómo se realiza el proceso de generación hidroeléctrica, se hará muy difícil por parte de las mismas una valoración correcta de dicho proceso y consecuencia de ello se hará cuesta arriba la tarea de involucrarlos en campañas de información y concientización que busquen hacer buen uso y planificación de ese bien tanpreciado como es la hidroelectricidad.

Según estudio de la Corporación Andina de Fomento (1998):

Se ha señalado que el usuario del servicio presenta hábitos de alto consumo de energía ó de uso ineficiente de la misma. Adicionalmente, durante El Niño se observó un incremento de la demanda energética en momentos en que el suministro se encontraba amenazado por falta de agua en las centrales hidroeléctricas, lo que hizo evidente una falta de comunicación

con la población para concientizarla sobre la necesidad de hacer uso racional del recurso.(p.99)

Basados en esta ausencia de información detallada y articulada respecto al tema de la hidroelectricidad: Los autores se proponen generar un documento que exponga de manera clara y sencilla las diferentes etapas del proceso de generación hidroeléctrica y pueda servir de ayuda en la necesaria tarea de informar adecuadamente a los ciudadanos sobre tan importante y útil proceso generador de energía.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Estudiar las etapas del proceso de generación eléctrica en centrales hidroeléctricas.

1.2.2. Objetivos Específicos

1.- Explicar el balance hídrico en el marco de los procesos de diseño y operación de una central hidroeléctrica.

2.- Describir el funcionamiento electromecánico de una central hidroeléctrica.

3.- Comentar el uso de modelos matemáticos en el proceso de monitoreo de la operación de una central hidroeléctrica.

CAPITULO II SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Contexto Mundial

El actual sistema energético a nivel mundial está basado en la generación de energía a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón mineral y el gas. La generación de energía a partir de estas materias está siendo ampliamente replanteada por varias razones: son recursos limitados que se encuentran en puntos concretos del planeta, su uso a gran escala está provocando graves efectos sobre el medio ambiente y la salud de los seres humanos, y se están agotando las reservas naturales comprometiendo el futuro de las nuevas generaciones.

La ciudadanía está cada vez más conciente sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y emplear métodos no contaminantes de producción de energía. Esto se debe en parte al amplio consenso alcanzado en la comunidad científica internacional sobre la existencia del cambio climático.

Se ha constatado que la temperatura media de la Tierra ha sufrido un aumento durante el siglo xx de $0,6 \pm 0,2$ °C, además de que existe una disminución real de la cobertura del hielo ártico y un aumento de la frecuencia e intensidad de los denominados desastres naturales como huracanes, sequías y lluvias torrenciales.

La energía hidroeléctrica, que indirectamente proviene de la energía solar, comparte las ventajas de ser autóctona, limpia e inagotable como el resto de las energías renovables. La producción anual media de energía hidroeléctrica a nivel mundial es de 2.600 TWh, lo que representa

aproximadamente el 19% del total de la energía eléctrica producida. La potencia hidroeléctrica instalada en todo el mundo asciende a 700 GW.

2.2 Antecedentes Históricos

El agua es un elemento básico para la vida y un recurso que, a lo largo de la historia, ha determinado el desarrollo humano. Necesitamos agua para beber, agua para la agricultura que nos proporciona alimentos, agua para la práctica total de los procesos productivos y también para la obtención de energía.

Los antiguos romanos y griegos aprovechaban la energía del agua, utilizaban ruedas hidráulicas para moler trigo. Los molinos de agua romanos, o las norias de la cultura musulmana son ejemplos del aprovechamiento de la fuerza del agua desde tiempo inmemorial, para sustituir el trabajo humano o animal.

Durante la edad media, las grandes ruedas hidráulicas de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos. La hidroelectricidad tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial. Impulsó las industrias textil, del cuero y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX. Aunque las máquinas de vapor ya estaban perfeccionadas, el carbón era escaso y la madera poco satisfactoria como combustible.

La energía hidráulica ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América hasta la construcción de canales a mediados del siglo XIX, que proporcionaron carbón a bajo precio. Las presas y los canales eran necesarios para la instalación de ruedas hidráulicas sucesivas cuando el desnivel era mayor de cinco metros. La construcción de grandes presas de contención todavía no era

posible; el bajo caudal de agua durante el verano y el otoño, unido a las heladas en invierno, obligaron a sustituir las ruedas hidráulicas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón. Pero será con la invención de la electricidad y con su aplicación generalizada a finales del siglo XIX cuando el agua se contempla como una fuente básica para la producción de energía eléctrica por lo que adquiere un mayor valor en el ámbito energético. De hecho, las centrales hidráulicas son el origen de la industria eléctrica mundial, que comenzó a producir miles de kilovatios gracias a la fuerza del agua.

2.3 La Central Hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es, esencialmente, un conjunto de obras hidráulicas y equipamientos electromecánicos, construidos con el objetivo único de producir electricidad, mediante la transformación de la energía mecánica del agua que incide sobre una o varias turbinas conectadas a igual número de generadores . En la figura 1 se muestra la mayor central hidroeléctrica del mundo.



Figura 1. Central Hidroeléctrica de las 3 Gargantas. China

Fuente: nwww.proteger.org.ar/archivos/3gargantasClarín.jpg

2.4 Tipos de Central Hidroeléctrica

a.- Centrales de Agua Fluyente o de Pasada: Utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada.

Los elementos principales de estas instalaciones pueden observarse en la siguiente figura:

1. Azud
2. Toma de agua
3. Canal de derivación
4. Cámara de carga
5. Tubería forzada
6. Edificio con su equipamiento electromecánico
7. Canal de salida



Figura 2. Central Hidroeléctrica de Aguas Fluyentes

Fuente: <http://garcia-egocheaga.com/tecnicatipos.html>

b.- Central Hidroeléctrica de Bombeo: Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, las centrales de bombeo funcionan como una central convencional generando energía así como se muestra en la siguiente figura.

Al caer el agua, almacenada en el embalse superior, hace girar el rodete de la turbina asociada a un alternador, después el agua queda almacenada en el embalse inferior, durante las horas del día en la que la demanda de energía es menor el agua es bombeada al embalse superior para que pueda realizar el ciclo productivo nuevamente. Para ello la central dispone de grupos de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

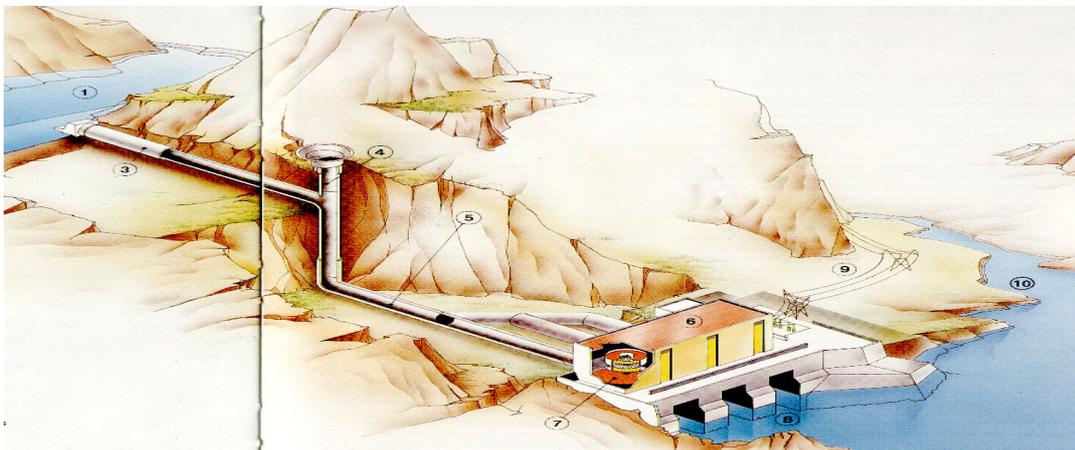


Figura 3. Central Hidroeléctrica de Bombeo

Fuente:<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/bombeo.html>

c.- Centrales con Embalse o de Regulación: Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica, utilizan un embalse para reservar agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Requieren una inversión mayor. Ver la figura 4.

En esta investigación nos enfocaremos principalmente en este último tipo de centrales con embalse o de regulación por ser las más utilizadas a nivel mundial.

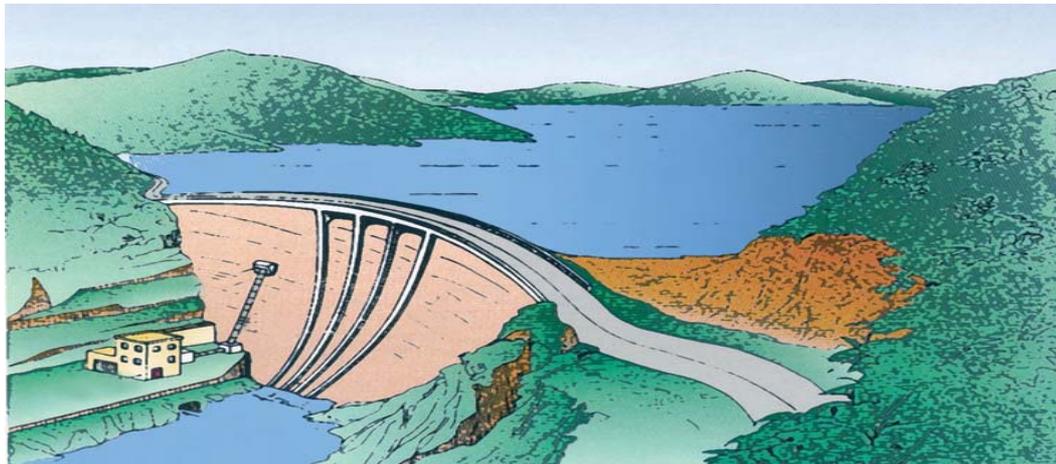


Figura 4. Central con Embalse

Fuente: <http://garcia-egocheaga.com/tecnicatipos.html>

CAPITULO III

FACTIBILIDAD DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Cuando en una zona en particular se quiere saber si es factible la construcción de una central hidroeléctrica, es necesario hacer una serie de estudios previos, en aspectos tales como: Hidrología, Topografía, Geología, Sísmicidad y Ambiental, entre otros.

A continuación se explican y describe la factibilidad para la construcción de una central hidroeléctrica basada en los aspectos anteriormente señalados.

