



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN
PROYECTO HIDROELÉCTRICO ANTES DE SU
IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA**

JOSÉ ADEMAR CRUZ BARRIOS

ASESORADO POR ING. CARLOS SALVADOR GORDILLO GARCÍA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO
HIDROELÉCTRICO ANTES DE SU IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ ADEMAR CRUZ BARRIOS

ASESORADO POR ING. CARLOS SALVADOR GORDILLO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Tovar Jiménez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Aragón Guzmán
EXAMINADOR	Ing. Hugo Montenegro Franco
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO ANTES DE SU IMPLEMENTACIÓN EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2,003.

José Ademar Cruz Barrios

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
OBJETIVOS	VI
RESUMEN	VII
INTRODUCCIÓN	IX
1. INVESTIGACIONES AL PLANIFICAR UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO	1
Aspectos generales al planificar un proyecto hidroeléctrico	
Investigaciones topográficas y mapas a utilizar	2
Investigaciones geológicas, materiales, sedimentos y sismicidad	4
Datos hidrológicos y propósito de los mismos	7
1.2.1 Datos de precipitación lluviosa	9
1.2.2 Aforos suplementarios	9
1.2.3 Flujo promedio total	10
1.2.4 Distribución estacional de flujo	11
1.2.5 Flujo mínimo	11
1.2.6 Flujos de crecida	12
1.3 Trabajos de ingeniería civil	15
1.3.1 ¿Qué es una represa?	22
1.3.2 Tipos de represas más comunes	23
1.3.2.1 Represa de terraplén	23
1.3.2.2 Represa de hormigón	25
1.3.2.3 Represa de arco	26
1.3.2.4 Represa de contrafuerte	28

1.3.3 Investigaciones geotécnicas en sitio de represa

30

1.3.4	Consideraciones a tomar para la escogencia de represa	32
1.3.4.1	Datos topográficos al escoger tipo de represa	33
1.3.4.2	Cimientos de la represa	33
1.3.4.3	Disponibilidad de materiales de construcción	34
1.3.4.4	Riesgos de crecida	34
1.3.4.5	Riesgos sísmicos	35
1.3.4.6	Clima	35
1.3.4.7	Trabajos de desviación	35
1.3.4.8	Recursos disponibles	36
1.3.5	Vertedero de represa	36
1.3.6	Embalse de regulación	37
1.3.7	Hidrovías (túneles o canales)	39
1.3.7.1	Compuertas de descarga	40
1.3.7.2	Rejas	40
1.3.8	Cámara de carga y su ubicación	41
1.3.9	Central eléctrica y su ubicación	42
1.4	Criterios económicos al planificar un proyecto hidroeléctrico	44
1.4.1	Factor de descuento	46
1.4.2	Costo marginal y análisis de ingresos	48
1.4.3	Optimización del volumen del embalse	50
1.4.4	Optimización de un túnel	56
2.	PROCESO DE PLANIFICACIÓN	61
2.1	Introducción al proceso de planificación de un proyecto hidroeléctrico	61
2.2	Estudio de reconocimiento	65
2.3	Personal que interviene en un estudio de reconocimiento	67
2.4	Información que se obtiene en un estudio de reconocimiento	68

2.5	Datos que debe tener el informe del estudio de reconocimiento	75
3.	ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y SU PROPÓSITO	77
3.1	Estudio hídrico	80
3.2	Estudios varios:	81
3.2.1	Control de crecidas	81
3.2.2	Estudios de sedimentos	81
3.2.3	Estudios de agua en cuenca	82
3.3	Ingeniería	83
3.3.1	Inspección y cartografía	83
3.3.2	Geología general	84
3.3.3	Geología de los cimientos	84
3.3.4	Materiales de construcción	84
3.3.5	Planos y costos de construcción a nivel preliminar	85
3.3.6	Sumario y lista de comprobación de estudios de pre- factibilidad	86
4	ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y SU PROPÓSITO	89
4.1	Consideraciones generales	90
4.2	Planes del proyecto	93
4.3	Estimaciones y programas	95
4.4	Consideraciones sobre los estudios de factibilidad	102
4.5	Informes que se deben realizar	103
4.6	Sumario y lista de comprobación para los estudios de factibilidad	104
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA	114

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Organización de campo de propietario de proyecto Hidro.	16
2	Términos relacionados con represas de terraplén	24
3	Secciones represa terraplén con relleno de roca	25
4	Diagrama de cuerpo muerto sección represa de gravedad	26
5	Ejemplo de presa de arco	27
6	Elementos estructurales de una represa de arco	27
7	Tipos de represas de arco	28
8	Sección transversal de un contrafuerte de losa plana	29
9	Sección de presa vertedero con desagüe de fondo	37
10	Diagrama proyecto hidroeléctrico con cámara de carga	41
11	Factores de un solo pago	47
12	Factores de series anuales uniformes	47
13	Curvas de costos e ingresos	49
14	Curvas del costo de almacenamiento	52
15	Curva de regulación para determinado año	53
16	Valores producción marginal y costos de almacenamiento marginal como función del nivel de regulación	55
17	Valores de carga al cubo	58
18	Curva de costos y beneficios para túneles de carga	60
19	Recursos hidráulicos, investigación y selección de proyectos	63
20	Ciclos de desarrollo de una planta hidroeléctrica	65

21	Programa de implementación de las instalaciones	73
22	Formulación del proyecto	79
23	Datos principales para la planificación de una planta hidroeléctrica	91
24	Análisis económico, construcción de un flujo efectivo	99
25	Análisis financiero, construcción de un flujo efectivo	100
26	Selección de suministros, menor comparación de costos	101
27	Estudio de factibilidad, diagrama de flujo	110

OBJETIVOS

- **Generales**

Contribuir al desarrollo de los estudios técnicos de ingeniería necesarios para la planificación de un proyecto hidroeléctrico

Organizar la información propuesta en este trabajo de graduación de tal manera que sea una guía rápida de consulta para estudiantes y profesionales interesados en proyectos hidroeléctricos

- **Específicos**

1. Que el estudiante de ingeniería conozca cuales son los estudios necesarios para la planificación de un proyecto hidroeléctrico, tales como: investigaciones preliminares, estudios de reconocimiento, estudios de pre-factibilidad y factibilidad.
2. Que se tenga un documento a nivel de pre-grado, con el cual el lector pueda contar con una importante herramienta en cuanto a la planificación de proyectos hidroeléctricos antes de un estudio más a fondo.

RESUMEN

Para realizar un aprovechamiento hidroeléctrico se debe tener muy en cuenta el proceso de la planificación del mismo, planificación que tiene etapas bien definidas. Cada etapa nos puede llevar a otra, paso a paso dentro de la misma planificación, basada en los resultados de las etapas actuales y previas a cada una de las mismas.

Generalmente para cada proyecto hidroeléctrico se realizan investigaciones y estudios previos a su implementación, la mayor parte de las investigaciones, planificación y diseño se realizan en la primera fase. Normalmente, la investigación y planificación de proyectos hidroeléctricos pasa por varios momentos importantes antes de que sean aceptados para su implementación.

En el proyecto pueden existir muchas posibilidades y un gran número de alternativas que se deben investigar, cabe mencionar que cada proyecto hidroeléctrico tiene propiedades y condiciones físicas diferentes que tienen que ser consideradas para obtener una base firme para la planificación y el posterior diseño del proyecto.

En la planificación, investigación y diseño de un proyecto hidroeléctrico, normalmente, se organizan estudios que se enlistan en orden creciente de detalle, importancia y confiabilidad así:

- Estudios de reconocimiento
- Estudios de pre-factibilidad
- Estudios de factibilidad

En cada fase de desarrollo, los proyectos se investigan con la profundidad necesaria para llegar a una conclusión sobre su posibilidad y conveniencia con respecto al objetivo establecido. En cada fase sucesiva de la investigación, se aumenta la profundidad y detalle de la investigación, de manera que los proyectos pasan por un nuevo criterio de conveniencia y ya se incluyen en un catálogo de proyectos posibles o se envían a una fase de investigación posterior.

El alcance de este trabajo se limita a los componentes de los estudios antes mencionados, así como a la comprensión de los mismos y las etapas por las cuales estos se tienen que estudiar.

INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de la ingeniería, con el correr de los años, se han llevado a la realidad, en muchos países, una gran cantidad de proyectos a fin de ayudar al hombre en sus tareas cotidianas, uno de estos proyectos, que sin duda alguna ha sido de gran beneficio para toda la humanidad es la generación de electricidad a partir de recursos hidrológicos, Guatemala no ha sido la excepción.

Dado que en nuestro país, existen condiciones favorables para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos, se puede decir que en Guatemala existe un alto potencial hidroeléctrico, el cual está escasamente desarrollado a pesar de la creciente demanda energética que hoy en día nos afecta tanto a nosotros como a muchos otros países.

La preocupación y objetivo principal al planificar un proyecto hidroeléctrico es el producto final, como lo es el lograr que un proyecto hidroeléctrico al implementarse pueda funcionar con la capacidad con la cual se ha diseñado y con problemas mínimos durante toda su vida, de manera que se pone en práctica mucha habilidad en el campo de la planificación.

En el presente trabajo se dará a conocer una herramienta con la cual se pueda contar con los conocimientos básicos en cuanto a la metodología a seguir para planificar un proyecto hidroeléctrico, desde la identificación de posibles proyectos, pasando por estudios básicos, investigaciones preliminares y estudios posteriores, con lo cual, este trabajo será un material de apoyo a personas dedicadas a estudios de proyectos hidroeléctricos.

1. INVESTIGACIONES AL PLANIFICAR UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO

Es importante en el momento de planificar un proyecto hidroeléctrico, como en cualquier otro, realizar las investigaciones necesarias a fin de lograr una planificación adecuada, y por consiguiente la realización satisfactoria del producto final. En nuestro caso se indicará lo necesario para la planificación completa de un proyecto hidroeléctrico.

1.1 Aspectos generales al planificar un proyecto hidroeléctrico

Cuando se habla de planificar un proyecto hidroeléctrico, es necesario tener muy en cuenta que dichos proyectos se componen de ciertos elementos, como por ejemplo las represas, los canales, las centrales, etc.

Las categorías de los elementos no es extensa, pero cada categoría de elementos si que tiene un gran número de tipos de elementos entre los cuales hay que escoger. Dado que cada proyecto hidroeléctrico tiene que adaptarse a las condiciones reales del sitio hay pocas posibilidades de usar trazados y soluciones estándares.

Cada proyecto se hace virtualmente a la medida de sus necesidades, de manera que la habilidad y la experiencia de los planificadores son esenciales para seleccionar los elementos del proyecto que sean apropiados para la situación y condiciones reales del mismo a fin de establecer un trazado viable.

Los métodos apropiados de construcción se presentan en una etapa temprana de la planificación, en algunos casos, los métodos de construcción no

solo influyen, sino que incluso determinan los elementos del trazado y del proyecto mismo.

La economía del proyecto es un parámetro primordial, y el costo de la construcción es normalmente el factor más importante que influye en la economía del proyecto. El proceso de construcción es por lo tanto, un elemento de peso en la planificación y se le debe prestar mucha atención al establecer el trazado del proyecto.

Tanto el estudio de los recursos hídricos como los estudios topográficos del lugar del proyecto, sirven para determinar las características del proyecto a trazar, así como la tipología de las estructuras a utilizar.

Los aspectos anteriormente mencionados así como otros aspectos de relevante importancia, serán explicados durante el desarrollo del presente trabajo.

1.1.1 Investigaciones topográficas y mapas a utilizar

Usualmente, el primer paso en el proceso de planificación es determinar, por medio de mapas ya existentes, cual es la parte de la corriente de agua de interés; luego por medio de mediciones en el terreno, establecer el perfil del río. Para una referencia rápida, se usa nivelación barométrica, pero se deben utilizar métodos de nivelación más confiables y exactos.

Se realizarán inspecciones topográficas de las áreas de captación, embalse, sitios para la represa, sitios para las estructuras principales, y terrenos para el proyecto, y se construirán mapas con curvas de nivel en escalas apropiadas.

Las áreas de captación usualmente se determinan por medio de los mapas existentes. Los mapas para embalses grandes deben tener una escala de 1:25,000 con intervalos de curvas de nivel de 5 metros. Los mapas para embalses pequeños deben tener una escala de 1:10,000 con intervalos de curvas de nivel de 2 metros.

La topografía del sitio de la represa, se debe trabajar con mapas a escala 1:2,000 con intervalos de un metro para las curvas de nivel, usualmente será adecuada para el diseño preliminar de la represa. Los sitios de las estructuras principales deben tener mapas con una escala de 1:1,000 con intervalos de medio metro para las curvas de nivel.

Las áreas propuestas para la realización de túneles o canales deben tener mapas a escala desde 1:10,000 a 1:25,000 con intervalos de curvas de nivel que van de medio metro a dos metros. La construcción de mapas para una clasificación real del terreno se hace mejor con fotografías aéreas y con una escala de 1:10,000

Si no se dispone de mapas topográficos adecuados y actualizados, se necesitarán inspecciones en el terreno para realizar una topografía convencional para determinar las características topográficas de los sitios a evaluar.

En nuestro medio se tiene a disposición mapas a escala 1:50,000 y a escala 1:250,000 para toda la república y mapas a escala 1:15,000 y 1:2,000 para algunos cascos urbanos, de manera que si no se encuentran mapas a las escalas que se necesitan se tienen que realizar por medio de restitución fotogramétrica, topografía convencional u otros medios confiables a manera de confeccionar los mapas adecuados para el uso que se les quiera dar.