3.1 Hidrológica

Para determinar si es factible la construcción- desde el punto de vista hidrológico- de una central hidroeléctrica, es necesario hacer un estudio conocido como hidráulica de embalse -el cual consiste en realizarle a los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico un balance hídrico para la contabilización del flujo entrante y saliente de agua dentro de una cuenca- con la finalidad de determinar si en dicha cuenca, al final de un periodo dado de tiempo, habrá un volumen mínimo de agua con el cual proveer al embalse y así poder abastecer permanentemente determinada demanda de electricidad

A continuación se explica el ciclo hidrológico y el balance hídrico, como conocimientos previos que se deben tener al momento de diseñar una central hidroeléctrica.

3.1.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico se podría definir como el “proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta”. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea. (Ray, 1978)

El concepto de ciclo se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Este flujo de agua se produce por dos causas principales: la energía Solar y la gravedad.

González. (2003), explica: “Lamentablemente no todos los procesos que suceden en el sistema hidrológico son fácilmente medibles; de allí que procesos como el escurrimiento, la intersección, la evotranspiración, la infiltración y los procesos que se suceden en el subsuelo, solo pueden ser estimados”.

La figura 1 muestra en forma esquemática cómo el agua se evapora desde los océanos y la superficie terrestre hacia la atmósfera, donde se transporta y eventualmente se condensa en las nubes y precipita en forma de lluvia, nieve o granizo, regresando así a la superficie. Esta precipitación puede caer sobre cuerpos abiertos de agua, ser interceptada y transpirada por la vegetación, convertirse en escorrentía superficial y/o recargar las aguas subterráneas.

El agua que se infiltra en el terreno puede percolar hacia las zonas mas profundas y formar parte del almacenamiento de agua subterránea que eventualmente aparece como caudal o mezclarse con aguas salinas profundas cerca de las zonas costeras. En este último paso, el agua regresa al océano, del cual eventualmente será evaporada, cerrando así el ciclo. (Aparicio, 1992)



Figura 1. Ciclo Hidrológico

Fuente: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>.

3.1.2 Balance Hídrico

El balance hídrico es una herramienta versátil, que se utiliza para la cuantificación e interrelación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en una cuenca determinada, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales de disponibilidad del recurso

hídrico en dicha área. (González. 2003). Se basa en la ley de conservación de la masa.

a.- Parámetros del Balance Hídrico

El balance hídrico establece que:

Entradas - Salidas = Variación en el almacenamiento.

En el balance hídrico se considera entradas a los siguientes parámetros:

- Precipitación.
- Importaciones superficiales de otra cuenca.
- Retornos de la demanda.

Las salidas consideradas son las siguientes:

- Evapotranspiración real.
- Evaporación de cuerpos de agua.
- Evaporación en áreas urbanas.
- Escurrimiento superficial.
- Demanda interna en la cuenca.
- Demanda externa de la cuenca.

Como Cambio de almacenamiento:

- Recarga de acuíferos.
- Variación de nivel en cuerpos de agua (lagos, lagunas, embalses).

En la siguiente figura se muestran los parámetros a tomar en cuenta para la realización del balance hídrico de una cuenca, seguidamente se definen cada uno de dichos parámetros.

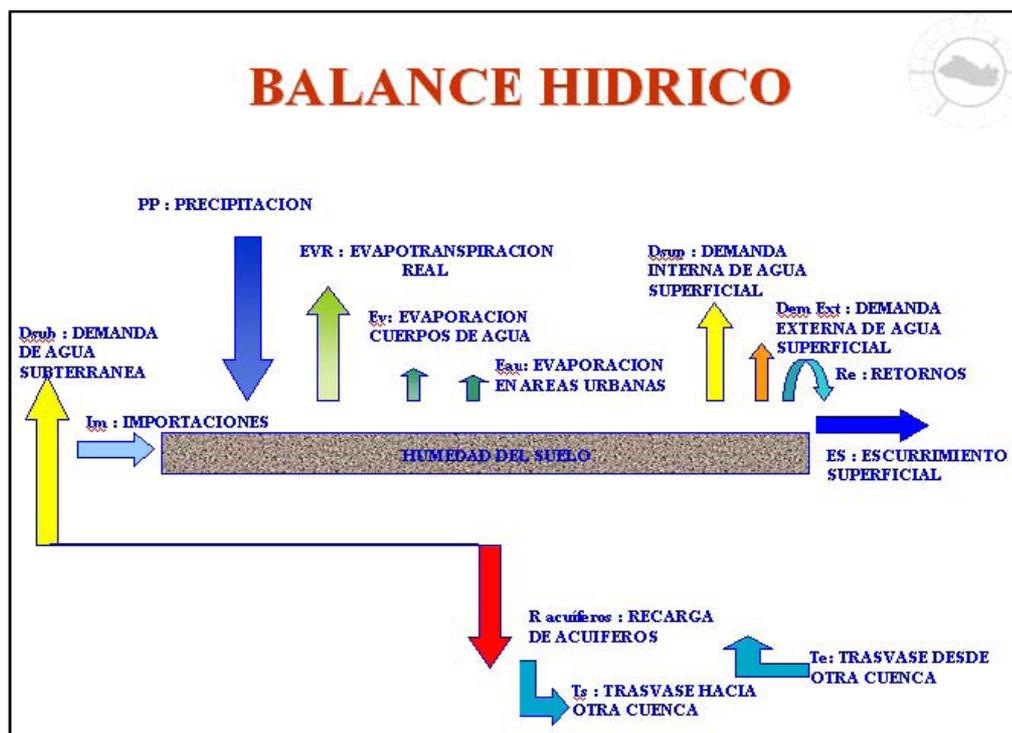


Figura 2. Esquema de Balance Hídrico

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales – Servicio Hidrológico Nacional Balance Hídrico Integrado y Dinámico – 2005.

➤ Precipitación

La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, nieve o granizo, constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca. Su medición se realiza a través de instrumentos llamados pluviómetros.

➤ **Importaciones Superficiales de otra Cuenca**

Dentro del modelo de Balance Hídrico, se considerará el aporte de las aguas superficiales que son llevadas como trasvase desde otro sitio (cuenca, lago, embalse, etc.) hacia la cuenca de análisis.

➤ **Retornos de la Demanda**

El retorno de la demanda constituye el porcentaje de agua que es devuelta al área de análisis (cuenca) debido a que no representa un uso consuntivo por parte de alguno de los sectores de usuarios, tales como la hidroelectricidad, las pérdidas de agua de los sistemas de abastecimiento de agua (tuberías), la devolución que se hace al final de un sistema de riego, entre otros. Estos retornos representan una entrada al modelo del Balance Hídrico.

➤ **Evapotranspiración Real**

La mayor pérdida de agua en una cuenca, es generalmente debida a la evapotranspiración, la cual es la combinación de pérdida de agua por evaporación en el suelo y la transpiración de las plantas. (Ray, 1978)

El término evapotranspiración involucra los conceptos de Evapotranspiración de Referencia, Evapotranspiración de Cultivo y Evapotranspiración Real, los cuales son explicados a continuación, con el objeto de mostrar la incidencia de la cobertura vegetal en la pérdida o en la retención de agua y la importancia de las condiciones del suelo en cuanto a su porosidad en este mismo aspecto.

La evapotranspiración de referencia es la pérdida de agua por evaporación y transpiración de un cultivo tomado como referencia (gramíneas o pastos), debido a condiciones climáticas. Es definida como “la evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de 8 - 15

cm de altura, uniforme, de crecimiento activo, que asombran totalmente el suelo y que no escasean de agua". Generalmente es simbolizada en los textos como ET₀. Su determinación se realiza a partir de datos climáticos, empleando diferentes fórmulas empíricas, cuya elección para el cálculo depende básicamente del tipo de datos climáticos disponibles en la zona. Las formulas más utilizadas en diferentes regiones son las de Penman, Penman-Montheith, Hargraves, Blaney-Criddle, entre otras, las cuales han sido calibradas localmente en algunos sitios.

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real.

Para Aparicio (1992)"El conocimiento de la evapotranspiración o uso consuntivo es un factor determinante en el diseño de sistemas de riego, incluyendo las obras de almacenamiento, conducción, distribución y drenaje. Especialmente, el volumen útil de una presa para abastecer a una zona de riego depende en gran medida del uso consuntivo" (p.56).

➤ **Evaporación de Cuerpos de Agua**

Los cuerpos de agua como lagos, lagunas y embalses presentan una gran pérdida de agua por evaporación debido a la radiación solar. Esta pérdida de agua puede ser estimada a partir de información de evaporación en tanques evaporímetros, o a través de fórmulas que estimen la perdida de agua por efectos climáticos.

➤ **Evaporación en Áreas Urbanas**

Las zonas urbanas presentan una pérdida alta de agua por escorrentía superficial, dado que el agua no puede infiltrarse por la impermeabilización que ha sufrido el terreno; sin embargo, parte del agua que cae en estas áreas es evapotranspirada por efectos climáticos y de cobertura vegetal en jardines, arriates y terrazas, y por la misma evaporación que se produce sobre el pavimento. Generalmente este parámetro no es considerado en forma separada, dentro de las pérdidas de agua, incluyéndolo dentro del cálculo de la evapotranspiración real.

➤ **Escurrimiento Superficial**

El escurrimiento superficial, es medido en los ríos a través de estaciones hidrométricas las cuales miden el caudal de agua que pasa por un punto determinado. Este caudal depende de la respuesta hídrica de la cuenca a la precipitación que cae en ella, está condicionado por el área de la cuenca, el tipo de cobertura vegetal, tipo de suelos y pendiente del terreno.

➤ **Demanda Interna**

Las demandas internas se refieren a los consumos de agua por parte de los diferentes sectores de usuarios (consumo humano, agrícola, industrial, comercial, turismo, energético, etc.) ubicados dentro de la cuenca.

➤ **Demanda Externa**

Las demandas externas se refieren a aquellos consumos de agua por parte de sectores de usuarios ubicados en otras cuencas, y que se abastecen del agua de otro sitio.

➤ **Variación de Almacenamiento**

Como resultado del balance hídrico se presenta la variación de almacenamiento el cual representa por una parte el volumen de agua que recarga los acuíferos y por otra parte, en el caso de existir cuerpos de agua como embalses, lagos y lagunas, el cambio en el nivel de los cuerpos de agua.

b.- Métodos del Balance Hídrico

- **Balance Hídrico General. Método Thornthwaite**

Este estudio permite desplegar un balance hídrico de una zona de gran extensión; provincias, ciudades, regiones, etc.

- Cálculo de la Evapotranspiración (ETP) por el método de Thornthwaite

El método de cálculo de Thornthwaite para obtener la ETP, utiliza como variable fundamental la temperatura media de cada mes, según el siguiente procedimiento:

- Cálculo del índice de calor mensual.

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Siendo "t" la temperatura media diaria en ° C.