1.1.2 Investigaciones geológicas, materiales, sedimentos, y sismicidad

Además de la hidrología y la topografía, la geología es el parámetro físico más importante en la planificación y diseño de los proyectos hidroeléctricos sobre recursos hídricos.

El conocimiento de la geología y los datos sobre las propiedades físicas de la superficie y el subsuelo se necesitan al inicio del proceso de investigación. Las investigaciones en el terreno, por lo tanto deben empezar lo más pronto posible, coordinándolas con las inspecciones topográficas, y la planificación del proyecto.

El primer paso en la **investigación geológica** y geotécnica de los proyectos es la preparación de mapas geológicos. Tales mapas usualmente se basan en mapas topográficos y observaciones de la superficie complementadas con información del análisis de laboratorio de las muestras colectadas. Cuando la geología es compleja o la superficie está cubierta, se hacen necesarias investigaciones del subsuelo.

Los exámenes del subsuelo para la ubicación de la represa, canales o túneles y demás estructuras importantes, se llevan a cabo para determinar la naturaleza de las condiciones de los cimientos y los materiales que se encuentran. Se presta atención particular a las dificultades poco comunes de la construcción y a la posibilidad de fugas.

La disponibilidad de **materiales** para la construcción, como tierra, arcilla, arena, materiales de filtro, agregados de concreto armado, cemento, madera y roca son factores importantes que influyen en la selección del tipo de estructura

y los costos de construcción. Los depósitos de material de calidad satisfactoria deben ser localizados, probados y puestos en los mapas.

Los métodos de exploración del subsuelo que son usados con más frecuencia son el muestreo por medio de perforación, perforaciones testigo, pozos de exploración, zanjas, calicatas. Las muestras que se sacan de tales exploraciones están sujetas a pruebas de laboratorio por medio de las cuales se obtienen datos sobre sus propiedades en ingeniería.

Las investigaciones sobre refracción sísmica y mediciones de resistividad eléctrica se usan frecuentemente para obtener datos sobre espesor de sobrecarga, características de la roca, fallas, etc.

La impermeabilidad al agua de las formaciones subterráneas es a menudo de mucha importancia y se llevan a cabo pruebas de filtración, junto con la perforación, y las perforaciones testigo, para obtener valores de filtración. Estos se usan para determinar la conveniencia de la formación para la corriente de agua y para evaluar las medidas preventivas contra la filtración.

En ciertos casos se llevan a cabo pruebas de destrucción para medir la resistencia de la roca en los puntos sujetos a fatiga extraordinaria. Tales pruebas, denominadas “fractura hidráulica”, se realizan para verificar si las tensiones internas del cuerpo rocoso son suficientes para permitir el diseño de canales de agua, pozos y túneles sin revestimiento. En estas pruebas, la roca se somete a tensión de rotura para obtener los parámetros requeridos del diseño.

Sedimentos

Para la planificación y el diseño de los embalses, se necesitan datos sobre el transporte anual de sedimentos. Para el diseño de embalses pequeños, instalaciones de desviación, canales, sedimentadores, etc., para los cuales la operación de limpieza es parte de los criterios de diseño, es importante el conocimiento de la distribución del tamaño de los granos del material transportado. La limpieza es posible solo si la carga es libre de forma razonable de grava gruesa, guijarros y rocas.

Frecuentemente no existen datos sobre sedimentos al inicio de las investigaciones. Un programa de muestreo iniciado como parte de las investigaciones del proyecto, solo proporcionará datos por un período de dos a cuatro años. Además, puesto que es difícil adquirir datos confiables sobre sedimentos, es normal tener que basar la planificación del manejo de los sedimentos en datos escasos, a menudo de calidad cuestionable.

La comparación con datos de otras captaciones similares es entonces una posibilidad a la que se recurre con frecuencia. Aunque sea a menudo necesaria, esta técnica, debe ser aplicada con cuidado, considerando los antecedentes geológicos de la captación, las actividades humanas, etc.

Se debe prestar una atención particular al muestreo durante las épocas de crecida. Para la mayoría de los ríos, la parte principal de toda la carga anual de sedimentos es transportada durante las crecidas, a veces en una única crecida.

Para la mayoría de los objetivos de la planificación, la descarga de sedimentos se expresa en términos de peso de los sedimentos por unidad de tiempo, mientras que los depósitos de sedimentos se expresan en volumen.

Para el diseño de las estructuras y de las turbinas, se necesita conocer la naturaleza de los sedimentos que está determinada por los análisis del tamaño.

En el momento actual no se dispone de medios prácticos para remover los depósitos de sedimentos de los embalses de tamaño mediano o grande, sería de vital importancia para el diseño de los embalses si tales medios fueran disponibles en el futuro.

Sismicidad

En muchas partes del mundo, las actividades sísmicas son un problema con respecto a la estabilidad futura de las estructuras en general. Deben tomarse en cuenta medidas para compensar los efectos de los sismos, y las estructuras, presas, los canales de agua, central, etc., deben ser diseñados para poder soportar los efectos de la fatiga provocada por estos.

1.2 Datos hidrológicos y propósito de los mismos

Los estudios de hidrología proporcionarán datos sobre el flujo del agua, el cual es uno de los parámetros relevantes usados en la planificación hidroeléctrica.

Toda planificación en términos hidrológicos se basa en la suposición de que la historia de la presencia de agua se repetirá en el futuro. En otras palabras, los planes de control y uso del agua que han sido observadas en el pasado, se repetirán en el futuro dentro de límites razonablemente similares, excepto en el caso de que los flujos del agua hayan sido modificados por el hombre.

La precipitación y, por lo tanto, el suministro de agua, varía ampliamente de una localidad a otra, de temporada a temporada y de un año a otro. Cada una de estas variaciones tiene un impacto profundo en la planificación del control y uso de los recursos hídricos.

Es evidente que la planificación y el desarrollo de los recursos hídricos no pueden siempre posponerse a favor de un largo período de observación y acumulación de datos. Por otro lado los riesgos de un superdesarrollo y de un diseño erróneo son igualmente evidentes. Puede ocurrir que un proyecto fracase en alcanzar los objetivos previstos debido a omisiones estructurales atribuibles a un conocimiento insuficiente de las posibilidades de crecidas.

El problema es determinar hasta que punto son justificables la ampliación y la interpolación de registros para la planificación y el desarrollo. Los organismos responsables de revisar, aprobar y financiar los proyectos propuestos deben confiar en la integridad, habilidad y juicio de los planificadores.

Una información documentada sobre los recursos hídricos de una región se puede conseguir normalmente en la sede de los organismos centrales nacionales, en nuestro caso, instituciones como el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) ó el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), y otras, entidades en las cuales se pueden conseguir libros sobre datos anuales y otros registros estadísticos. Los registros que se necesitan son series diarias o mensuales. Registros cortos pueden ser completados con técnicas de correlación que utilizan registros de áreas vecinas.

1.2.1 Datos de precipitación lluviosa

Los datos sobre precipitación lluviosa se utilizan para reforzar los datos cortos o fragmentarios sobre corrientes. Los registros que se necesitan son series históricas de precipitaciones mensuales o anuales.

Por varias razones, la evaluación correcta de precipitaciones representativas de un área más amplia puede conducir a resultados muy aproximados.

La precipitación de lluvia (mm/año) puede ser convertida en flujo ($m^3/año$) cuando se conocen las características del área de captación. Sin embargo, no se aconseja este procedimiento de no ser para valuaciones preliminares y cuando no se pueden conseguir otros datos sobre el flujo.

1.2.2 Aforos suplementarios

Para la identificación del proyecto y para estudios de reconocimiento, un evalúo aproximado del flujo del río es normalmente suficiente. Previo a llevar a cabo los diseños de factibilidad para las represas, canales, equipo electro-mecánico y, en particular, el cálculo de producción de energía, debe establecerse una distribución probable estacional de flujo.

Si no existen registros previos del flujo de un río, el enfoque alternativo es establecer una estación de aforo del río de corto plazo, cerca del sitio propuesto para el proyecto hidroeléctrico. Esto requiere que se realicen mediciones, manualmente o por medio de un equipo automático, durante un período de uno o dos años.

Los registros de corto plazo se relacionarán con las observaciones del flujo o de la precipitación de largo plazo de un sitio que se encuentre en la misma región hidrológica. Por medio de modernas técnicas estadísticas de correlación, se pueden extender los registros observados a un período aceptable de tiempo.

En general, las estaciones de medición de la precipitación lluviosa han estado funcionando por mucho más tiempo que las estaciones de medición del flujo de un río, y por lo tanto pueden utilizarse como medio para extender un registro del flujo de corto plazo.

Existen ciertas características del flujo del río que se deben desarrollar y evaluar, estas son: flujo promedio total, distribución estacional del flujo, flujo mínimo, flujo de la crecida; de los cuales se hará mención más adelante.

1.2.3 Flujo promedio total

Al realizar la investigación sobre los recursos hídricos, el estado de los datos hidrológicos se encuentra normalmente en una de las situaciones mencionadas a continuación, en cada caso se indican las mediciones que se deben llevar a cabo:

a) Los registros de flujo han sido establecidos cerca del sitio del proyecto:

El flujo promedio registrado es transportado al sitio del proyecto (entrada) después de la adaptación por la diferencia en el tamaño de la captación.

b) Los registros del flujo han sido establecidos en un río contiguo: El flujo promedio registrado es transportado al sitio del proyecto después de la adaptación por la diferencia en el tamaño de la captación. Si los registros de la precipitación lluviosa son disponibles para las dos captaciones, se hacen

correcciones para las posibles diferencias en la distribución de la precipitación.

- c) No existe ningún registro del flujo en el área: El flujo estimado promedio debe basarse en la precipitación lluviosa medida o estimada, multiplicando por el factor apropiado de fuga de la captación, por otro lado debe iniciarse un aforo suplementario prontamente para obtener registros para el proyecto.

1.2.4 Distribución estacional de flujo

La distribución estacional como se describe en los registros observados del río mismo o como se transporta de captaciones contiguas, normalmente es adecuada para la simulación de la producción de energía.

Si el proyecto es “en la corriente del río”, se deben buscar valores diarios del flujo durante el proceso de establecimiento de registros del flujo. Valores mensuales podrían sobreestimar la producción de energía de hasta un 10-20%. De manera que se debe tener mucho cuidado a la hora de manipular los datos en mención.

1.2.5 Flujo mínimo

Los registros de descarga de la corriente proporcionan la información básica para la mayoría de los estudios sobre recursos hídricos. Los registros deben ser continuos durante un período de tiempo que será típico para las condiciones que se deben anticipar a la hora de llevar el proyecto. Para un proyecto en que se planifica el uso de agua por desviación directa de una corriente sin regulación, un período prolongado de flujos críticamente bajos limitarán la extensión hasta la cual un suministro seguro de agua puede ser

provisto. Un período correspondiente al período crítico debería ser analizado en la investigación.

El flujo mínimo y su probabilidad estadística pueden estimarse analizando registros de flujo bajo en la región. Pequeñas captaciones tienen condiciones muy específicas de flujo bajo. Estas solo pueden determinarse con mediciones directas en el sitio en cuestión.

1.2.6 Flujos de crecida

El estudio de las crecidas en las investigaciones de factibilidad involucra aquellas fases de la hidrología, meteorología y análisis estadístico que pertenecen a la estimación de los volúmenes de las crecidas, velocidad de descarga, duración, período y frecuencia en condiciones hipotéticas.

El objetivo en este apartado no es el de discutir detalladamente los procedimientos y las técnicas de estudio de las crecidas, sino el de presentar la naturaleza y el alcance de los estudios necesarios. El estudio de la crecida constituye una rama muy especializada de la hidrología y debe ser llevado a cabo bajo la supervisión estrecha de un hidrólogo de crecidas muy calificado.

El estudio de las crecidas se necesita por dos objetivos generales:

- a) Control de la crecida, donde una de las funciones principales del proyecto es, la protección de la tierra, de las comunidades u otros valores económicos de los daños periódicos por causas de crecidas.
- b) Diseño hidráulico, con el objetivo de proporcionar información para la seguridad del proyecto y la construcción de represas y vertederos, diques u otras estructuras.

El proceso de determinar de forma progresiva el perfil y los tiempos de una crecida mientras pasa por puntos sucesivos a lo largo de una corriente, se conoce como “recorrido de la crecida”. Si la única detención o almacenamiento de la crecida está constituido por el cauce de la corriente de agua o por la inundación del valle, el proceso se llama “recorrido de la creciente”. Si la ola de la crecida pasa por un embalse, el proceso se llama “recorrido del embalse”

Dentro de la planificación es necesario tomar en cuenta como se realizará la **desviación durante la construcción**, ya que cuando las estructuras hidráulicas, represas o construcciones similares, se construyen en el río es necesario desviar o controlar de otro modo los flujos normales de la corriente y las crecidas como se puede anticipar durante el período de construcción. Para este propósito se debe proporcionar al diseñador las hidrográficas de las crecidas para las crecidas anticipadas con una frecuencia de 5,10 y 25 años. Para condiciones extremadamente peligrosas, pueden considerarse crecidas mayores,

El término **crecida de diseño** se refiere a la hidrografía de la crecida o al valor de descarga máxima definitivamente adoptado como base del diseño de un proyecto en particular o diseño de una sección del mismo, tomando en cuenta tanto características de la misma, frecuencias, potencialidades de la crecida, como el aspecto económico y otras consideraciones prácticas que entran en la escogencia de los criterios de descarga del diseño.

El evalúo de la crecida de diseño adoptado como base para determinar la capacidad del vertedero para represas grandes y el fracaso del cual resultaría en daños desastrosos para la propiedad o riesgos contra la vida, debe corresponder a la crecida máxima probable.

En áreas escasamente desarrolladas o bajo otras condiciones donde el riesgo de pérdidas humanas o grandes daños contra la propiedad resultantes del fracaso de la estructura de la represa, o el salto de los diques no es serio, la crecida de diseño escogida puede ser menor que la crecida máxima probable. La magnitud de la crecida de diseño estará influenciada por consideraciones económicas tales como el equilibrio de la construcción y los costos de mantenimiento del vertedero y otras obras de protección contra el costo de la reposición o de la reparación del daño de la estructura que resulta del paso de crecidas excesivas.

Cuando la construcción de una represa o de otras obras se planifica en relación tan estrecha con las áreas urbanas o rurales que su fracaso probablemente resultaría en pérdidas humanas serias o en daños extensos a la propiedad, la estructura debe diseñarse para que tenga la capacidad de flujo máximo probable. En este caso, el flujo del diseño y el flujo máximo probable son los mismos.

El flujo y su probabilidad estadística pueden evaluarse analizando los registros de los flujos de la región. Cuando no se consiguen registros significativos de los flujos, se puede usar la fórmula racional, incorporando el tamaño de la captación, la intensidad de la precipitación lluviosa y una fracción estimada del agua de lluvia.

En embalses grandes se reducen los picos de flujo. Es necesario describir el comportamiento típico de la afluencia para calcular las dimensiones de los vertederos y las entradas. Además hay métodos para diseñar diagramas sintéticos de tales crecidas, mismos que por ser un tema muy extenso y delicado no son objeto de este apartado.

1.3 Trabajos de ingeniería civil

Participantes y organización

Los principales participantes en la construcción de un proyecto hidroeléctrico son:

- El propietario, o su representante
- El contratista
- El abastecedor o abastecedores (de equipo permanente)

El propietario siempre tendrá un papel central, aprobando todas las decisiones y es responsable por la financiación del proyecto. Esto sin embargo no significa que el propietario dirige la operación de construcción. Para esto él puede contratar organizaciones expertas externas, usualmente una compañía de ingenieros consultores especializados en construcción y administración de contratos.

Para manejar la operación de campo para la construcción de un proyecto hidroeléctrico mediano o grande, se necesita una organización de un cierto tamaño. Para mantener esta organización dentro de un tamaño aceptable, debe evitarse traslapar con el contratista.

La organización de campo del propietario debe concentrarse en administración, supervisión, monitoreo e inspección, y dejar a los contratistas llevar a cabo todo el trabajo, incluyendo pruebas, levantamiento topográfico, medidas, etc.

Para sus propios trabajos el contratista está equipado con laboratorios y técnicos, cuadrillas topográficas, etc. La manera racional de conducir pruebas, levantamiento topográfico y medidas, es dejar al contratista realizar este trabajo mientras que la organización de campo del propietario supervisa, monitorea y aprueba el trabajo y los resultados.

Una organización de campo normal de un propietario para un proyecto hidroeléctrico de tamaño razonable se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. Organización de campo de propietario de proyecto hidroeléctrico



Este plan de organización está basado en un modelo de contrato coordinado. La organización de campo del propietario administra varios contratistas y abastecedores bajo este modelo tales como:

- Uno o varios contratistas de ingeniería civil en general
- Uno o varios contratistas para obras con estructuras hidráulicas de acero
- Contratistas para trabajos de transmisión
- Dos o más abastecedores de equipo electromecánico
- Contratistas responsables de trabajos de levantamientos

- Contratistas responsables de transporte pesado y similares
- Contratistas para servicios generales y de alimentación

La organización de campo del propietario debe tener su personal, equipo y recursos para llevar a cabo las siguientes tareas:

- Servicios administrativos
- Control de calidad / planeamiento
- Administración de contratos y de construcción
- Servicios de ingeniería
- Supervisión de trabajos y abastecimiento
- Servicios de inspección
- Administración de contratos
- Documentación sobre la marcha

Los contratistas y abastecedores dirigen sus propias operaciones las cuales son monitoreadas por la organización de campo del propietario. Esta organización también coordina el trabajo de construcción, los contratistas y abastecedores. La organización de campo del propietario también administra los varios contratos, inspecciona la ejecución y calidad, monitorea el progreso, supervisa y aprueba catastros así como facturas para su pago.

Las varias tareas y funciones de la organización de campo del propietario se discuten con algunos detalles a continuación:

Servicios administrativos

El propietario en su papel de “autoridad” en el sitio, será el responsable de la logística general, su organización administrará las instalaciones, y otras

tareas, no obstante la dirección y abastecimiento a personal, talleres y campos de construcción estará bajo la dirección del contratista.

Los servicios que normalmente están bajo la jurisdicción y responsabilidad del propietario incluyen: aspectos legales, seguridad, trato con los visitantes, relaciones públicas, servicios de salud, sanidad, comunicación, transporte, etc. Algunas de las tareas mencionadas pueden ser adjudicadas al contratista general, ó a organizaciones de servicios generales.

Control de calidad

El rango independiente de la función de control de calidad se ilustra por su posición en el plan de organización como se indicó en la figura 1. el administrador solo está subordinado al Director de Proyecto.

El control de calidad no es una característica nueva en ingeniería, siempre ha existido pero solo hasta hace poco se ha reconocido como una función separada e independiente. De manera que en un contexto hidroeléctrico, el control de calidad es relativamente un nuevo rasgo en la organización del proyecto y todavía debe encontrar su sitio adecuado.

Todas las partes que participan en el desarrollo hidroeléctrico tienen oficiales y personal encargado de control de calidad en su organización. Los propietarios, ingenieros consultores, contratistas y abastecedores, todos han conferido la responsabilidad de control de calidad a una persona o varias personas.

Servicios de ingeniería

Los servicios de ingeniería para proyectos hidroeléctricos son normalmente llevados a cabo por compañías consultoras de ingeniería especializadas en este tipo de trabajo. Los ingenieros consultores también tienen a su cargo el control de calidad de todo el proyecto.

Mientras que la responsabilidad de los ingenieros consultores en el contexto de calidad abarca toda la instalación, ellos son solo responsables por su propio trabajo.

Los principales servicios de ingeniería, diseño etc., son llevados a cabo en la oficina de diseño del proyecto del consultor, con apoyo de la oficina principal. La oficina del proyecto está usualmente organizada en estrecha conexión con el propietario, pero raramente en el mismo sitio. La organización de campo del propietario tendrá, sin embargo, una oficina de ingeniería en el sitio para encargarse de las tareas diarias de ingeniería y problemas de construcción. Esta oficina frecuentemente cuenta con los ingenieros consultores o personal bajo su dirección.

La oficina de ingeniería del sitio, además de las tareas ordinarias de ingeniería, también es responsable por el control de calidad en el sitio. El manejo y administración de documentación y planos, investigación y pruebas, adaptación de diseños al terreno, documentación de cambios, planteamiento, monitoreo de progreso, etc., también están dentro del ámbito de responsabilidad de la oficina de ingeniería.

Inspección y supervisión

Los trabajos de los contratistas y abastecedores deben ser monitoreados para asegurar que las especificaciones son cumplidas y que el propietario

obtiene por lo que está pagando. Otro propósito es, monitorear el progreso y tomar medidas en caso de atraso. El proceso descrito se conoce como “Servicios de Inspección” para distinguirlo de la “Supervisión” que a menudo se considera como la participación en la ejecución del trabajo.

El principal propósito de estas actividades es asegurar la documentación, el control y la calidad. También debe controlar y aprobar los componentes del proyecto durante y después de la construcción y la manufactura.

Los materiales que serán utilizados deberán ser probados y aprobados y, a través de inspección durante la construcción y manufactura, los componentes del proyecto serán controlados para asegurarse que las especificaciones sean cumplidas

En el caso de los trabajos de construcción, las actividades de inspección y supervisión serán la responsabilidad de equipos organizados para este propósito en el sitio del proyecto. Estos equipos frecuentemente están integrados por la organización de administración y manejo de la construcción establecida en el sitio.

En caso de abastecimiento de equipo electromecánico, que normalmente es totalmente manufacturado en los talleres. La supervisión e inspección están usualmente organizadas por medio de equipos que visitan las fábricas a intervalos y cuando ocurren eventos importantes. El equipo de inspección también está presente cuando se hacen los componentes vitales, durante las pruebas generales y pruebas de levantamiento y para el ensamblaje final en la fábrica antes de embarcarlos hacia el sitio. El control de calidad y prueba de materiales a usarse en la manufactura de equipo electromecánico es

usualmente contratado a laboratorios establecidos y a compañías que trabajan en este campo y que tienen amplia experiencia comprobable en el tema.

La supervisión e inspección de equipo electromecánico continúa en el sitio durante el ensamblaje y levantamiento, y continuará durante las pruebas de operación y la puesta en servicio del proyecto para operación comercial.

Administración de contratos

La administración de contratos o manejo de contratos de parte del propietario es llevada a cabo por su organización de campo, por una oficina establecida para este propósito. Su trabajo es garantizar que los contratos sean ejecutados de acuerdo a las condiciones del contrato. Ellos también deben dar seguimiento a los bonos, garantías, retención de dinero, pólizas de seguros, etc., y deben supervisar la emisión de certificados de aceptación, certificados de conclusión y otros similares.

Documentación de construcción sobre la marcha

Los planos de trabajo para los trabajos de ingeniería civil deben ser adaptados al terreno y a las condiciones del sitio. Estos y otros cambios que fueron hechos durante la construcción, y aceptados por los diseñadores, deberán ser apropiadamente registrados. Estos cambios usualmente están registrados en los planos mismos de trabajo como parte de la documentación de construcción sobre la marcha.

La documentación de construcción sobre la marcha normalmente se realiza en el sitio por la organización de campo del propietario y la oficina técnica / apoyo de ingeniería, los cuales cuentan con el personal para llevar a cabo este trabajo.

1.3.1 ¿Que es una represa?

En el sentido más general, una represa puede definirse como una barrera construida a través de una corriente de agua, con el objetivo de embalsar el agua. Esta definición no implica restricciones del propósito, materiales usados, o tamaño de la barrera. Por lo tanto los umbrales y las presas se pueden abarcar bajo el nombre general de “represa”. Sin embargo, en la práctica, las represas se consideran estructuras de barrera más complejas que los umbrales y las presas, y para su diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento, requieren el esfuerzo concertado de muchas disciplinas técnicas.

La regulación del agua pluvial es un aspecto importante de los proyectos hidroeléctricos que debe ser tomado en cuenta en la fase temprana de la planificación, como parte de la formulación del proyecto. Es práctico poner en claro este asunto en el proceso de planificación puesto que la regulación del flujo influye grandemente en otras características del proyecto.

Cuando la variación del agua pluvial es considerable, se hace necesaria la regulación. Esta se usa para mejorar la utilización del flujo reduciendo las pérdidas y para adaptar el flujo a las demandas del sistema de suministro hidroeléctrico. La necesidad de regulación por lo tanto, se establece con base en la demanda del sistema y los patrones de la demanda.

El flujo regulado para satisfacer los requisitos del sistema de suministro es una gran ventaja y está asociado con el aumento de valores de la energía generada. Para la regulación del flujo se necesita el almacenamiento del agua y el establecer el volumen de almacenamiento es un prerrequisito. Los embalses por lo tanto se deben proveer e incluir en los planes del proyecto.

Los embalses de regulación se forman poniendo una represa en un río o en un valle, o haciendo una derivación de un lago existente o combinando ambos métodos. En ambos casos, los impactos en el medio ambiente son considerables, particularmente en el caso de embalses con represas. La construcción de una represa acarrea la inundación de la tierra y por lo tanto crea impactos más serios que los embalses de derivación de un lago, siempre y cuando sean alternativas viables.

Si no se acepta un embalse de almacenamiento, situación que es común, la opción que queda es un aprovechamiento en las aguas del río.

1.3.2 Tipos de represas más comunes

Las pueden clasificarse de acuerdo con su objetivo, el tipo de material usado en su construcción, y su geometría. Las represas se construyen para producción de energía eléctrica, suministro de agua, control de la crecida de un río, almacenamiento, irrigación, entretenimiento, evacuación de desechos industriales, etc. Pueden concebirse para un funcionamiento permanente o temporal. Con respecto a los materiales de construcción, las presas se pueden clasificar como sigue:

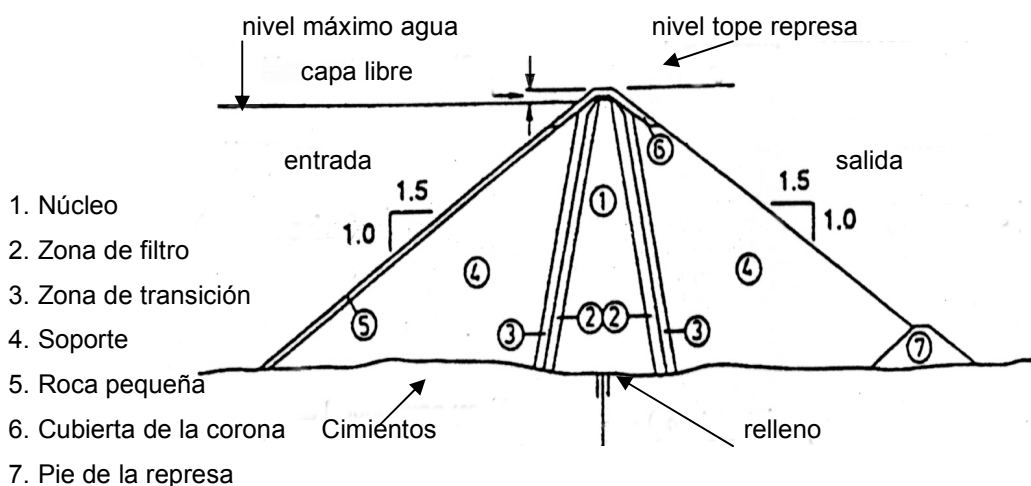
1.3.2.1 Represa de terraplén, de las cuales hay varios tipos:

- **Represas de tierra**, también llamadas represas de materiales sueltos o represas de escollera, construidas completamente de tierra tomada de las áreas cercanas al sitio de la presa con o sin revestimiento de roca contra la erosión.