- Cálculo del índice de calor anual:

$$I = \sum i$$

- Considerando meses teóricos de 30 días con 12 horas diarias de sol, se calcula la evapotranspiración potencial media en mm/día.

$$\epsilon = 16 \times \left(10 \times \frac{t}{I} \right)^a$$

Donde:

ϵ = evapotranspiración potencial media en mm/día

t = temperatura media diaria del mes en ° C

I = índice de calor mensual

$$a = (675 \times 10^{-9} \times I^3) - (771 \times 10^{-7} \times I^2) + (1972 \times 10^{-5} \times I) + 0.49239$$

- Considerando la duración real del mes y el número máximo de horas de sol según la latitud del lugar se obtiene la ETP en mm/mes.

$$ETP = K \times \epsilon$$

$$K = \frac{N}{12} \times \frac{d}{30} \times d$$

Donde:

N : número máximo de horas de sol según la latitud.

D : número de días del mes.

En el siguiente cuadro (cuadro 1) se muestra a manera de ilustración de los resultados de un balance hídrico por el método de Thornthwaite para el cálculo de la evotranspiración anual de una cuenca en estudio,

Cuadro 1

Cálculo de la ETP Anual por el Método de Thornthwaite

Año	Mes	Temperatura Instantánea (°C)	t = Índice de Calor Mensual	I = Índice de Calor Anual	a = Exponente utilizado para cálculo de ^a	^a = ETP media en (mm/día)	N = Número máximo de horas de sol según latitud	d = Número de días del mes	K = Factor de corrección	ETP (mm/mes)	ETP (mm/año)
1998	Enero	13.79	4.65	36.66	1.14	72.96	15.7	31	1.35	98.63	684.45
	Febrero	16.33	6.00			88.54	14.2	28	1.10	97.78	
	Marzo	13.61	4.55			71.85	12.5	31	1.08	77.33	
	Abril	10.26	2.97			51.98	10.7	30	0.89	46.35	
	Mayo	6.09	1.35			28.63	9.1	31	0.78	22.44	
	Junio	3.17	0.50			13.55	8.3	30	0.69	9.37	
	Julio	6.40	1.45			30.28	8.6	31	0.74	22.42	
	Agosto	5.94	1.30			27.79	9.9	31	0.85	23.69	
	Setiembre	6.53	1.50			30.96	11.7	30	0.98	30.19	
	Octubre	10.59	3.11			53.89	13.4	31	1.15	62.18	
	Noviembre	13.41	4.45			70.63	15.2	30	1.27	89.47	
	Diciembre	14.13	4.82			74.97	16.2	31	1.40	104.58	

Fuente: http://agrometeorologia.inia.gob.ve/index.php?option=com_content&task=view&id=46&Itemid=57

- **Balance Hídrico Puntual. Método de Penman**

El balance hídrico puntual es de gran utilidad para determinar necesidades netas de agua en proyectos, zonas de parques o áreas verdes y también en zonas de cultivos, en el método confluyen gran cantidad de elementos naturales, ya sean factores climáticos, geomorfológicos, tecnológicos, etc.

El objetivo de estos estudios es proporcionar mayor productividad de un recurso cada vez más escaso en nuestro planeta.

3.2 Geológica

Las condiciones de las cimentaciones dependen de las características geológicas y del espesor de los estratos que han de soportar el peso de la central, de su inclinación, permeabilidad y relación con los estratos subyacentes, fallas y fisuras existentes.

Se puede decir que, en general, una formación rocosa, densa y resistente, proporciona una cimentación adecuada para cualquier tipo de presa. Las presas de tierra y materiales graduados son las más adaptables hablando en términos de resistencia a las peores fundaciones; por otra parte las presas de concreto requieren consideraciones especiales en su fundación, mas si es del tipo de arco ya que la forma del arco transmite grandes esfuerzos a los estribos y bases de la presa.

3.3 Sísmica

Si la presa está ubicada en una zona de posibles sismos, el proyecto debe prever la carga adicional y el incremento de tensión que se produce. Los tipos de presas más adecuados para resistir terremotos sin daños son: Las presas de tierra y las de gravedad de hormigón.

CAPITULO IV

TECNOLOGÍA Y APLICACIONES

4.1. Características de la Energía Hidroeléctrica

La superficie terrestre está cubierta en un 71% de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calienta la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, provocando la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares. Las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica.

4.1.1. Potencial Hidroeléctrico

La potencia de una central hidroeléctrica es proporcional a la altura del salto y al caudal turbinado, por lo que es muy importante determinar correctamente estas variables para el diseño de las instalaciones y el dimensionamiento de los equipos.

La expresión que nos proporciona la potencia instalada en una central hidroeléctrica es la siguiente:

$$P = 9,81 * Q * Hn * e$$

EC. 1

Donde:

P = Potencia en kW Q = Caudal de equipamiento en m³/s

Hn = Salto neto existente en metros

e = Factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía:

$$e = Rt * Rg * Rs$$

EC.2

Donde:

Rt = Rendimiento de la turbina

Rg = Rendimiento del generador

Rs = Rendimiento del transformador de salida

Según el tipo de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia para una central hidroeléctrica moderna el valor de 0,85.

Una vez conocida la potencia es posible calcular la producción media de la minicentral hidroeléctrica, como producto de la potencia en cada momento por las horas de funcionamiento.

De forma más precisa, la producción podría calcularse con la siguiente expresión:

$$E \text{ (Kwh)} = 9,81 * Q * H_n * T * e * \eta$$

EC.3

Donde:

T = n° de horas de funcionamiento (con Hn y Q fijos)

η = coeficiente de imponderables que refleja las pérdidas de energía debidas al mantenimiento y reparación de la central, incluso la disponibilidad del agua y la necesidad del mercado eléctrico.

4.1.2. Instalaciones de Obra Civil

La obra civil engloba las infraestructuras e instalaciones necesarias para derivar, conducir y restituir el agua turbinada, así como para albergar los equipos electromecánicos y el sistema eléctrico general y de control. entre ellas se mencionan:

- Azud
- presa
- Aliviaderos
- Obras de conducción
- Casa de maquinas

4.3.1. Azud

Muro transversal al curso del río, de poca altura, que provoca un remanso de agua sin producir una elevación notable del nivel. Su objetivo es desviar parte del caudal del río hacia la toma de la central. Aquella

parte que no es derivada vierte por el aliviadero y sigue su curso normal por el río.

El azud puede construirse de hormigón, ladrillos, escollera o tierra. Resiste al empuje del agua por su propio peso, aunque en los azudes de tierra y escollera se suele colocar un anclaje al terreno con el fin de aumentar su estabilidad.

4.3.2. Presa

Las presas son barreras artificiales, de diferentes materiales, que se construyen en algunos ríos para embalsarlos y retener su caudal, en otros casos, la presa deriva un cierto caudal hacia las obras de conducción.

Para levantar la presa, se construye un túnel que desvía provisionalmente el cauce del río; por tal razón dicho túnel se llama túnel de desviación; luego en el área libre se construye la obra.

a.- Clasificación de las Presas

Hay varios tipos de presas, según la forma de resistir el empuje hidrostático.

- **Presas de gravedad de Tierra**

Una presa puede denominarse de relleno de tierra si los suelos compactados representan más del 50% del volumen colocado de material (El elemento roca llega a ser secundario en cuanto a volúmenes) (Ver figura 7). Las presas de tierra son el tipo más común, porque pueden

construirse casi con cualquier material con equipo de construcción rudimentario y son hechas para aprovechar los materiales disponibles en el sitio (Ray.1978). Las presas de tierra se han construido con éxito



utilizando grava, arena, limo, polvo de roca y arcilla.

Figura 7. Presa de tierra McPhee ,Colorado. USA

Fuente:http://www.cesel.com.pe/imagenes/images_grandes/embals_pasto_grande_2.jpg

- **Presa de gravedad de escollera o enrocado**

Suelen tener una gran base y poca altura. No utilizan hormigón y están constituidas normalmente por los materiales propios del terreno donde se asientan. Se emplean en centrales grandes y pequeñas. La designación como "presa de roca" o "presa de enrocado" es apropiada cuando más del 50% del material de relleno se pueda clasificar como roca, es decir, material resistente a la fricción de granulometría gruesa, como en el caso de piedras de naturaleza permeables compactadas o descargadas (Ver figura 8). El relleno de roca puede ser con rocas que varían en tamaño desde fragmentos pequeños hasta rocas de 25 Ton. La presa de enrocado tiene dos componentes estructurales básicos: una membrana impermeable y un terraplén que soporta a la membrana. Según (Ray, 1978) "Una presa de enrocamiento con buen diseño y cuidadosa construcción tiene alta resistencia a los temblores, debido a su carácter flexible"

(P. 263)



Figura 8. Represa de Kleine, Kinzig

Fuente: http://fluidos.eia.edu.co/presas/tipos_presa/imagenes/m_inte12.jpg

- **Presa de gravedad en concreto**

Se construye de hormigón y el terreno que la sujeta tiene que ser muy consistente. Ver la siguiente figura.



Figura 9. Represa Yacyretá, Yacyretá. Argentina

Fuente:<http://filatina.files.wordpress.com/2009/12/yacyreta-repres2009.jpg>

- **Presa en arco.**

En este caso el esfuerzo del empuje del agua se transmite hacia las laderas del valle, de ahí que su forma implique cierta curvatura. La convexidad que forma la presa está vuelta hacia el embalse. En el caso de las presas de arco, la presa transfiere una carga muy importante hacia las laderas que por lo tanto deben ser rocas muy resistentes es por eso que Suelen situarse en valles angostos con laderas rocosas de buena calidad. Ver figura 10.



Figura 10. Presa en arco

Fuente:http://fluidos.eia.edu.co/presas/tipos_presa/imagenes/elatazar_dam_1.jpg

4.3.3. Los Aliviaderos

Los aliviaderos son elementos vitales de la presa que tienen como misión liberar, en el caso de ser necesario, parte del agua embalsada sin que esta pase por la sala de máquinas. (Ray 1978) .Ver imagen de aliviaderos en figura 11. Se encuentran en la pared principal de la presa y pueden ser de fondo o de superficie.

Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra a pie de presa, llamada de amortiguación.

Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas, de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación.



Figura 11. Aliviadero de una Central Hidroeléctrica

Fuente:http://grupos.emagister.com/imagen/aliviadero_de_la_central_hidroelectrica_manuel_carlos_piar_tocoma_edo_bolivar_venezuela/t175373-0.jpg

4.3.4. Obras de Conducción

Son las que realizan el traslado del agua desde el embalse hasta las turbinas. Las más importantes son:

- Tomas de Agua

Las tomas de agua son construcciones adecuadas que permiten recoger el líquido para llevarlo hasta las máquinas por medios de canales o tuberías.