- **Represas de enrocamiento**, el cuerpo de la represa normalmente se hace con roca de cantera que proporciona el peso y que incorpora un medio a prueba de agua tales como:
 - **Núcleo de arcilla**, protegido en cada lado por filtros anti-arena o grava. Normalmente tales núcleos están colocados en el centro del cuerpo de la represa que está inclinado hacia la corriente de salida.
 - **Núcleo de hormigón**, una pared vertical de concreto reforzado y colocado en posición central en el cuerpo de la represa, o una plancha de hormigón reforzada en la corriente de entrada.
 - **Hormigón y asfalto**, una plancha de concreto asfaltado en la corriente de entrada colocada de forma continua en varias capas o un núcleo central de concreto asfaltado colocado de forma continua por un equipo especial y protegido con filtros, en ambos lados.

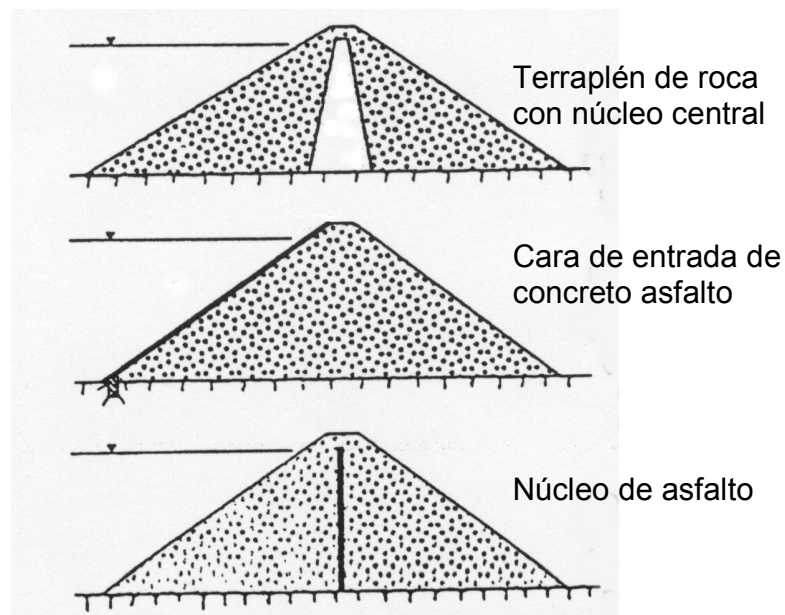
Diferentes términos utilizados en relación con las represas de terraplén, se explican en la siguiente figura:

Figura 2. Términos relacionados con represas de terraplén



Los elementos impermeables pueden ser planeados utilizando tierra, arcilla, concreto, concreto asfaltado, betún, o incluso acero, madera, y más recientemente membranas sintéticas. Los elementos impermeables pueden ser empotrados en el relleno o colocados en la superficie de la inclinación de la corriente de entrada del terraplén. Varios tipos de represas con relleno de roca descritas por sección transversal, se muestran en la siguiente figura:

Figura 3. Secciones represa terraplén con relleno de roca



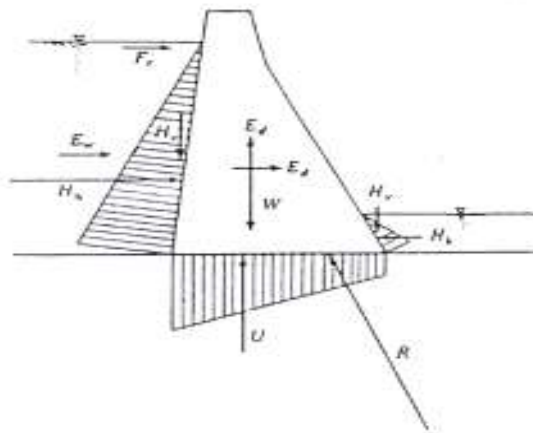
1.3.2.2 Represas de hormigón

Hay una gran variedad de represas de hormigón o concreto armado. Aquí se mencionará solo los principales tipos, los cuales son, represas de gravedad, de arco, y de contrafuerte.

Represas de gravedad: Normalmente hechas de concreto armado masivo, son usadas para condiciones normales de cimientos.

A mediados del siglo 19, las represas estaban diseñadas de modo empírico con escasa preocupación por los principios de mecánica de los materiales, y como resultado eran mucho más masivas que lo necesario.

Figura 4. Diagrama simplificado del cuerpo muerto de la sección transversal de una represa de gravedad



Las fuerzas señaladas son el peso de la represa (W), los componentes horizontales de la fuerza hidrostática (H_h), los componentes verticales de la fuerza hidrostática (H_v), la subida de presión (U), la presión del hielo (F_f), que en nuestro caso no aplica, no obstante en otros países si aplica; el aumento de la presión hidrostática causada por sismos (E_w), y la fuerza causada por el sismo en la represa misma (E_d). La resultante vectorial de esas fuerzas es igual o contraria a R , el equilibrante, que es la fuerza efectiva de los cimientos en la base de la represa.

1.3.2.3 Represas de arco

Una presa de arco es aquella que está encorvada respecto al plano vertical y transporta la mayor parte de la carga de agua en forma horizontal a los apoyos laterales gracias a la acción de arco. De manera que el empuje

desarrollado por las fuerzas de arco deben ser resistidas por las paredes laterales del cañón o la cerrada.

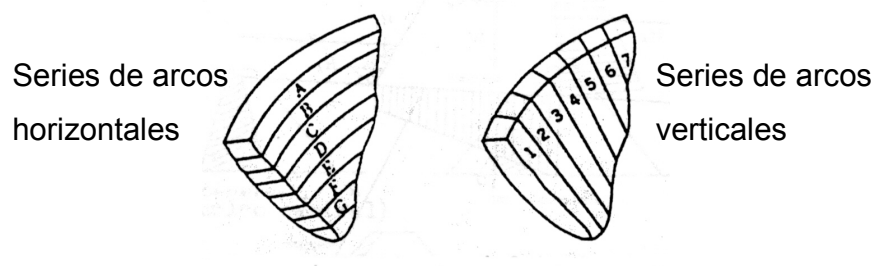
Las presas de arco se suelen ubicar en gargantas o pasos estrechos de los ríos.

Figura 5. ejemplo de presa de arco



Una represa de arco se proyecta con una serie de arcos horizontales que transmiten el empuje a los apoyos laterales o a una serie de consolas ancladas a los cimientos

Figura 6. Elementos estructurales de una represa de arco

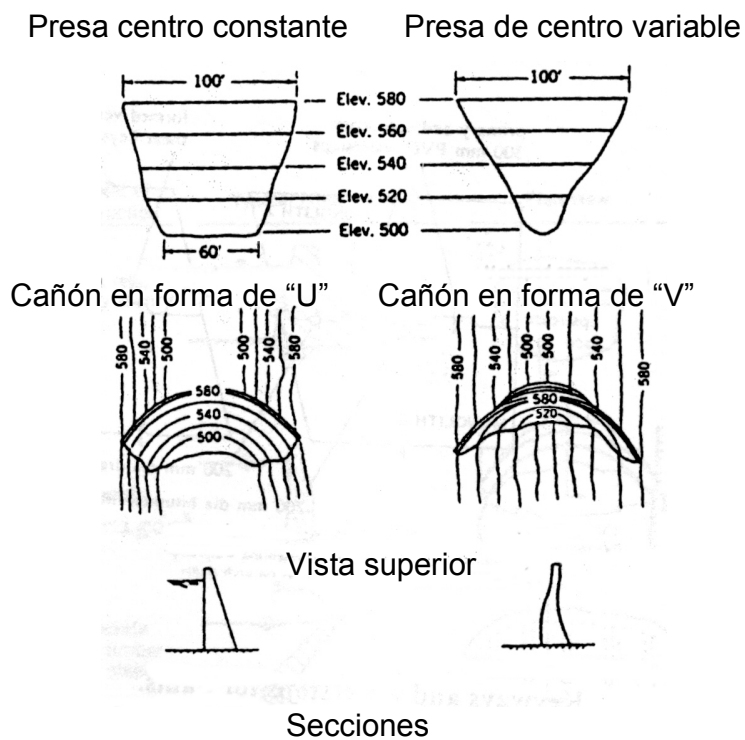


El componente horizontal del peso del agua está soportado conjuntamente por la acción del arco y de la consola. La distribución del peso

entre los arcos y las consolas se determina usualmente con el método de la carga de prueba, que empieza con una suposición acerca de la distribución del peso. La mayoría de los pesos son llevados cerca del fondo de la represa por medio de las consolas, mientras que los arcos soportan la mayoría del peso cerca del tope.

Hay dos tipos principales de represa de arco, una, con centro constante, y la otra con centro variable.

Figura 7. tipos de represas de arco

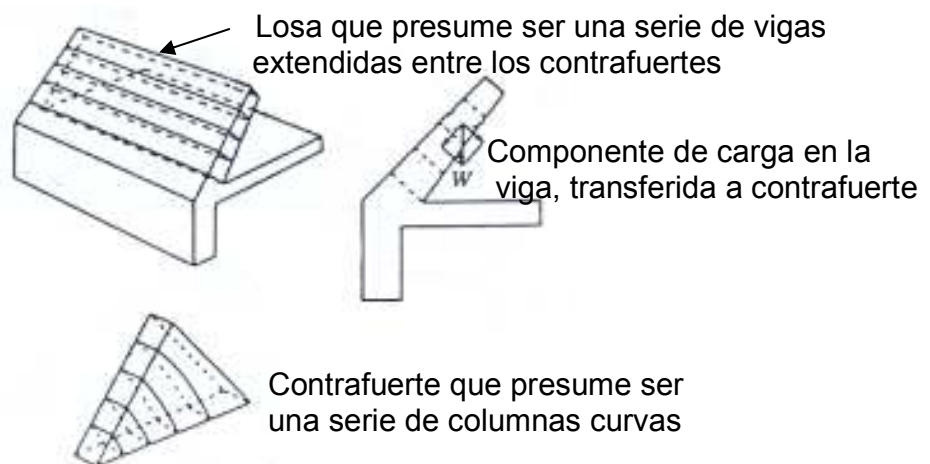


1.3.2.4 Represas de contrafuerte

Una represa de contrafuerte consiste en una membrana inclinada que transmite el peso del agua a una serie de contrafuertes con ángulos rectos al

eje de la represa. Hay varios tipos de presas de contrafuerte, las más importantes son las de losa plana y las de arco múltiple. Estas difieren en que la parte que soporta el agua en un caso es una serie de planchas planas de concreto reforzado, mientras que el otro caso, es una serie de planchas en forma de arco.

Figura 8. Sección transversal de un contrafuerte de losa plana



Las represas de contrafuerte, normalmente requieren un tercio o la mitad de hormigón que las represas de gravedad de altura similar, pero no son necesariamente más baratas, por causa del aumento de encofrado y el refuerzo de acero.

Puesto que una represa de contrafuerte es menos masiva que una represa de gravedad, las presiones de los cimientos son menores, además, las represas de contrafuertes pueden utilizarse en los cimientos que son muy débiles para sostener una represa de gravedad.

Las caras de la corriente de entrada de las represas de contrafuerte usualmente tienen una inclinación de aproximadamente 45° , y con un embalse

lleno se ejerce en la represa una gran componente vertical de la fuerza hidrostática. Esto ayuda en estabilizar la represa contra deslizamientos y vuelcos.

1.3.3 Investigaciones geotécnicas en sitio de represa

Es de vital importancia que la represa sea diseñada de tal forma que la posibilidad de fallas sea mínima, ya que el fracaso de un embalse con almacenamiento completo resultaría en una posible pérdida de vidas y propiedades.

Una represa segura requiere que la estructura misma y el suelo o los cimientos en los que esté construida sean seguros. Es por éste requisito que investigaciones geotécnicas extensas sobre la represa propuesta y el sitio del embalse deben preceder al diseño de la estructura.

Cuando se tienen algunos sitios posibles para la escogencia del sitio de represa, se evalúan o influyen ciertos factores como, factores económicos, ambientales, hidrológicos, etc.

Después de haber hecho la selección del sitio de represa, debe dirigirse la atención al estudio del tipo de represa que mejor se ajusta al sitio propuesto.

Las consideraciones geotécnicas influyen mucho en la decisión final. Se debe dar respuesta a cuestiones relacionadas con las características de los cimientos y el tratamiento requerido, el volumen de la represa, la factibilidad de construcción de la misma, las estructuras accesorias y la disponibilidad de materiales para la construcción.

Los objetivos de las investigaciones geotécnicas son por lo tanto:

- Caracterizar la distribución y las propiedades de la ingeniería (fuerza, compresibilidad y permeabilidad) de los suelos y rocas que comprenden los cimientos de la represa y estructuras accesorias
- Estudiar la cantidad y las características de los materiales de construcción disponibles para rellenos y concreto.

El alcance y el costo de las investigaciones geotécnicas varían de sitio en sitio, dependiendo de la complejidad de la geología y de la variabilidad del suelo y los cimientos rocosos. También dependen de si el proyecto está en la etapa de factibilidad, diseño, o construcción.

Durante la etapa de factibilidad se deben emprender investigaciones geotécnicas en cada sitio hasta que sea necesario para permitir una comparación exacta de los costos de diferentes tipos de represas en sitios alternativos.

Una vez que esta fase está terminada y se hayan definido el tipo y ubicación de la represa y de las estructuras accesorias, se obtiene una información geotécnica más detallada para proceder con el diseño de las instalaciones.

Como primer paso, se debe reunir la información disponible en cuanto al área del proyecto, esto es, mapas topográficos, mapas geológicos y de suelo, además de fotografías aéreas y fotografías de satélite, si es que se tienen.

Una investigación para los mapas que cubren las áreas del embalse, el sitio de represa, y las áreas potenciales de préstamo, se hace necesaria.

Puede localizarse en los mapas la localización de sitios de exploración, zanjas, pozos, y características físicas significativas, como afloramientos de roca, desprendimiento de suelos, o caminos, senderos, etc.

Las fotografías aéreas son utilizadas principalmente para identificar las características de superficie, tales como topografía, superficie, drenaje y patrones de erosión, capas de vegetación, deslizamientos, rasgos, sistema de grietas y zonas de fallas.

Sin embargo, en algunos casos, solo personas experimentadas pueden identificar e interpretar las características de la superficie de forma confiable para predecir las condiciones subterráneas profundas tales como la presencia de formaciones cársticas.

1.3.4 Consideraciones a tomar para la escogencia de represa

Cuando se escoge el tipo de represa para un proyecto, suele suceder que, más que el tipo de represa adecuado para el sitio indicado, la escogencia de esta se basa en consideraciones económicas, en preferencias del diseñador o del propietario, o en la decisión de la junta consultora.

Generalmente influye en la escogencia del tipo de represa, los criterios del diseñador ya que éste, tiene control en aspectos generales del sitio propuesto.

La lista de factores que el diseñador considera a la hora de seleccionar tanto la represa como las estructuras accesorias son las siguientes:

- Topografía
- Cimientos de la presa
- Disponibilidad de materiales de construcción

- Riesgos de crecida
- Riesgos sísmicos
- Recursos disponibles.

1.3.4.1 Datos topográficos al escoger tipo de represa

La topografía de la cuenca de almacenamiento se utiliza para determinar el volumen del almacenamiento del embalse disponible y así determinar alturas posibles de la represa. Es de mucha utilidad también para evaluar la cantidad de materiales de excavación y de relleno o terraplén que se utilizaran tanto para represa como para estructuras accesorias.

Los valles estrechos con taludes de roca altos, son favorables para la construcción de represas de concreto armado. Las colinas de pendiente suave y con llanuras anchas, favorecen a la construcción de represas de terraplén.

1.3.4.2 Cimientos de la represa

Los cimientos rocosos adecuadamente limpiados de material de erosión y tratados contra agua, son ideales para cualquier tipo de represa.

Los cimientos densos de arena y grava son adecuados para todas las represas de terraplén y para represas pequeñas de hormigón, siempre y cuando se implementen las medidas adecuadas de control de filtraciones.

Los cimientos compresibles de limo y arcilla impiden tomar en cuenta la escogencia de represas de hormigón y requieren un cuidado especial para las represas con rellenos de rocas, debido a posibles asentamientos perjudiciales en la estructura.

Los cimientos de arena suelta en un ambiente sísmico están sujetos a licuefacción sísmica potencial y son inadecuados para cualquier tipo de represa. Si los materiales sueltos se excavan o se mejoran sus condiciones físicas, entonces podría considerarse una represa de terraplén.

1.3.4.3 Disponibilidad de materiales de construcción

Se requieren materiales para la construcción del terraplén (núcleo, armazones, filtros, protección de la vertiente) y fabricación del hormigón. Cuando se consiguen los materiales adecuados cerca del sitio, las represas de terraplén se pueden construir usualmente con un costo inferior al de las represas de hormigón.

La disponibilidad de arena y grava, pero la ausencia de arcillas impermeables puede favorecer la escogencia de una represa de hormigón.

1.3.4.4 Riesgos de crecida

La posibilidad de crecida durante la construcción, favorece, ya sea una represa de hormigón o una de relleno con rocas con o sin refuerzo en la corriente de salida.

Con la crecida está relacionada la necesidad de un vertedero, frecuentemente el costo de construcción de un vertedero es alto. Para tales casos puede ser ventajoso combinar el vertedero y la represa en una estructura (represa de hormigón). Más adelante se hablará de los vertederos con más detalle.

1.3.4.5 Riesgos sísmicos

Es de vital importancia la evaluación y el establecimiento de los riesgos sísmicos ya que estos nos darán la pauta para tomar las decisiones adecuadas de cara a la escogencia de la represa.

La ruptura potencial de una falla a lo largo de los cimientos de la represa impide que se tomen en cuenta la construcción de estructuras rígidas tales como una represa de hormigón o una compactada con apisonadora. En estos casos se recomienda la escogencia de represas de terraplén con amplias zonas de arena y grava.

1.3.4.6 Clima

La construcción de represas está limitada durante la época lluviosa en zonas permeables, por lo que se hace más apropiada la construcción de represas de enrocamiento, las cuales suelen ser las más baratas en climas severos. No obstante se debe tratar la manera, en lo posible de construir las represas en época seca, a manera de enfrentar menos problemas durante la construcción.

1.3.4.7 Trabajos de desviación

La configuración del valle, las consideraciones hidrológicas y de tiempo, a menudo pueden plantear serias dificultades de construcción que requieren trabajos caros, como por ejemplo el uso de túneles auxiliares para desvío de flujo durante la construcción de la represa o el uso de ataguías, que pueden ser presas pequeñas o conjuntos de chapas de acero asentadas sobre pilotes,

diseñadas a fin de eliminar el flujo del río mientras se construye una parte de la represa.

1.3.4.8 Recursos disponibles

En algunos sitios no se pueden conseguir ni contratistas para una construcción específica, ni una fuerza laboral adecuada. Por ejemplo, un país puede no tener la experiencia o el equipo necesario para la construcción de una represa de hormigón compactada con apisonadora o para la cara de hormigón de una represa de roca. En tales casos, puede ser más apropiado contratar el trabajo de empresas extranjeras con experiencia en el trabajo en mención o construir una represa de otro tipo.

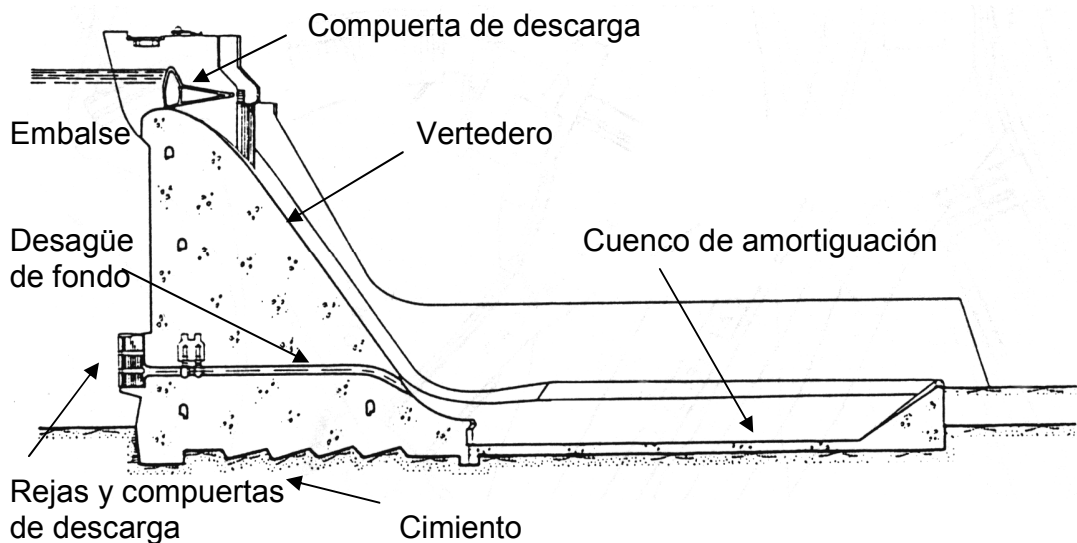
1.3.5 Vertedero de represa

Los vertederos son elementos de seguridad diseñados para evacuar la cantidad de agua que sobrepasa la capacidad del embalse, de modo que la presa quede protegida contra la erosión y el arrastre, especialmente en zonas tan vulnerables como la cimentación, apoyos laterales y coronación.

Los vertederos ayudan a evitar que el agua en exceso procedente de grandes crecidas, rebose sin control por encima de las presas, lo que podría ocasionarles graves daños, poniendo en peligro la estabilidad de las mismas al presentarse esfuerzos y efectos perjudiciales. Estos encauzan el agua, llegándose en situaciones normales a regular la cuantía de los caudales vertidos.

Por razones similares se instalan otros tipos de desagües conocidos como **desagües de fondo** mediante los cuales se puede controlar y regular la salida del agua.

Figura 9. Sección de presa vertedero con desagüe de fondo



La importancia del vertedero no puede ser subestimada, ya que muchos fracasos han ocurrido porque el vertedero no pudo hacer pasar una crecida en particular por lo que la presa fue sobrepasada y rota.

Es importante que dentro de la planificación del proyecto se tome en cuenta que el vertedero sea capaz de soportar la crecida de diseño.

1.3.6 Embalse de regulación

Dentro de la fase de investigación al planificar un proyecto hidroeléctrico se debe tomar en cuenta uno de los elementos principales del proyecto como es el embalse. Dicho elemento es el que se encarga del almacenamiento del agua de cara utilizar la misma como medio para generar energía eléctrica.

El propósito principal del embalse es el de regular el flujo de la corriente para satisfacer en lo posible las demandas de agua para usos diversos. Los estudios de operación del embalse y consideraciones económicas (costo de la represa, vertedero, etc.) determinan hasta que punto es posible y conveniente proveer la regulación. Este proceso particular se denomina frecuentemente “optimización del embalse”, tema del cual se hablará en detalle, más adelante.

Hay dos tipos de embalses de almacenamiento:

- Embalses “en la corriente”, los cuales son embalses ubicados en la corriente que ellos regulan.
- Embalses “fuera de la Corriente”, son embalses ubicados lejos de la corriente de agua principal y están abastecidos por medio de desviaciones de la corriente principal u otros ríos.

La diferencia principal entre los dos tipos está en las características de afluencia. La afluencia de los embalses “fuera de la corriente” es reducida por la capacidad de las obras de desviación, y limitada al exceso de agua de la corriente principal. Normalmente no será factible desviar todo el flujo del río en momentos de crecida.

Los elementos principales del estudio de la operación del embalse son:

- Afluencia total
- Afluencia almacenable (afluencia total menos el flujo que se debe dejar para satisfacer derechos o usos de agua previamente establecidos)
- Pérdidas del embalse (evaporación, transpiración y pérdidas por filtración)
- Descargas para satisfacer las demandas de los diferentes objetivos del proyecto y fugas del embalse.

En la operación de los embalses en que el control de la crecida es el objetivo principal, el espacio que se asigne a la crecida debe considerarse inviolable en los sitios en que la crecida es impredecible. Donde la crecida es estacional y predecible, el espacio de control para la misma, puede ser invadido para otros propósitos con tal que se pueda evacuar con seguridad el espacio que fuera necesario para manejar la crecida prevista.

1.3.7 Hidrovías (túneles o canales)

Los canales que conducen el agua desde la entrada en el sitio de la represa hasta la central eléctrica, normalmente están dispuestos de tal forma que la entrada y la salida pueden cerrarse. La entrada puede incorporarse a la represa o a las obras de regulación o ser una estructura separada, están equipados con rejillas de desechos para mantener limpio de escombros flotantes y con compuertas para regular el acceso de agua a los canales.

Los canales en la corriente de entrada se llaman “canales de carga” mientras los que están en la parte de la corriente de salida se llaman “canales de descarga”. Las opciones para las vías de agua son muchas. Las alternativas principales son los canales, alcantarillas, túneles, pozos, esclusas, etc.

Se debe considerar a la hora de planificar el proyecto, muchos factores físicos de cara a la planificación y diseño de las hidrovías. Si las soluciones de canal son posibles, el alineamiento es dictado hasta cierto punto, por la topografía. El canal puede ser largo y provocar pérdidas de cargas elevadas, se debe disponer de una cuenca en el tope de la esclusa que incluya vertedero e instalaciones para evacuar el exceso de agua. Un túnel alternativo puede

proporcionar una solución viable y será más atractivo que un canal de descarga.

1.3.7.1 Compuertas de descarga

En la mayoría de proyectos hidroeléctricos se hacen necesarias las salidas de fondo de los embalses.