La toma de agua de las que parten varios conductos hacia las tuberías, se hallan en la pared anterior de la presa que entra en contacto con el agua embalsada. Esta toma además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas

que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a los álabes y producir desperfectos.

- Tubería de Presión o Forzada

Es la tubería que se encarga de llevar el agua desde el embalse hasta la turbina. Como su nombre lo especifica, son conductos tubulares que soportan grandes presiones internas causadas por el agua. Cuentan con válvulas disipadoras de energía y de admisión para regular el flujo hacia las turbinas soportan la presión que produce la columna de agua, además de la sobre-presión que provoca el golpe de ariete en caso de parada brusca de la central. El diámetro suele ir en función del caudal

4.3.5. Casa de Máquinas

Es la edificación donde se produce la energía eléctrica. Allí se encuentran alojadas los equipos electromecánicos como lo son las turbinas, los generadores, la sala de control y los equipos auxiliares. Ver figura 12.



Figura 12. Casa de Maquinas

Fuente:<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d0/GuavioCasa.jpg/240px-GuavioCasa.jpg>

4.4 Equipamiento Electromecánico

4.4.1. Turbinas

Es el elemento mecánico mediante el cual se transforma la energía hidráulica en mecánica para accionar el generador. Las turbinas hidráulicas son de varios tipos, en general se tienen:

- Turbinas Pelton.

Son ruedas de impulso empleadas en caídas grandes. El eje es de posición horizontal. Con respecto a las turbinas Pelton, Merrit (1997) señala “Las turbinas de impulso (pelton) suelen utilizarse para cargas mayores de 1000 pies. No hay límite inferior de carga para las turbinas de impulso. Se han utilizado con caídas de apenas 50 pies; sin embargo, la turbina de reacción Francis es más adecuada para cargas bajas con grandes caudales” (P. 21-164). Como ejemplo de este tipo son las turbinas de las centrales San Carlos, Tasajera y Chivor. Figura 13.



Figura 13. Turbina Pelton

Fuente: <http://members.tripod.com/adm/interstitial/remote.jpg>

- Turbinas Francis.

Llamadas también de reacción, de remolino o de vórtice. En ellas el agua incide de costado y luego el chorro cae verticalmente. Se emplean en caídas medianas. Respecto a las turbinas Francis, Merrit (1997) dice “Se utilizan para caídas entre 100 y 1000 pies. Ejemplos de este tipo de turbina son las instaladas en las plantas Jaguas, Playas y Porce II. Figura 14.

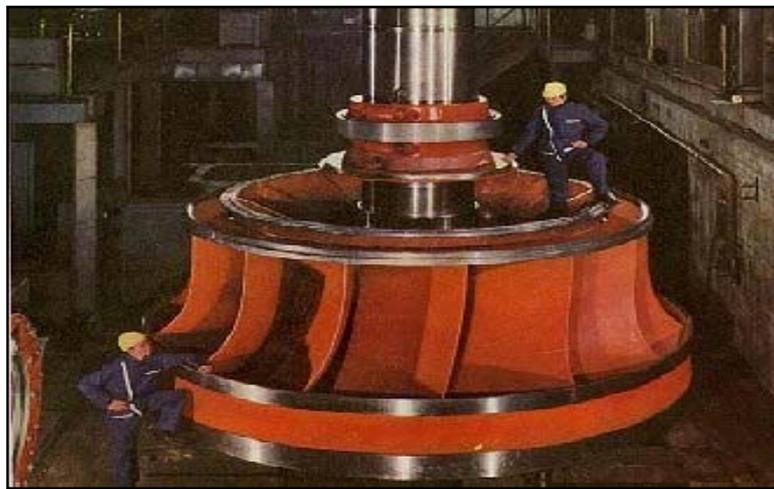


Figura 14. Turbina Francis

Fuente:<http://www.erenovable.net/blog/wpcontent/uploads/2008/10/turbina-francis.jpg>

- Turbina Kaplan

Son turbinas de admisión total y turbinas de reacción. Se usan en saltos de pequeña altura con caudales medianos y grandes. Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, pero también se pueden instalar de forma horizontal o inclinada como se muestra en la figura 15.

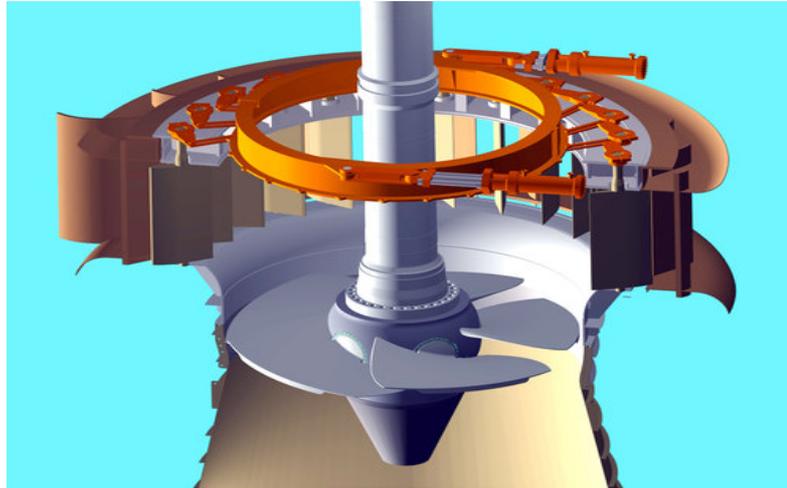


Figura 15. Turbina Caplan

Fuente:<http://commondastorage.googleapis.com/static.panoramio.com/photos/original/11793894.jpg>

4.4.2. Generador

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica.

El generador basa su funcionamiento en la inducción electromagnética. El principio de su funcionamiento se basa en la ley de Faraday, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador, o alternador, está compuesto de dos partes fundamentales:

- Rotor ó inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
- Estator ó inducido fijo. Sobre el es que se genera la corriente eléctrica aprovechable. Ver las siguientes figuras.



Figura 16. Estator

Fuente: http://la80.net/images/imagenes_80/estator.jpg



Figura 17. Rotor

Fuente: http://3.bp.blogspot.com/_DhZb7nXFrm8/SXBWKJ9QhTI/AAAAAA AAAAs/wHPOC9U3PxU/s400/affafafaa.gif

La corriente eléctrica se origina en el campo magnético establecido entre el rotor y el estator; al girar el rotor impulsado por la turbina se rompe el campo magnético produciéndose una corriente de electrones.

Esta corriente se induce a relativamente bajo voltaje, por lo que se envía al transformador de potencia, el cual sube el voltaje a un valor muy alto para que se efectúe la transmisión hasta los centros de consumo. En estos hay subestaciones reductoras cuyos transformadores reducen el voltaje para distribuir la corriente en la zona. Finalmente, cerca de las instalaciones del usuario ocurre una última reducción del voltaje para ajustarlo a las características del funcionamiento de los aparatos. El fenómeno físico mediante el cual se obtiene la energía eléctrica se denomina inducción electromagnética.

4.4.3. Sala de Control

Como se capta por el nombre, la sala de control es el sitio donde un personal sumamente capacitado efectúa la labor de control del proceso total de generación de la planta. Para tal efecto cuenta con tableros indicadores, alarmas y protecciones, sistemas de comunicación, tableros de mano para las subestaciones, entre otros.

4.4.4. Equipos Auxiliares

Tales como bombas de agua para el enfriamiento de las unidades, bombas lubricantes, extinguidotes de fuego, equipos para la autoalimentación eléctrica, banco de baterías, grúa viajera, oficinas y salas varias, taller y bodega.

4.4.5. Subestación

Los generadores de la planta producen la corriente eléctrica a relativamente bajo voltaje, Por tal motivo es necesario utilizar una subestación, la cual cuenta con otra serie de equipos que permite regular dicho servicio. La subestación se instala contigua ó cerca de la planta

generadora y en ella se encuentran los siguientes equipos: transformadores de potencia, disyuntores, succionadores, transformadores de medición de corriente, aisladores de paso, pararrayos, malla a tierra, Hilos-guarda, etc. Figura 18.



Figura 18. Transformadores de Potencia

Fuente: <http://www.adimarco.com.br/Imagens/subestacao2.jpg>

4.5 Usos y Aplicaciones

El alto grado de rendimiento que se obtiene en la transformación de la energía en electricidad, contenida en los ríos y cauces de agua, es muy alto. Por eso, la energía hidráulica como fuente de energía se utiliza casi exclusivamente en la producción de electricidad.

Las centrales hidroeléctricas tienen aplicaciones muy diferentes según las necesidades energéticas que existan en la zona donde se instala, aunque fundamentalmente se emplean en la generación de

electricidad con la finalidad de satisfacer la demanda eléctrica de los centros de consumo domestico, comercial, industrial y de servicios.

4.6 Operación de la Central

Con cierta frecuencia se tiende a confundir la planificación y diseño de sistemas de recursos hidráulicos con la operación de éstos. A ello se debe que en muchos casos se utilicen únicamente registros históricos de precipitaciones para establecer la forma en que un sistema debe operar.

Este enfoque resulta generalmente en que el sistema operará en condiciones de hidrología promedio, lo que no es muy acertado para determinar las condiciones de operación en contingencia. Tampoco permite establecer correctamente las políticas operativas más convenientes en el caso de serlas y extremas condiciones hidrológicas diferentes a las promedio.

Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico global permanece constante, la distribución de esta agua está cambiando continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje (Chow et al, 1988; Döll et al, 2003). Por esta razón, es necesario para el manejo y administración de áreas conocer la forma en que se distribuyen y comportan los distintos componentes del ciclo hidrológico y el efecto que tienen el clima y las actividades humanas sobre ellos.

En este sentido, los modelos matemáticos de balance hídrico han sido ampliamente utilizados para la evaluación de los recursos hídricos y la predicción cuantitativa bajo distintos escenarios de clima y uso de la tierra (Yates, 1996, 1997; Guo et al, 2002; Döll et al, 2003).

A continuación se definen, clasifican y describen algunos conceptos y métodos importantes sobre los modelos matemáticos que son herramientas útiles en la operación de una central hidroeléctrica.

4.6.1 Modelo

Según el diccionario de la real academia española, un modelo es un arquetipo ó punto de referencia para imitarlo o reproducirlo. Para Davis (1956) “Podemos definir con el nombre de modelo todo sistema por medio del cual se pueden predecir las características de otros sistemas semejantes”. (p.1189)

- **Definición de Modelo Matemático**

En el campo de las ciencias aplicadas, un modelo matemático es un tipo de modelo científico que utiliza algún formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones.

Estos modelos se utilizan para analizar los comportamientos de sistemas complejos ante situaciones que resultan difíciles de observar en la realidad.

Los modelos de las ciencias físicas constituyen una traducción de la realidad física para posibilitar la aplicación de los instrumentos y las técnicas de las teorías matemáticas en el estudio del comportamiento de sistemas complejos. Siguiendo el camino inverso, pueden traducirse los resultados numéricos a la realidad física.

4.6.2 Clasificaciones de Modelos Matemáticos según el Grado de Incertidumbre de los Resultados

a.- Determinista

Se conoce de manera puntual la forma del resultado ya que no hay incertidumbre. Además, los datos utilizados para alimentar el modelo son completamente conocidos y determinados. Según Chow et al “un modelo determinista no considera aleatoriedad; una entrada dada produce siempre una misma salida” (p.10).

b.- Estocástico

Probabilístico, que no se conoce el resultado esperado, sino su probabilidad y existe por tanto incertidumbre. Según Chow et al (1994) “un modelo estocástico tiene salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias” (p.10)

4.6.3 Tipos de Modelos en Función del Origen de la Información Utilizada para Construirlos

a.- Modelos Heurísticos

Del griego euriskein, hallar, inventar. Son los que están basados en las explicaciones sobre las causas o mecanismos naturales que dan lugar al fenómeno estudiado.

b.- Modelos Empíricos

Del griego empíricos (experiencia, experimento) Son los que utilizan las observaciones directas ó los resultados de experimentos del fenómeno estudiado.

4.6.4 Tipos de Modelos en Función de su Campo de Aplicación

a.- Modelos Conceptuales

Son los que reproducen mediante fórmulas y algoritmos matemáticos más o menos complejos los procesos físicos que se producen en la naturaleza, desde el momento en que se inicia la precipitación pluvial sobre la cuenca hidrográfica en examen.

b.- Modelo de Optimización

Los modelos matemáticos de optimización son ampliamente utilizados en diversas ramas de la ingeniería para resolver problemas que por su naturaleza son indeterminados, es decir presentan más de una solución posible.

La definición de cual de las múltiples opciones utilizar se hace con el auxilio de una función objetivo. La función objetivo generalmente tiene un carácter económico.

Los algoritmos matemáticos usados para optimizar funciones objetivo son, entre otros: la programación lineal, la programación dinámica.

4.6.5 Representación de los Modelos

a.- Conceptual

Por una descripción cualitativa bien organizada que permite la medición de sus factores.

b.- Matemático

Se refiere a una representación numérica por aspectos lógicos y estructurados con aspectos de la ciencia matemática. Pueden ser números, letras, imágenes, símbolos.

c.- Físico

Basado en aspectos de la ciencia física, de aquellos movimientos de los cuerpos, y que además es cuantificable. Estos modelos generalmente representan el fenómeno estudiado utilizando las mismas relaciones físicas del prototipo pero reduciendo su escala para hacerlo manejable. Por ejemplo pertenecen a este tipo de modelo las representaciones a escalas reducidas de presas hidráulicas, puertos, ó de elementos de estas obras, como un vertedero ó una escollera.

4.6.6 Categorías por su aplicación

a- Simulación

De situaciones medibles de manera precisa ó aleatoria, por ejemplo con aspectos de programación lineal cuando es de manera precisa, y probabilística ó heurística cuando es aleatorio.

b.- Optimización

Para determinar el punto exacto para resolver alguna problemática administrativa, de producción, ó cualquier otra situación. Cuando la optimización es entera ó no lineal, combinada, se refiere a modelos matemáticos poco predecibles, pero que pueden acoplarse a alguna alternativa existente y aproximada en su cuantificación.

c.- Control

Para saber con precisión como está algo en una organización, investigación, área de operación, etc.

4.6.7 Modelo Matemático de Simulación Hidrológica

Se utilizan para estudiar situaciones extremas, difícilmente observables en la realidad, como por ejemplo los efectos de

precipitaciones muy intensas y prolongadas en cuencas hidrográficas, en su estado natural, ó en las que se ha intervenido con obras como canales, represas, diques de contención, puentes, etc.

Los modelos matemáticos de simulación de procesos hidráulicos, consisten generalmente en sistemas de ecuaciones diferenciales que describen el fenómeno hidráulico, generalmente en regímenes transitorios, que son resueltos por métodos numéricos con el auxilio de computadoras. Según Chow et al (1994) “Un modelo de sistema hidrológico es una aproximación al sistema real, sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas” (p.8)

En la figura 19 se presentan las principales variables que intervienen en los modelos de simulación hidrológica de la operación de una represa.

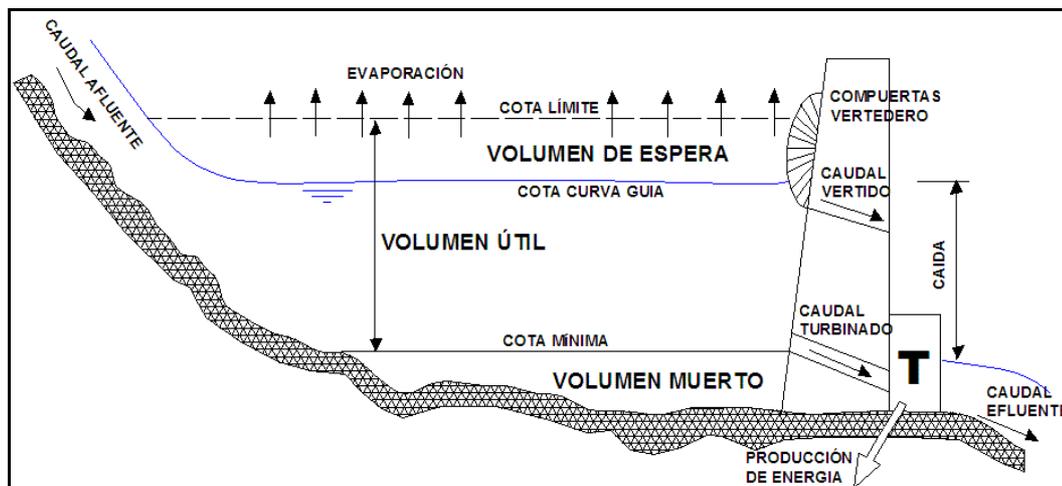


Figura 19. Principales Variables que Intervienen en los Modelos de Simulación Hidrológica de la Operación de una Represa

Fuente: Fuente: <http://www.h2bio.net/dmdocuments/artigos/OR7.pdf>

El modelo matemático de simulación hidrológica utiliza, en cada intervalo de tiempo, una expresión discretizada de la ecuación de continuidad. Ver (ec 1)

$$V_{t+1} = V_t + \frac{(QA_t + QA_{t+1}) \times \Delta t}{2 \times 10^6} - \frac{(QE_t + QE_{t+1}) \times \Delta t}{2 \times 10^6} - \frac{E_{t+1} \times A_t}{10^3}$$

Ec. 1

En esa ecuación t indica el intervalo de tiempo anterior; $(t+1)$ indica el intervalo de tiempo actual; $V(t+1)$ es el volumen del embalse en $(t+1)$ [hm³]; V_t es el volumen del embalse en t (hm³); QA_t es el caudal afluente en t (m³.s⁻¹); $QA(t+1)$ es el caudal afluente en $(t+1)$ (m³.s⁻¹); QE_t es el caudal efluente en t (m³.s⁻¹); $QE(t+1)$ es el caudal efluente en $(t+1)$ (m³.s⁻¹); t es el intervalo de tiempo (1 día); $E(t+1)$ es la evaporación líquida diaria en el intervalo $(t+1)$ (mm); A_t es el área del embalse para un volumen V_t (km²).

A cada intervalo de tiempo esa ecuación es resuelta para el término $V(t+1)$, considerando conocidos los caudales afluentes (QA) en los tiempos t y $(t+1)$, y considerando que existe una relación directa entre el caudal efluente y el volumen almacenado (o el nivel del agua en el embalse). Así, el volumen V_t define el caudal efluente $QE(t+1)$ y el caudal efluente QE_t es definido por el volumen almacenado en el intervalo anterior $V(t-1)$. Se trata, por lo tanto, de un método explícito de solución de la ecuación de balance hídrico. Se consideró esta simplificación válida dado que fue utilizado, en la operación, un intervalo de tiempo diario, que es relativamente pequeño. El caudal efluente total es dado por la suma del caudal turbinado y vertido, como definida en la ecuación 2:

$$QE_{t+1} = QT_{t+1} + QV_{t+1}$$

Ec. 2

Donde $QE(t+1)$ es el caudal efluente en $(t+1)$ ($m^3.s^{-1}$); $QT(t+1)$ es el caudal turbinado en $(t+1)$ ($m^3.s^{-1}$) función de la cota del embalse en t y de la curva de caudal turbinado; $QV(t+1)$ es el caudal vertido en $(t+1)$ ($m^3.s^{-1}$) función de la cota del embalse en t y de la curva de descarga del conjunto de vertederos.

La utilización de la ecuación 1 en forma recursiva a lo largo de toda la serie de caudales afluentes observados resulta en una serie de volúmenes y niveles del agua (H_t) correspondientes. Así, una de las dos siguientes situaciones se pueden presentar al final de un intervalo de tiempo: 1) el volumen calculado $V(t+1)$ es tal que $H(t+1)$ correspondiente es igual o inferior a la curva guía; 2) el volumen $V(t+1)$ es tal que $H(t+1)$ correspondiente es superior a la curva guía. En el caso 1, el caudal vertido $QV(t+1)$ del próximo intervalo de tiempo es igual a cero. En el caso 2, el caudal vertido en el próximo intervalo de tiempo es tal que al final del

balance el nivel del agua es exactamente igual al nivel definido por la curva guía. En ese caso, el valor del caudal vertido es calculado de acuerdo con la ecuación 3:

$$QV_{t+1} = \frac{2 \times 10^6}{\Delta T} (V_t - V_{reg\ t+1} - \frac{E_{t+1} \times A_t}{10^3}) + QA_t + QA_{t+1} - QE_t - QT_{t+1}$$

Ec. 3

Donde $QV(t+1)$ es el caudal vertido en $(t+1)$ ($m^3.s^{-1}$); V_t es el volumen del embalse en t (hm^3); QA_t es el caudal afluente en t ($m^3.s^{-1}$); $QA(t+1)$ es el caudal afluente en $(t+1)$ ($m^3.s^{-1}$); QE_t es el caudal efluente en t ($m^3.s^{-1}$); Δt es el intervalo de tiempo (1 día); $E(t+1)$ es la evaporación líquida diaria en $(t+1)$ (mm); A_t es el área del embalse para un volumen V_t (km^2); $QT(t+1)$ es el caudal turbinado en $(t+1)$ ($m^3.s^{-1}$); $V_{reg}(t+1)$ es el volumen indicado por la curva guía en $(t+1)$ (hm^3).