Tales compuertas muy a menudo trabajan en condiciones muy difíciles, por causa de la gran variación de la carga hidráulica. Los problemas típicos son la cavitación, vibración, aireación y disipación de la energía.

De acuerdo a la experiencia de la mayoría de entidades encargadas a la realización de proyectos hidroeléctricos, las compuertas deslizantes de diseño robusto han demostrado ser las de mejor solución, pero algunas veces, las compuertas radiales con sello superior se usan para grandes secciones transversales, mientras que las válvulas se usan para descargas más pequeñas.

1.3.7.2 Rejas

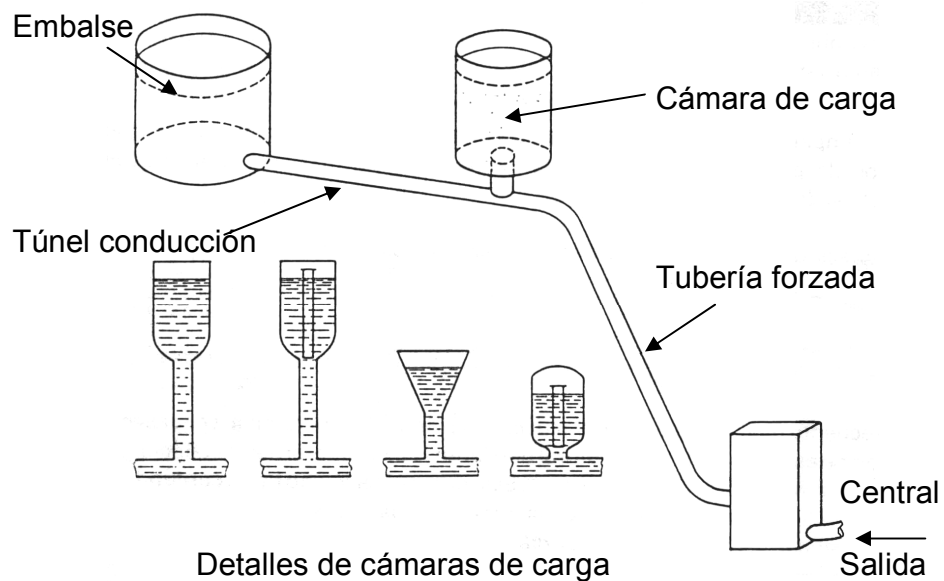
Dentro de la planificación de las hidrovías se debe tomar en cuenta el diseño de las rejas, las cuales tienen como propósito proteger la turbina de los desechos y material extraño que pueda dañar u obstruir el rotor o la boquilla de la turbina. En la figura 9 se puede observar la ubicación de las rejas y de las compuertas de descarga en la represa.

1.3.8 Cámara de carga y su ubicación

También llamada, chimenea de equilibrio, cámara de presión, tanque de equilibrio o depósitos de compensación. La misión de esta es reducir al máximo, las consecuencias nocivas provocadas por el golpe de ariete, el cual se presenta en las tuberías (la mayoría de veces en la de presión) al ejecutar maniobras rápidas en los dispositivos que abren, cierran o regulan el paso del agua. Las cámaras de carga consisten en pozos piezométricos, situados adecuadamente sobre las conducciones, estando unidas a estas por su parte inferior. En las cámaras de carga los niveles de agua fluctúan, de acuerdo a los valores de presión existentes en dichas conducciones.

Las cámaras de carga, transforman la energía cinética en energía potencial. Se instalan, principalmente, en la zona de unión entre los túneles y la tubería forzada.

Figura 10. Diagrama proyecto hidroeléctrico con cámara de carga



1.3.9 Central eléctrica y su ubicación

En un sentido muy amplio, entendemos que una central eléctrica es una instalación destinada a transformar, energía potencial a energía eléctrica, por lo tanto estas instalaciones serán al mismo tiempo plantas productoras de energía eléctrica, llamadas genéricamente centrales eléctricas. En las centrales eléctricas, se obtiene electricidad por medio de las máquinas denominadas generadores eléctricos, llamados igualmente alternadores, por ser alterna la corriente producida. Son accionados por máquinas motrices conocidas como motores primarios, los cuales se mueven, expresándonos con mayor precisión, giran, como resultado de la adecuada aplicación de los mismos, de las distintas formas de energía presente en la naturaleza.

Tipos de centrales eléctricas: Los tipos de centrales eléctricas surgen en relación con las diversas materias primas utilizadas, o dicho de otra manera, se fundamentan en la energía potencial primaria que da origen a la sucesiva transformación, hasta conseguir, como resultado final, la energía eléctrica. Siendo así tenemos los diferentes tipos de centrales eléctricas:

- Centrales hidráulicas
- Centrales térmicas
- Centrales nucleares
- Centrales mareomotrices
- Centrales geotérmicas
- Centrales eólicas
- Centrales solares
- Centrales hidrotérmicas

En nuestro caso para los objetivos de planificar un proyecto hidroeléctrico nos centraremos en las **centrales hidráulicas** también conocidas como centrales hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas son las más rentables en comparación con otros tipos, pues si bien su costo inicial de construcción es elevado, una vez puestas en funcionamiento, los gastos de explotación y mantenimiento, son relativamente bajos, siempre y cuando las condiciones pluviométricas medias sean plenamente favorables.

La ubicación dependerá totalmente de las características y configuración del terreno por la que discurre la corriente de agua que va a servir de materia prima por lo que se necesita de mucha experiencia en el caso de los planificadores al escoger el sitio idóneo para la ubicación de la misma.

Los componentes de las centrales hidroeléctricas, en el entendido que le llamaremos central hidroeléctrica a la también llamada “casa de máquinas” ya que a todo el conjunto de obras producto de la realización final de un proyecto hidroeléctrico le llamaremos aprovechamiento hidroeléctrico, dichos componentes son:

- Turbinas hidráulicas
- Alternadores
- Transformadores
- Sistemas eléctricos de media, alta tensión
- Sistema eléctrico de baja tensión
- Sistema eléctrico de corriente continua
- Medios auxiliares y cuadros de control
- Edificio central

No vamos a detenernos en el análisis de los equipos ya que esto requiere de un estudio muy minucioso y detallado, que por lo general los planificadores le delegan a los proveedores de estos equipos los cuales son los especialistas en decidir cuales son los tipos de equipos que se adaptan mejor a las características del proyecto.

1.4 Criterios económicos al planificar un proyecto hidroeléctrico

Los proyectos hidroeléctricos son evaluados en varias de las etapas de investigación y para propósitos varios. Normalmente las evaluaciones son hechas usando criterios, que aunque tratan con diferentes aspectos, son enteramente interdependientes.

Las evaluaciones normalmente cubrirán los siguientes aspectos:

- Técnicos
- Ambientales
- Económicos-financieros

De las anteriores, la evaluación técnica del proyecto es la más comprensiva de todas. Esta evaluación cubre las características naturales del proyecto, la factibilidad de los planes del proyecto y los aspectos de seguridad durante la construcción y operación seguido de la puesta en servicio del proyecto.

La evaluación ambiental de los planes del proyecto está estrechamente interrelacionada con la evaluación técnica. El impacto ambiental y las alteraciones a ser evaluadas son un resultado anticipado de implementar el proyecto y la factibilidad ambiental de los planes del proyecto.

Si se encuentra que la implementación de los planes del proyecto lleva a un impacto y alteraciones ambientales inaceptables, el proyecto será juzgado como técnicamente no factible por los efectos nocivos en el ambiente. Los efectos pueden ser de naturaleza física, tales como inundación debido a la regulación de la represa, o pueden ser más de naturaleza social, tales como el desplazamiento de habitantes que resulta de la regulación de la represa.

Comparado con las evaluaciones técnicas y ambientales, las evaluaciones económicas y financieras están menos expuestas a los puntos de vista del evaluador. Sin embargo, ellas también están influenciadas por los planes del proyecto, ya que la realización económica y financiera de los proyectos están interrelacionadas con:

- Ingresos del proyecto
- Costos del proyecto
- Tiempo de implementación
- Costos de operación y mantenimiento

La ejecución financiera del proyecto también está muy influenciada por las tasas de interés y las condiciones financieras.

La evaluación económico-financiera está basada en los flujos de caja generados por el proyecto durante su vida útil. Los proyectos hidroeléctricos, como otros proyectos de infraestructura, tendrán que competir por el financiamiento, ya que normalmente el capital de inversión es escaso.

Pruebas financieras y económicas preliminares pueden ser llevadas a cabo en los proyectos con el propósito de evaluar su ejecución en estos campos. El resultado de estas pruebas indicará las expectativas de ejecución

financiera y económica y proveerá una base para comparación de proyectos que compiten por los mismos fondos y recursos disponibles para capital de inversión.

1.4.1 Factor de descuento

Al aplicar descuentos para convertir flujos de caja a un solo número adecuado para su uso en la comparación de alternativas, el objetivo básico es convertir el valor en una fecha dada a un valor equivalente en otra fecha.

El factor de cantidad compuesta de un solo pago indica el número de dólares que tendrán que ser acumulados después de N años por cada dólar inicialmente invertido a una tasa de retorno de i por ciento. La notación funcional es $(F/P, i\%, N)$ donde F implica una cantidad futura y P una cantidad presente. Si uno tuviera que depositar P dólares inicialmente, después de un (1) año:

$$F = P (1 + i)$$

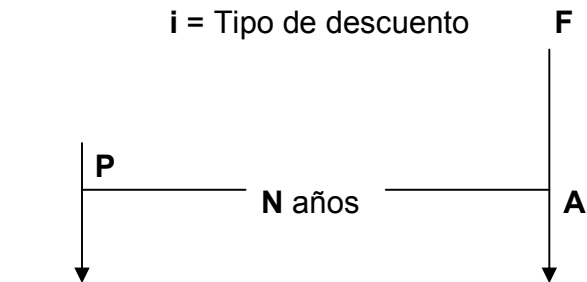
Cada año, la cantidad debe ser nuevamente multiplicada por $(1 + i)$ para tomar en cuenta los intereses de ese año; por lo tanto después de N años:

$$F = P (1 + i)^N$$

El factor deseado se torna en:

$$\frac{F}{P} = (1 + i)^N$$

Figura 11. Factores de un solo pago:



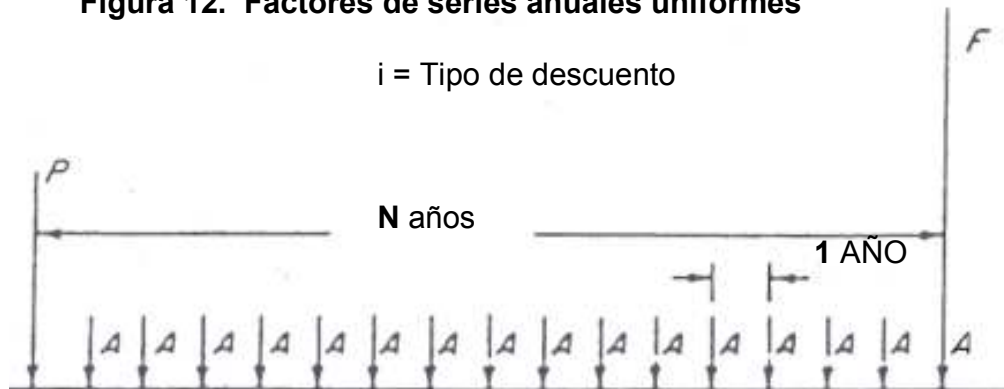
Factor de cantidad compuesta de un solo pago = F / P

Factor de valía presente de un solo pago = P / F

El factor de fondo de amortización: indica el número de dólares que uno debe invertir en cantidades uniformes a un i por ciento al final de cada uno de los N años para acumular un (1) dólar. La notación funcional es $(A/F, i\%, N)$. Si uno tuviera que aplicar el factor de cantidad compuesta de un solo pago, individualmente para cada uno de los N factores de A en la **figura 12** y sumar los resultados para obtener F , el resultado sería:

$$F = A [1 + (1+i) + (1+i)^2 + \dots \dots + (1+i)^{N-1}]$$

Figura 12. Factores de series anuales uniformes



Fondo de amortización = A / F ; Factor compuesto de cantidad = F / A
 Factor de recuperación de capital = A / P ; Factor de valía presente = P / A

1.4.2 Costo marginal y análisis de ingresos

Las consideraciones de ingresos y costo marginal son utilizadas extensivamente en ingeniería hidroeléctrica, como parte del proceso de diseño y planificación. Ellas se utilizan para determinar el tamaño económico de los proyectos y las dimensiones económicas de las estructuras y elementos del proyecto. Económico en este contexto significa óptimo, tamaño óptimo, dimensiones óptimas, instalaciones, etc.

Bajo el concepto de consideración de ingreso y costo marginal, el óptimo es alcanzado cuando el costo de un incremento es igualado por el valor utilitario del mismo incremento.

Los datos sobre costos e ingresos mencionados anteriormente reflejan un tamaño o dimensión establecida del proyecto. Basado en esto, la rentabilidad del proyecto puede ser evaluada. La calidad del proyecto a este punto, sin embargo, todavía no está decidida. Un cambio en el trazado o un tamaño diferente puede mejorar la rentabilidad y aumentar las ganancias.