Las restricciones operacionales consideradas para la protección contra inundaciones incluyen límites en el valor máximo del caudal efluente para evitar inundaciones aguas abajo de la represa y límites en el nivel del agua del embalse para evitar inundaciones aguas arriba de la represa. Así, en los casos en que el caudal vertido calculado por la ecuación 3 resulta en un caudal efluente total superior al límite impuesto por la restricción de aguas abajo Q_{lim} , el caudal vertido es recalculado, siendo su valor limitado para impedir que el caudal efluente total $QE(t+1)$ supere el límite Q_{lim} , como expresado en la ecuación 4.

$$QV_{T+1} = Q_{lim} - QT_{T+1}$$

Ec. 4

En ese caso, el nivel del agua en el embalse puede ser superior al nivel definido por la curva guía, pero el caudal efluente máximo no es

superado. Eso significa que la restricción dada por el límite de caudal aguas abajo de la represa es considerada mas importante que la restricción que limita el nivel del agua en el embalse para evitar inundaciones en las ciudades localizadas aguas arriba de la represa.

Considerando que existe una relación directa entre el caudal turbinado y el nivel del embalse, la potencia media generada a lo largo de un día puede ser calculada por la ecuación 5. Finalmente, la potencia media a lo largo de toda la serie analizada puede ser calculada por la ecuación 6:

$$\text{Pot}_t = 0.00981 \times \text{rend} \times \text{QT}_t \times (\text{H}_t - \text{H}_{cf})$$

Ec. 5

$$\text{Pm} = \frac{\sum_{t=1}^N \text{Pot}_t}{N}$$

Ec. 6

Donde Pott es la potencia media generada en el día t (MWmed); QTt es el caudal turbinado (m³.s⁻¹) en t; Ht es la cota del nivel del agua del embalse en el día t (m); Hcf es la cota del nivel del agua, inmediatamente aguas abajo de la represa, considerada constante e igual a 518,0m; (Ht – Hcf) es la caída de agua en el día t (m); rend es el rendimiento de la central considerado constante e igual a 0,873; N es el número de intervalos de tiempo de la simulación y Pm es a potencia media generada en el período N (MWmed).

4.6.8 Curvas Guías para el Monitoreo del Volumen de Agua de un Embalse

Las curvas guías, son la representación gráfica de las reglas de operación de un embalse y se utilizan para indicar volúmenes (o niveles del agua) ideales del embalse en función de determinados objetivos.

Una técnica actualmente utilizada para definir curvas guía óptima es conocida como parametrización, simulación y optimización. Esa técnica fue utilizada por diversos investigadores para definir reglas de operación de una represa (4)(5)(6)(7) y de un sistema de represas (8)(9)(10)(11).

Todos los trabajos que utilizaron esas técnicas definieron curvas guía lineal utilizando algoritmos evolutivos para definir la posición óptima de las discontinuidades de las curvas guía. A continuación se muestra una curva guía obtenida a partir de simulaciones matemáticas hechas a una represa con dos usos conflictivos: producción de energía eléctrica y control de inundaciones.

- **Curva Guía para Protección contra Inundaciones y Volumen de Espera**

Para atender esos dos objetivos, producción de energía y protección contra inundaciones, el nivel del agua en el embalse es disminuido en el inicio y durante el período lluvioso, para permitir atenuar los caudales afluentes altos. En función de eso, ocurre una disminución de la producción energética, si comparada al escenario de maximización del nivel del agua en el embalse. El volumen creado en el embalse por el rebajamiento del nivel es denominado de volumen de espera.

El volumen de espera puede ser constante a lo largo del año, o variable de acuerdo con la estacionalidad de las lluvias. Valores máximos de volúmenes de espera son necesarios en la época de mayores precipitaciones y valores mínimos pueden ser adoptados durante los

meses de poca lluvia. La curva definida por la relación entre el nivel del agua necesario para garantizar un determinado volumen de espera y la época del año es conocida como curva guía para protección contra inundaciones.

Esa curva representa una regla de operación simple para protección contra inundaciones que puede ser definida como a seguir: si el nivel del agua en el embalse estuviera sobre el indicado por la curva guía es necesario verter; si estuviera debajo no es necesario verter. Un ejemplo simple de curva guía es indicada en la figura 20.

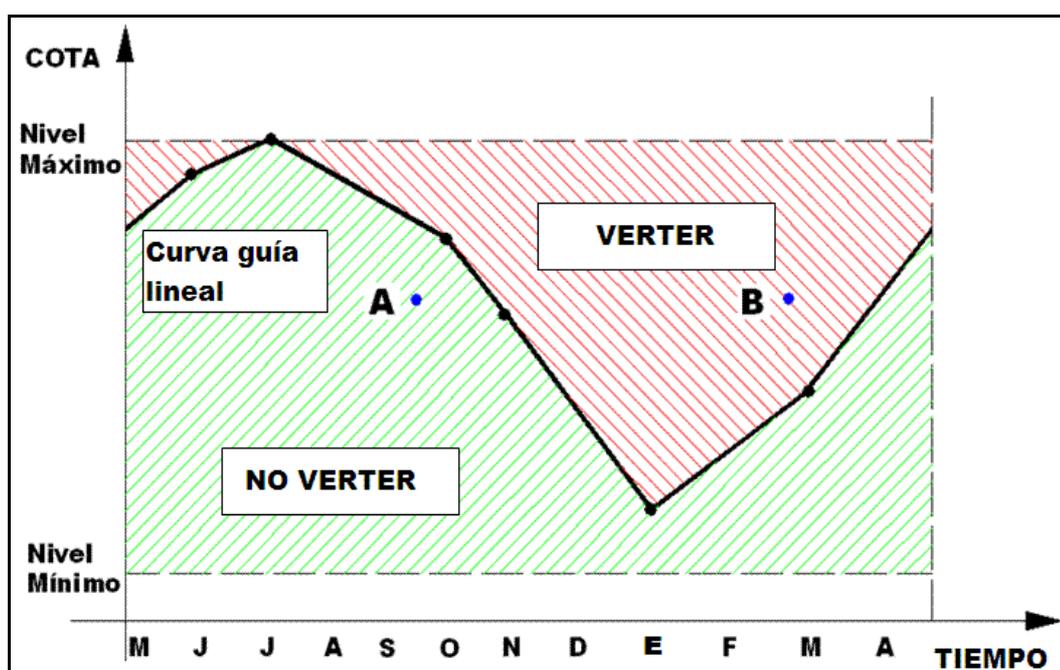


Figura 20. Ejemplo de Curva Guía con Volumen de Espera Variable anual

Fuente: <http://www.h2bio.net/dmdocuments/artigos/OR7.pdf>

La operación definida por la curva guía es diferente si el nivel del agua en el embalse se encuentra en la posición indicada por "A" o "B" (figura 1) a pesar de que esos puntos representen una misma cota. Así, en la situación dada por el punto A, no es necesario verter, porque el

punto está debajo de la curva guía. En la situación B es necesario verter hasta alcanzar nuevamente la curva guía. Con caudales afluentes favorables (caudales altos), el nivel del agua en el embalse sigue la curva guía. Con caudales afluentes desfavorables el nivel del agua permanece debajo de la curva guía.

En la operación normal, el embalse vuelve a quedar lleno al final de un período lluvioso, garantizando la producción de energía durante los meses de recesión. En un año con período lluvioso anormal, o inferior de lo esperado, es posible que el embalse no vuelva a quedar completamente lleno al final del período de lluvias, implicando en riesgos en atender el 100% de la demanda durante el período de recesión.

4.6.9 Importancia del Uso de los Modelos Matemáticos en el Monitoreo de la Operación de una Central Hidroeléctrica.

La importancia del modelaje matemático consiste en que mediante el se puede realizar una planificación estratégica del proceso de generación de una central hidroeléctrica. Mediante la simulación del proceso se pueden obtener estimaciones de datos relevantes de la operación de la central, como lo son: el nivel de agua del embalse, los caudales de agua turbinada y aliviada en cualquier instante del funcionamiento del sistema, las pérdidas y rendimientos, entre otros.

CAPITULO V

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA HIDROELECTRICIDAD

5.1 Ventajas

- El principal beneficio, de la electricidad es la capacidad que tiene la misma de apoyar el desarrollo económico y mejorar la calidad de la vida de las personas puesto que los proyectos hidroeléctricos requieren mucha mano de obra y ofrecen oportunidades de empleo. Los caminos y otras infraestructuras pueden dar a los pobladores mayor acceso a los mercados para sus productos, escuelas para sus hijos, cuidado de salud y otros servicios sociales.
- Además, la generación de la energía hidroeléctrica proporciona una alternativa para la quema de los combustibles fósiles, ó la energía nuclear, que permite satisfacer la demanda de energía sin producir agua caliente, emisiones atmosféricas, ceniza, desechos radioactivos ni emisiones de CO_2 .
- Uso no consuntivo del agua, ya que ésta se recoge del río en un punto y se devuelve al cauce en una cota inferior, una vez transformada su energía en energía eléctrica a su paso por la turbina.
- Carácter autóctono, por lo que su desarrollo implica la reducción del grado de dependencia del sector energético exterior y el refuerzo de la seguridad del suministro.

- Energía limpia, no produce residuos contaminantes, excepto en la fase de construcción, en que deben extremarse las medidas minimizadoras de impactos ambientales.

- Carácter de generación distribuida, ya que en muchas ocasiones las unidades de producción renovables se encuentran cerca de los puntos de consumo. La distancia entre los lugares de generación y consumo final provoca unas pérdidas al sistema de aproximadamente el 10% de la producción neta de electricidad.

- Es respetuosa con el medio ambiente, porque los impactos que genera son pequeños y fácilmente minimizables, incluso muchos son evitables si se toman las medidas adecuadas (escalas para peces, caudal ecológico, soterramiento de tuberías, etc.).

- Es inagotable gracias al ciclo hidrológico natural.

- La intensificación de la agricultura, localmente, mediante el uso del riego, puede, a su vez, reducir la presión que existe sobre los bosques primarios, los hábitats intactos de la fauna, y las áreas en otras partes que no sean adecuadas para la agricultura. Asimismo, las represas pueden crear pesca en el embalse y posibilidades para producción agrícola en el área del embalse que pueden más que compensar las pérdidas sufridas por estos sectores debido a su construcción.

5.2 Desventajas

- La constitución del embalse supone la inundación de importantes extensiones de terreno, a veces áreas fértiles o de gran valor ecológico, así como el abandono de pueblos y el desplazamiento de las poblaciones.

5.3 Perspectivas de la hidroelectricidad

Aproximadamente dos tercios del potencial hidroeléctrico económicamente viable quedan aún por desarrollar. La energía hidráulica no aprovechada es todavía muy abundante en América Latina, África central, India y China. En términos globales, de acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía, hay 3.770 GW hidroeléctricos adicionales técnicamente viables, de los que 2.150 son económicamente viables. La mayor parte de estos MW se encuentra, como se pone de manifiesto en el gráfico, en países en vías desarrollo en donde el futuro de la energía hidroeléctrica es esperanzador.

5.4 Barreras y medidas

a.- Barreras

Actualmente la generación de electricidad de origen hidráulico sigue encontrando importantes barreras de tipo administrativo que dificultan su desarrollo y avanza más despacio de lo previsto. Ha aumentado la crítica de estos proyectos durante la última década. Los críticos más severos sostienen que los costos sociales, ambientales y económicos de estas represas pesan más que sus beneficios y que, por lo tanto, no se justifica la construcción de las represas grandes. Otros mencionan que, en algunos casos, los costos ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos a un nivel aceptable, si se evalúan, cuidadosamente, los problemas potenciales y se implantan medidas correctivas que son costosas.

A continuación se relacionan las principales barreras al desarrollo de las centrales hidroeléctricas detectadas en los distintos ámbitos de aplicación:

Cuadro 2

Principales Barreras al desarrollo de las centrales hidroeléctricas

Ámbito de aplicación	Barras
Aprovechamiento del recurso eléctrico	Incertidumbre sobre el potencial hidroeléctrico pendiente de desarrollar.
Aspectos administrativos	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento de tramitación concesional largo y complicado. • Paralización de expedientes concesionales sin resolver. • CC.HH. paradas y abandonadas desde hace años. • Lentitud administrativa en autorizaciones e informes de CC.AA. • Problemas con Ayuntamientos y Entidades locales.
Aspectos sociales y medioambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Oposición de grupos ecologistas locales. • Abandono medioambiental de medidas correctoras • Falta de criterios específicos para establecer medidas correctoras. • Graves demoras en las resoluciones sobre Declaración de impacto ambiental.

Aspectos normativos	<ul style="list-style-type: none"> • Normativa de conexión, acceso a la red y condiciones de operación obsoleta. • Costes de desvíos en la venta al distribuidor a tarifa regulada
---------------------	--

Fuente:http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Estudios_Economicos/InversionCentralesHidroelectricas%20.pdf

b.- Medidas

En base al importante potencial hidroeléctrico técnicamente desarrollable que existe y sus favorables efectos medioambientales, sería necesario poner en marcha una serie de medidas que facilitarían un mayor ritmo de implantación de nuevas instalaciones de forma que se incrementase el aprovechamiento de este tipo de energía en el territorio nacional.

Las medidas a adoptar, de muy diversa índole, hacen referencia a los recursos hidroeléctricos, a los aspectos administrativos, a los aspectos sociales, medioambientales y a los normativos. En síntesis, las principales medidas para alcanzar objetivos propuestos en el Plan de Energías Renovables, en el área hidroeléctrica, son las siguientes:

- Mantenimiento del apoyo tarifario.
- Fomento de concursos públicos en infraestructuras del Estado.
- Aprovechamiento hidroeléctrico de los caudales ecológicos.
- Activar la tramitación y resolución de expedientes administrativos concesionales.

CAPITULO VI

CONTEXTO VENEZOLANO

6.1 Hidroelectricidad en Venezuela

La producción de hidroenergía en gran escala en Venezuela ha tenido un importante crecimiento debido al desarrollo de macroproyectos hidroeléctricos que ubican a Venezuela en el segundo lugar en generación de potencia eléctrica en América Latina, sólo por debajo de Brasil. Esto ha implicado un importante cambio en el tipo de generación, de una mayoría de origen térmico pasó primar la de origen hidro favoreciendo la generación limpia, no obstante y debido a la variación en los patrones climáticos se ha generado la necesidad de compensar y completar la generación hidroeléctrica con la generación de tipo térmica.

6.2 Vulnerabilidad climática

En la cuarta evaluación del Panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC) se argumenta que el calentamiento global intensifica el ciclo hidrológico, aumenta la variabilidad climática y la intensidad de eventos extremos, como inundaciones, sequías, incendios forestales y ondas de calor, produciendo impactos considerables en diversos sectores de la sociedad. Según Gleick (2000) "La evidencia científica que indica que los humanos están cambiando el clima es cada vez más contundente. Los complejos impactos que afectan cada sector de la sociedad, incluyendo especialmente los recursos hidráulicos de la nación, ahora parecen ineludibles" (p.2).

Los eventos de variabilidad interanual del clima, producen incrementos de temperatura que influyen negativamente sobre el balance hídrico, debido al aumento de la evapotranspiración, lo cual, aunado a la pérdida de cobertura vegetal del suelo y al aumento de la demanda hídrica de los cultivos en época seca, exacerba los impactos negativos derivados de la baja disponibilidad de agua en las regiones.

Debido a lo anteriormente expuesto y al hecho de saberse que la generación hidroeléctrica tiene, como materia prima el uso del agua del planeta, es de entenderse entonces que las escasas precipitaciones - consecuencia a su vez de la variación del clima- tienen un impacto severamente negativo sobre el proceso de generación hidroeléctrica que se lleva a cabo en las centrales hidroeléctricas.

Según Gleick (2000) "La variabilidad del clima ya provoca fluctuaciones en la generación hidroeléctrica. Los cambios climáticos que reducen la disponibilidad general de agua disminuirán la productividad de las instalaciones hidroeléctricas" (p.10).

Es así como se infiere que hacer un mejor manejo de los recursos hídricos es de vital importancia para poder mitigar los efectos de la variabilidad climática en el planeta.

6.3 Crisis hidroeléctrica

Desde hace meses, Venezuela, gran potencia energética de América del Sur, atraviesa una severa crisis eléctrica, que ha sometido a sus habitantes a un importante racionamiento eléctrico. La demanda de energía eléctrica en Venezuela es la más alta de la región según las autoridades del país y supera en aproximadamente 1.000 (megavatios)

MW la generación diaria, que ronda los 16.200 MW. Así lo informo Ali Rodríguez Araque ministro de energía eléctrica de Venezuela.

Según datos oficiales, el nivel de la represa del Guri (sureste), responsable del 73% de la electricidad generada en Venezuela, se aproxima a su "zona de emergencia" ya que su nivel baja inexorablemente una media de 13 ó 14 centímetros por día.

Pero el turbinado en el embalse, para generar electricidad, ha reducido de 5.000 a 4.569 metros cúbicos por segundo (m³/seg), incluso por debajo de los objetivos oficiales, se felicitó Rodríguez.

"Eso es un logro importante, porque en la medida en que se turbine menor cantidad de agua, baja más lentamente el nivel del Guri", señaló el responsable.

6.4 Respuesta a la crisis

Para enfrentar la coyuntura eléctrica, el gobierno venezolano decretó multas para los usuarios particulares que no reduzcan al menos un 10% su consumo, y para las empresas que no lo hagan en 20%.

Las autoridades suspendieron por 24 horas el suministro a 96 empresas y comercios que incumplieron la norma.

Además, el gobierno realiza cortes programados en el suministro eléctrico en diversos puntos del país, aunque no en la capital.

En una medida aún más radical, el presidente venezolano, Hugo Chávez, anunció el jueves que todos los días de la Semana Santa, que comienza el lunes, serán feriados con el fin de ahorrar electricidad.

El ahorro durante el asueto será de 500 megavatios diarios, anunció Rodríguez.

6.5 Perspectivas de la hidroelectricidad en Venezuela

Según Posso (2004):

De las cifras de consumo energético de Venezuela se desprende que la hidroeléctrica en gran escala ha tenido y tiene una participación apreciable en el balance energético del país. Sus planes de desarrollo pretenden satisfacer el aumento de 4% interanual esperado en la demanda (11) y contemplan una inversión de 10 millardos de dólares.... (p.157)

Los dos proyectos estatales más grandes se encuentran en la cuenca del río Caroní y consisten en la construcción de dos centrales hidroeléctricas en el Bajo Caroní, la planta Caruachi con una capacidad de 2.160 MW y ya en operación en un 55%; y Tocoma, con un aporte de 2.160 MW y estimándose su inicio de operaciones en el 2.010. En el Alto Caroní están planificados cuatro centrales más para completar los 28.000 MW de capacidad total de generación de la cuenca del Caroní. Sin embargo, debido a la ausencia de inversión se espera en el corto plazo un déficit importante en generación eléctrica que se pretende compensar aumentando la generación térmica a expensas de mayores niveles de contaminación ambiental y disminución de la eficiencia energética.

6.6 Marco legal

Existen restricciones legales con respecto al control de las aguas de las corrientes navegables. Pueden existir disposiciones oficiales que influyan en la elección del tipo de presa de la central hidroeléctrica. Se ha

de consultar a las autoridades antes de empezar a trabajar en los detalles del proyecto.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Una vez realizada la presente investigación documental respecto al proceso de generación eléctrica en centrales hidroeléctricas se llegó a las siguientes conclusiones, basadas todas en los objetivos específicos planteados al comienzo de la investigación.

- El ciclo hidrológico, producto de la incidencia del sol sobre los cuerpos de agua y las corrientes de aire, es pieza fundamental en el proceso de generación hidroeléctrica, siendo su principal elemento, el agua, el motor de todo ese complejo sistema, que se pone en marcha con el fin de obtener, a partir del movimiento del agua, energía eléctrica la cual, a su vez es motor para el desarrollo de la humanidad.

- Se comprobó que el balance hídrico es un método muy importante en el diseño y operación de una central hidroeléctrica puesto que es mediante el que se logra contabilizar cual será, en caso de haberlo, el volumen de agua que al final de un periodo dado de tiempo habrá en una cuenca y mediante este estimar si se puede garantizar la factibilidad hidrológica del embalse de la central generadora de electricidad.

- Asimismo también se destaca, la utilidad del balance hídrico en la cuantificación, momento a momento de la cantidad de agua disponible, en

el embalse de la central en operación y así posibilitar a los administradores de la central hacer un buen control del proceso y en el caso de escenarios hidrológicos adversos tomar las acciones correctivas tendiente a conservar el nivel de agua óptimo en el embalse y así poder garantizar el suministro eléctrico

- Se corroboró a través de estudios científicos hechos por reconocidos organismos dedicados a estudio del clima, que ciertamente las variaciones en los patrones climáticos están afectando el régimen de precipitaciones y por ende poniendo en riesgo la capacidad de suministrar electricidad mediante centrales hidroeléctricas.