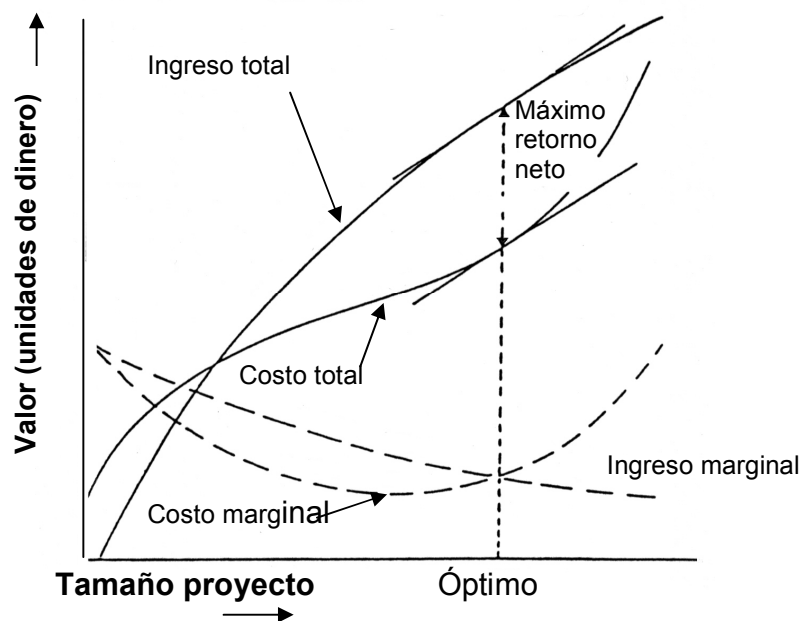
La meta normal de un planificador de proyectos, es maximizar el retorno neto de la inversión, es decir, hacer lo más grande posible la diferencia entre ingreso total y costo total. Información acerca de esta situación óptima puede obtenerse calculando la diferencia en varias etapas y de esta manera se identifica la diferencia máxima. Sin embargo una mejor manera es utilizar el concepto de consideración marginal para buscar la solución óptima.

Como se definió anteriormente, el óptimo ocurre cuando el costo marginal de un incremento corresponde al ingreso marginal (o valor marginal) del incremento. El costo marginal y el ingreso marginal son obtenidos por la derivación de las funciones de ingreso y costo total. Los ingresos y costos

totales son desarrollados como funciones de tamaño, ver la figura 13, donde estas últimas están ordenadas como curvas en un diagrama.

Las correspondientes curvas de ingreso y de costo marginal obtenidas por derivación de las curvas de ingreso y costo total también se muestran en la figura 13. Los requerimientos para el tamaño óptimo se cumplen donde estas dos curvas se intersecan. El tamaño óptimo también corresponde donde ocurre la máxima diferencia entre las curvas de ingreso total y costo, o sea el punto en las curvas en donde sus tangentes se tornan paralelas.

Figura 13. Curvas de costos e ingresos



La optimización de proyectos hidroeléctricos y de elementos del proyecto es una parte importante del proceso de implementación, diseño y planificación. La optimización es una parte integral de la planificación y cubre todas las fases de desarrollo, a varios niveles de precisión.

La optimización se usa en conexión con la determinación de los elementos del proyecto, tales como:

- Embalses y represas
- Instalación de generación, tamaño de la unidad
- Vías hídricas, estructuras, etc.

Como hay una fuerte dependencia entre los diferentes elementos del proyecto, es fácil percibir que a un elemento no se le pueden establecer sus dimensiones independientemente de las de otros elementos.

El diseño es, en principio, una aproximación gradual a la dimensión óptima. Inicialmente se utilizan métodos simples para identificar las áreas de interés. Tales métodos son seguidos por métodos más avanzados conforme se ejecuta el trabajo de planificación, por ejemplo el uso de simulaciones computarizadas para establecer dimensiones exactas.

La optimización es un proceso reiterativo continuo. Una vez diseñado el embalse, la estación central y las vías hídricas son re-examinadas. El volumen de almacenamiento es entonces revisado de nuevo usando los valores computados para las vías hídricas e instalaciones de generación.

1.4.3 Optimización del volumen del embalse

Para la optimización del volumen de embalse se establece una base hidrológica para un área de drenaje en relación con posibles sitios de represas y embalses. Uno o varios embalses deben ser investigados en relación con el tamaño y distribución eventual del almacenamiento entre las alternativas de embalses identificadas.

La razón para iniciar la optimización de un proyecto hidroeléctrico con los trabajos de regulación, es que este componente gobernará las dimensiones de los otros componentes del proyecto.

Cuando se almacena por medio de represas, el principal **costo de almacenamiento** está relacionado con la construcción de la represa de almacenamiento. Otros costos son la adquisición de tierras y compensación por daños que resultan de las inundaciones, etc. En algunos casos también hay costos relacionados con la protección de los embalses, control de erosión y prevención de deslizamientos.

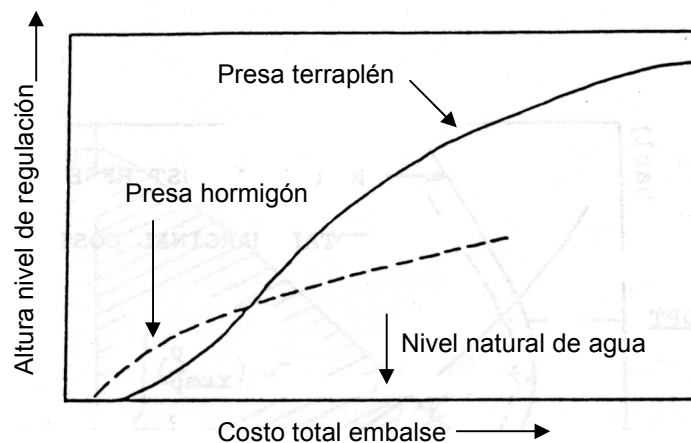
Una vez que se ha escogido el sitio de la represa y que se conoce la topografía del sitio de la misma, se puede determinar el volumen principal de la represa, los costos de la represa para cada paso de regulación pueden ser calculados, con base en los registros disponibles de costos del tipo de represa.

El costo total de almacenamiento se obtiene como una función de los diferentes niveles de regulación. Los costos de almacenamiento son frecuentemente presentados en un diagrama como curva de costo de almacenamiento.

Para algunos casos, dos tipos diferentes de represas pueden ser adecuadas para el sitio disponible, por ejemplo represas de hormigón y represas de terraplén.

El costo de almacenamiento es entonces presentado en el mismo diagrama, ver la siguiente figura:

Figura 14. Curvas del costo de almacenamiento



Basado en los costos de almacenamiento totales, se puede calcular el costo marginal y se calcula para un incremento en el nivel de regulación.

Hasta este punto se ha hablado del costo del embalse de almacenamiento como una función del volumen de almacenamiento. Para ejecutar el análisis económico, se debe establecer también el valor del espacio de almacenamiento, es decir, el ingreso que puede proveer.

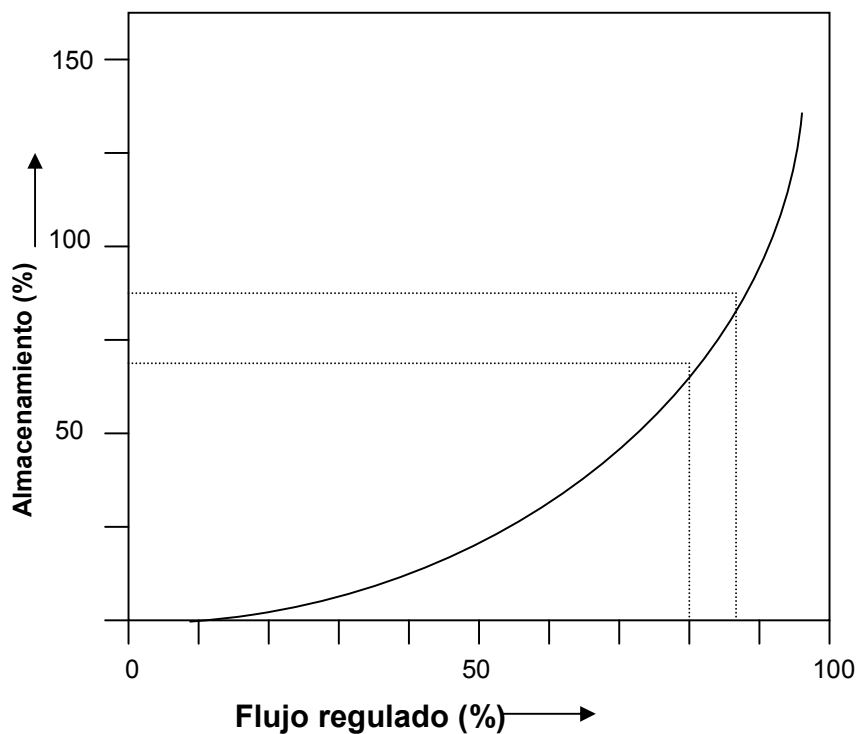
El valor de almacenamiento para proyectos hidroeléctricos está ligado a la producción de energía eléctrica. La relación entre el volumen de almacenamiento y producción de electricidad debe ser establecida de manera que la cantidad de energía pueda ser calculada.

Desde que las simulaciones por computadora empezaron a ser disponibles, las curvas de regulación ya no se usan directamente en la

planificación de proyectos hidroeléctricos, no obstante se mencionarán ya que ellas, de alguna manera ilustran de una manera sencilla como el volumen de almacenamiento influencia la producción de energía.

Las curvas de regulación son útiles para convertir el volumen de almacenamiento en valores de almacenamiento. Normalmente el requisito de confiabilidad para el abastecimiento constante de energía es el racionamiento, que debe ocurrir solo un año cada diez como máximo, en otras palabras la energía debe ser abastecida en un 90% del número de años. La curva de regulación establecida con este criterio significa que el flujo regulado debe ser mantenido por nueve de cada diez años. Tal curva es establecida para flujos correspondientes a la demanda a lo largo del año. La preparación manual de tal curva de regulación es un trabajo muy intensivo.

Figura 15. Curva de regulación para determinado año



Con base en la curva de regulación se calcula la cantidad de potencial constante y secundario, que suministrarán los diferentes volúmenes de almacenamiento. Un volumen de almacenamiento, por ejemplo, de 70% del flujo de entrada promedio anual dará en este caso un flujo regulado correspondiente a aproximadamente 80% del flujo de entrada anual. Este 80% puede ser vendido como potencial constante, mientras que el resto es considerado potencial secundario. Parte del 20% del agua no regulada puede sin embargo, perderse en derrames en algunos años.

Si el porcentaje de almacenamiento es aumentado a un 90%, el flujo regulado correspondiente alcanzará aproximadamente 87% es decir, el potencial constante aumentará mientras que el potencial secundario disminuirá correspondientemente.

Si se utiliza una simulación computarizada en vez de una curva de regulación, la cantidad total de energía y distribución entre potencial constante y potencial secundario resultará como una función de tamaño de los volúmenes de almacenamiento. El programa de simulación calculará además las pérdidas por crecidas.

Con el uso de la simulación, el proceso implica un aumento por pasos del volumen de almacenamiento, mientras que otros parámetros permanecen constantes. El resultado es el potencial constante y total como una función del volumen de almacenamiento para los parámetros utilizados.

El próximo paso en el procedimiento es repetir la simulación con otros parámetros, por ejemplo, tamaño de instalación de los generadores, etc, para ver si la energía aumenta cuando un nuevo grupo de parámetros es utilizado. De esta manera se obtiene la producción máxima con diferentes volúmenes de

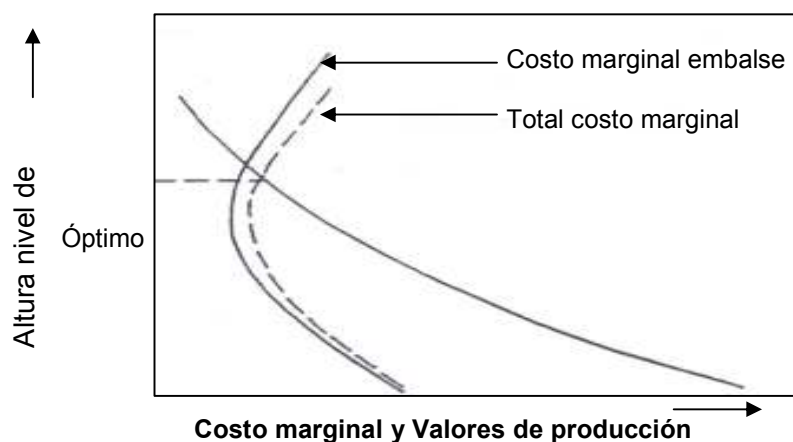
almacenamiento. Usando uno u otro método, la cantidad de energía, constante y total, se establece como una función del volumen de almacenamiento.

El próximo paso es determinar el valor de la energía producida con precios conocidos por kilowatts hora (kWh) para energía constante y secundaria. El valor de producción total por año puede ser calculado como una función del volumen de almacenamiento.

Conociendo el valor de producción anual para varios volúmenes, se puede encontrar el **almacenamiento óptimo**, en otras palabras, se puede determinar el almacenamiento que da la máxima ganancia neta.

El criterio para establecer el valor óptimo es cuando el valor de producción marginal iguala al costo marginal. Se establece el costo marginal de almacenamiento como una función del nivel de regulación, y los valores de producción marginal también necesitan ser determinados, es decir, los valores de producción marginal deben ser expresados como una función de la misma variable, el nivel de regulación

Figura 16. Valores de la producción marginal y costos de almacenamiento marginal como función del nivel de regulación



Las dos curvas de costo marginal se intersecan donde el costo marginal iguala el valor de producción marginal y así se establece el tamaño óptimo del embalse de almacenamiento.