- Se evidenció que al basarse únicamente en la práctica de la ingeniería actual se corre el riesgo de tomar decisiones incorrectas y potencialmente peligrosas o costosas. Las centrales hidroeléctricas se diseñaron, y en gran parte también son operadas suponiendo que las condiciones climáticas e hidrológicas en el futuro serían iguales que las condiciones en el pasado. Ahora sabemos que esto ya no es cierto.

- El proceso de generación hidroeléctrica, es un proceso de considerable complejidad puesto que en el intervienen diversos subprocesos entre los cuales están los de tipo climatológicos, hidrológicos .hidráulicos y eléctricos.

- Una central hidroeléctrica es una estructura de gran envergadura, compuesta de componentes bien definidos en su características operativas, los cuales se distribuyen entre si las diferentes funciones a cumplir para el normal desenvolvimiento del proceso de generación.

- Las centrales hidroeléctricas son instalaciones con una alta velocidad de reacción ante los cambios de demanda ,lo que quiere decir

que en unos minutos (2-3 minutos en los grupos mas modernos) pasan de estar paradas a dar la potencia nominal.

- Una vez en funcionamiento las instalaciones hidroeléctricas modernas, su operación se basa en el uso de modelos de simulación y predicción necesarios para la gestión de los recursos hidráulicos y una óptima operación de las instalaciones.

- La aplicación de la semejanza hidráulica en centrales hidroeléctricas a través de modelos matemáticos permite a los ingenieros organizar y simplificar las experiencias así como los resultados obtenidos.

- La alta no linealidad de los procesos físicos (precipitación, infiltración, condiciones de humedad, etc.) y la interrelación entre ellos que generan los caudales y teniendo en cuenta el límite de predicibilidad de estos, no permite que exista un solo modelo que garantice un pronóstico confiable. Por lo tanto se requiere emplear por lo menos tres modelos para contrastar resultados a nivel mensual y tomar decisiones con menor incertidumbre.

- Hoy en día, los avances en la ciencia de la computación brindan la posibilidad de elaborar modelos de simulación más complejos, combinados con modelos de optimización.

- Todos los modelos deben ser ajustados, o calibrados, de acuerdo a las características de las cuencas. Para ello se necesita contar con información hidrológica y climática consistente que abarque un periodo de registro de varios años. La falta de esta información básica entorpece con frecuencia el uso de modelos y en muchos casos conduce a mala interpretación de los resultados.

7.2 RECOMENDACIONES

- La variabilidad del clima ya es un hecho irrefutable por lo tanto, dos de las estrategias más importantes para hacer frente a esta situación es comprender que los recursos hidráulicos están sufriendo las consecuencias del cambio climático, y comenzar a planear para enfrentar y adaptarnos a esos cambios.

- Se requiere mayor investigación acerca de los posibles cambios en la gravedad de las tormentas y otras situaciones hidrológicas extremas.

- Realizar estudios de amenazas climáticas que puedan afectar el sector eléctrico.

- Es necesario iniciar una revisión sistemática de los diseños de ingeniería, las reglas de operación, los planes de contingencia, y las políticas de distribución del agua a la luz de una variedad más amplia de condiciones del clima y situaciones extremas que los que se han usado tradicionalmente.

- Garantizar la captación y la calidad de la información hidrometeorológica en todas las cuencas de generación hidroeléctrica.

- Planificar y ejecutar programa de instalación de estaciones pluviométricas modernas.

- Diseñar y aplicar políticas de conservación y manejo de cuencas.

- Debido a que una central hidroeléctrica está conformada por una variada cantidad de equipos electromecánicos los cuales son de grandes

dimensiones y de un elevado costo, se hace imperativo hacerle periódicos y minuciosos trabajos de mantenimientos e inmediatas reparaciones tan pronto sean necesarias de tal manera de proveer al sistema de un mayor rendimiento y prologación de su vida útil.

- Desarrollar modelos de simulación de la relación entre precipitaciones y variación de caudales y aportes de los mismos a los embalses.

- Mejorar la calidad del pronóstico y estimación de los escurrimientos y caudales en una cuenca.

- Las medidas tendientes a regular y proteger la capacidad de generación del suministro de electricidad de las centrales hidroeléctricas (racionamientos, campañas informativas, etc.) se debe mantener vigente, al menos, durante seis (06) meses.

- Para llevar al sistema eléctrico nacional a la confiabilidad, en cuanto a su disponibilidad, de principios de los años 90 es necesario instalar en los próximos 5 años 8850 MW térmicos. Hasta tanto no se realicen las inversiones continuaran las restricciones del suministro eléctrico.

- Es clave que para repotenciar al sector eléctrico de una manera integral se necesita una política de cobro de tarifas generalizado en función de las inversiones y costos asociados al sector eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Ray E., L. (1978). **Ingeniería de los Recursos Hidráulicos**. (9ª impresión) México: Editorial Continental, S.A.
- Lepe, J. (1983). **Diseño de Presas Pequeñas**. (12 impresiones) México: Editorial Continental, S.A.
- Davis, C. (1956). **Tratado de Hidráulica Aplicada**. España: Editorial Labor, S.A.
- Merritt, F. (1997). **Manual del Ingeniero Civil**. (3ª impresión) México: Editorial McGraw-Hill.
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994). **Hidrología Aplicada**. (1ª edición)
Colombia: Editorial McGraw Hill.
- Aparicio, F. (1992). **Fundamentos de Hidrología de Superficie**. (1ª edición)
México: Editorial Limusa S.A.
- Posso, F. (2004). **Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela**. Disponible:
<http://ares.unimet.edu.ve/academic/revista/anales4.1/documentos/posso.ppt> [Consulta: 2010, Mayo 1]
- Corporación Andina de Fomento (C.A.F) (1998). **Memorias del Fenómeno El Niño**. Venezuela.
- Gleick, P. (2000). **Informe del Equipo de Evaluación del Sector Hidráulico sobre las consecuencias potenciales de la variabilidad y el cambio climático**. Disponible:

http://www.pacinst.org/publications/non_english/cambio_clim_tico.pdf

[Consulta: 2010, Abril 10]

Yates, D. (1996). **Un modelo de balance hídrico integrado para la evaluación del Impacto Climático de la esorrentía de cuenca fluvial**. Disponible:

http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/perfil_balance.pdf [Consulta: 2010,

Abril 10]

Bergstrom, S. y Graham, P. (1998). **Problema de escala en modelo hidrológicos**. Disponible:

http://www.efn.uncor.edu/archivos/doctorado_cs_ing/pedraza/tesis_rp_capitulo_03_ff.pdf [Consulta: 2010, abril 15]

Federer, A. y Vorosmasty, F. (1996). **Intercomparación de los métodos para calcular la evaporación potencial en los modelos de equilibrio regional y mundial del agua**. Disponible:

<http://www.agu.org/pubs/crossref/1996/96WR00801.shtml>[Consulta:

2010, Marzo 24]

Samani, Z. (2000). **Estimar la radiación solar y la evotranspiración. Diario de Riego y Drenaje de Ingeniería**. Disponible:

<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0003106>[Consulta: 2010,

mayo

01]

Dooge, J. (1986). **Busca de leyes Hidrológica. Estudios de recursos del agua**. Disponible:

<http://www.agu.org/pubs/crossref/1986/WR022i09Sp0046S.shtml>

[Consulta: 2010, mayo 02]

Reed, S. y Patoux M. (1997). **Balance Hídrico espacial de Texas.**

Disponible:

<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHydro/seann/texas/wbtexas.htm> [Consulta: 2010, mayo 02]

Vörösmarty, C. y Federer S. (1998). **Funciones potenciales de evaporación comparación en las cuencas hidrográficas de EE.UU.**

Disponible: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2324753> [Consulta: 2010, marzo 10]

Arnell, N., W. (1999). **Un simple modelo de balance de agua para la simulación del flujo de corriente en un dominio geográfico de gran tamaño.**

Disponible: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1759717>
[Consulta: 2010, mayo 02]

González, L. (2003). **Hidrología para ingeniería civil.** Venezuela: Fondo Editorial de la Universidad de Oriente.

Capóforo, A, Floyd E. (1970). **Proyecto de pequeñas presas.** Madrid: Editorial Dossat.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	ETAPAS DEL PROCESO DE GENERACION ELECTRICA EN CENTRALES HIDROELECTRICAS.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Colón D, Elimar C.	CVLAC: 15.211.158 EMAIL: elimar_colon723@hotmail.com
Guarimata, Juan C.	CVLAC: 11.905.245 EMAIL: juancarlos_xy@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

-Hidroelectricidad
-Centrales
-Generación
-Balance

-Hídrico
-Modelos

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

La presente investigación se basó en la necesidad de conocer de la manera mas exacta posible, cuales son la etapas que conforman el proceso de generación eléctrica en centrales hidroeléctricas, tema este que al juzgar por la forma en que estaban expuestas las informaciones disponibles sobre el mismo, no gozaba de una adecuada exposición (al menos no en un mismo libro, artículo, etc.) que permitiese hacer más fácil entender un proceso tan complejo e importante. Para alcanzar los objetivos específicos de : a) conocer la función del balance hídrico en el marco del diseño y operación de una central hidroeléctrica ,b) describir el funcionamiento electromecánico de una central hidroeléctrica, y por ultimo c) comentar sobre el uso de modelos matemáticos en el proceso de monitoreo de la operación de una central hidroeléctrica; se planificó una extensa y minuciosa investigación documental sobre tales aspectos ,valiéndose para ello los autores de bibliografía y tesis.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y**ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Montejo A .Enrique	ROL	CA	ASX	TU	JU
	CVLAC:	8.279.503			
	E_MAIL	emontejo@cantv.net			
	E_MAIL				
Torres M. Luisa C.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.217.436			
	E_MAIL	torresl62@gmail.com			
	E_MAIL				
Sosa José	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	14.633.879			
	E_MAIL	josesosaalvarez@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	04	12
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
MONOGRAFIA. Etapas del proceso de generación eléctrica en centrales hidroelectricas.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C
D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j
k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____

(OPCIONAL)

TEMPORAL: _____

(OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Civil

INSTITUCIÓN:

Universidad De Oriente/ Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

Colón D Elimar C.

Guarimata Juan C.

AUTOR

AUTOR

Montejo A, Enrique
José

Torres M. Luisa C

Sosa,

TUTOR

JURADO

JURADO

Yasser Saab

POR LA SUBCOMISION DE TESIS