Hasta este punto solo los costos relacionados con el embalse de almacenamiento han sido considerados. Cuando el volumen de almacenamiento aumenta, será posible suministrar más energía constante. Para conseguir esto, la instalación de generación puede que tenga que ser aumentada, lo que conduce a mayor energía en la estación central, vías hídricas etc. Además de mayores costos en el área de almacenamiento, también habrán mayores costos en el área de almacenamiento, también habrán mayores costos en otras partes del proyecto hidroeléctrico. Estos aumentos en los costos marginales totales también deben ser tomados en cuenta y se encuentran cuando se optimizan estos componentes del proyecto.

En la figura 16 el costo marginal total se muestra como una línea interrumpida. Donde ésta curva interseca la curva para el valor de producción marginal. El correspondiente nivel de regulación óptimo se encuentra al dibujar una línea horizontal desde el punto de intersección al eje de la ordenada.

Como puede verse, el nivel de regulación óptima será algo reducido cuando se incluye el costo adicional de otros componentes del proyecto.

1.4.4 Optimización de un túnel

A través del túnel de carga y el pozo de presión se hace llegar el agua desde la entrada a la estación central.

La pérdida de carga durante este transporte se encuentra con la fórmula de Manning:

$$h = \frac{\left(\frac{q}{A}\right)^2 \cdot L \cdot M^2}{R^{4/3}} \quad \text{Donde}$$

q = flujo del agua (m³/seg)

A = sección transversal del túnel (m²)

(q/A) = velocidad promedio del agua (m/seg)

L = longitud total del túnel (m)

M = Coeficiente de Manning (para túneles no revestidos, 0.018)

R = Radio hidráulico (m)

La pérdida de carga representa una pérdida de la capacidad (kW) que puede expresarse:

$$C = 9.81 \cdot \eta \cdot q \cdot \frac{\left(\frac{q}{A}\right)^2 \cdot L \cdot M^2}{R^{4/3}} = \text{Potencia (kW)}$$

Entonces:

$$C = \frac{9.81 \cdot \eta \cdot L \cdot M^2}{A^2 \cdot R^{4/3}} \cdot q^3 = \text{constante} \cdot q^3$$

η = ((eficiencia de generador en %) x (eficiencia de turbina en %))

Para q_{\max} tenemos:

C_{\max} : constante $\cdot q_{\max}^3$ de manera que:

constante = $\frac{C_{\max}}{q_{\max}^3}$ entonces tenemos que:

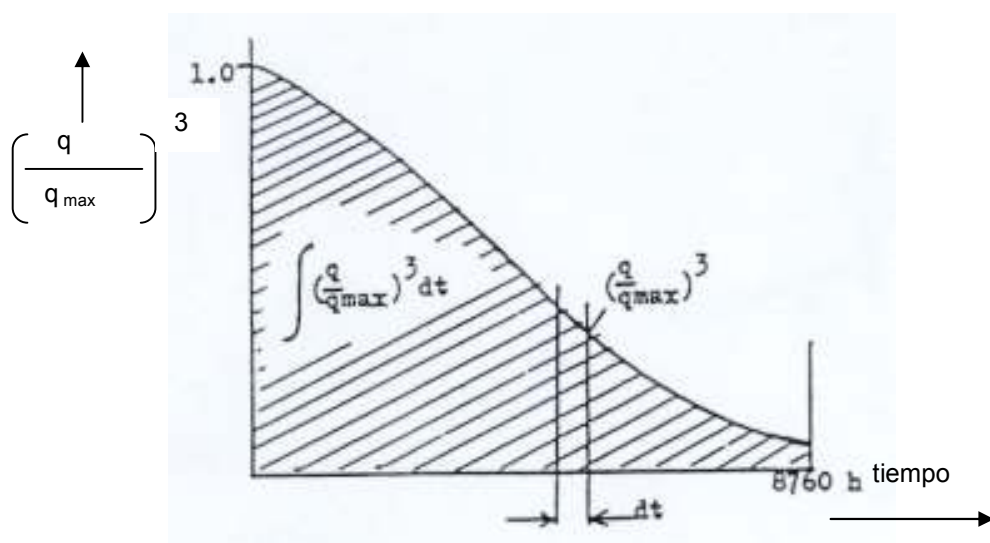
$$C = \frac{q^3}{q_{\max}^3}$$

Durante un año, la carga y por consiguiente la magnitud de q variará. Matemáticamente podemos encontrar la pérdida total de energía anual como la integral de la pérdida de capacidad durante un año:

$$E = \int_{\text{el año}} C dt = C_{\max} \int_{\text{el año}} \frac{q^3}{q_{\max}^3} dt$$

Para solucionar este problema tenemos que regresar a las estadísticas sobre carga para encontrar las variaciones de la carga durante el año. La curva de variación de la carga es procesada como una curva de duración con la carga en unidades relativas. Necesitamos los valores de la carga al cubo.

Figura 17. Valores de carga al cubo



La integral $\int_{\text{el año}} \frac{q^3}{q_{\text{max}}^3} dt$ es igual al área bajo la curva, figura 17. la pérdida anual de energía se encuentra multiplicando esta área con la pérdida de capacidad máxima, C_{max} . Cuando se conoce el valor de la energía, V_{per} , kW, podemos encontrar la pérdida económica total:

$$\text{Pérdida económica} = V \cdot C_{\text{max}} \int_{\text{el año}} \frac{q^3}{q_{\text{max}}^3} dt \text{ (por año)}$$

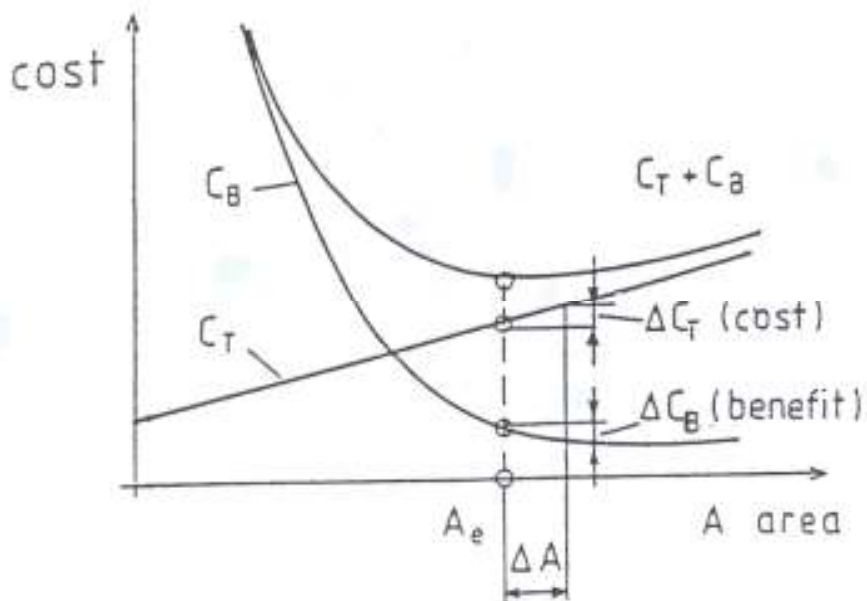
Esta ecuación consiste en dos parámetros que son independientes, un parámetro que depende de la sección transversal del túnel y otro que no.

$\left(\frac{q}{q_{\text{max}}} \right)^3 dt$ es independiente de la sección transversal del túnel, lo mismo con el valor de la energía.

La pérdida máxima de capacidad, C_{max} , depende directamente de la sección transversal. El próximo paso es examinar C_{max} con diferentes secciones transversales del túnel. Junto con este examen, se tiene que evaluar los costos de construcción para las mismas secciones transversales. Nos enfrentamos ahora al problema de donde encontraremos una sección transversal del túnel que minimice la suma de la pérdida económica y los costos de construcción. Para estos no necesitamos los costos totales del túnel. Es suficiente saber los costos incrementales para cada aumento incremental de la sección transversal.

En la figura 18 se muestran los principios de análisis. La curva del costo C_T del túnel y el valor capitalizado de la pérdida de carga C_B se consideran ahora. Mientras el costo marginal del túnel, representado por la derivada de la curva del costo, es menor que el beneficio marginal representado por la derivada de la curva de beneficios, la sección transversal del túnel debería aumentarse. Se logra el óptimo económico cuando ambas derivadas son iguales en magnitud, por ejemplo $\Delta C_T = \Delta C_B$. Esto significa que la sección transversal del óptimo económico está en el punto mínimo de la curva enseñando la suma del costo y beneficio del túnel

Figura 18. Curvas de costos y beneficios para túneles de carga



2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN

2.1 Introducción al proceso de planificación de un proyecto hidroeléctrico

El ciclo de desarrollo de una planta hidroeléctrica consiste de tres partes principales, cada una de las cuales cubre tres períodos en la vida de los proyectos hidroeléctricos.

- Preconstrucción
- Implementación
- Operación

El desarrollo de una planta hidroeléctrica sigue etapas bien definidas. Cada etapa lleva al proyecto un paso más adelante en el ciclo de desarrollo, basada en los resultados de las etapas actuales y previas.

La mayor parte de las investigaciones, planeación y diseño se realizan en la primera fase. Normalmente, la investigación y planificación de los proyectos hidroeléctricos pasa por varios momentos importantes antes de que dichos proyectos sean aceptados para su implementación.

En el proyecto, pueden existir muchas posibilidades y un gran número de alternativas que se deben investigar. Cada proyecto tiene propiedades y condiciones físicas diferentes que tienen que ser consideradas para obtener una base firme para la planificación y el diseño.

La investigación, planificación y el diseño del proyecto, normalmente se organizan en estudios consecutivos que se enlistan en orden creciente de detalle, importancia y confiabilidad:

- Estudios de reconocimiento
- Estudios de prefactibilidad
- Estudios de factibilidad

La planificación y el diseño de los proyectos hidroeléctricos, son actividades muy diferentes en el campo técnico, ambiental, social y económico, de modo que las investigaciones deben ser organizadas de una manera racional y estructurada. Sin embargo, el resultado de las investigaciones del proyecto podrían resultar negativas, por lo tanto, deben ser organizadas en pasos y fases independientes.

En cada fase de desarrollo los proyectos se investigan con la profundidad necesaria para llegar a una conclusión sobre su posibilidad y conveniencia con respecto al objetivo establecido. En cada fase sucesiva de la investigación, se aumenta la profundidad y detalle de la investigación. Los proyectos pasan por un nuevo criterio de conveniencia y ya se incluyen en el catálogo de proyectos posibles o se envían a una fase de investigación posterior.

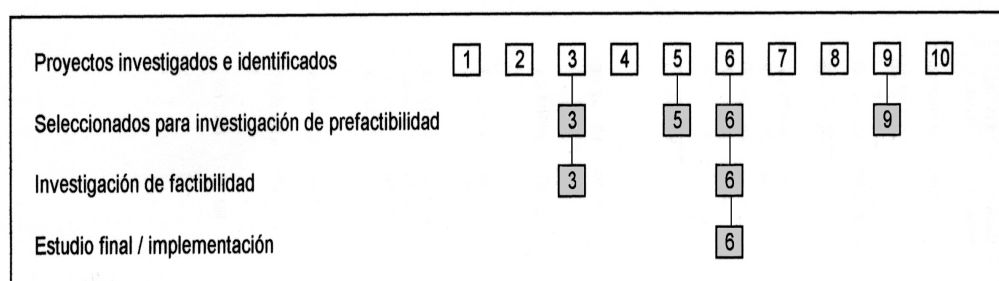
El desarrollo gradual de los planes, asegurará que hayan sido investigadas y examinadas todas las posibilidades. Cuando se lleve a cabo de una forma racional, también se asegurará que no se continúe innecesariamente en proyectos no convenientes. Se deberían descartar los proyectos poco convenientes antes de alcanzar la fase de planificación, evitando así gastos innecesarios.

El desarrollo secuencial y por pasos de la planificación del proyecto hidroeléctrico, aunque sea técnicamente bueno y económicamente prudente, toma mucho tiempo. Si los proyectos se necesitan con urgencia, el elemento tiempo debe tener la prioridad. La reducción del tiempo de planificación a menudo se logra con una reducción de los pasos de la planificación. Sin embargo, se pierde algo de confiabilidad en el proceso.

Se puede ahorrar tiempo en el proceso de planificación poniendo juntos los estudios de reconocimiento y prefactibilidad. Los planes definitivos también pueden incluirse en el estudio de factibilidad para ganar tiempo. El estudio de factibilidad, sin embargo, se mantiene siempre intacto y se organiza como un estudio independiente y autónomo. Esto es necesario porque la decisión de la implementación se basa en el estudio de factibilidad.

En la siguiente figura se ilustra el proceso de planificación descrito de adaptación y selección.

Figura 19. Recursos hidráulicos, investigación y selección de proyectos



Este procedimiento es normal cuando se dispone de varias opciones. El proceso puede ser acortado considerablemente cuando las opciones son pocas o limitadas a un proyecto.

La segunda fase, la implementación, abarca ingeniería y construcción del proyecto. Las actividades de la segunda fase son:

- Diseño y adquisición, que consiste de:
 - Estudio definitivo del plan
 - Diseño final
 - Documentos de la oferta o del contrato
 - Oferta y contratación

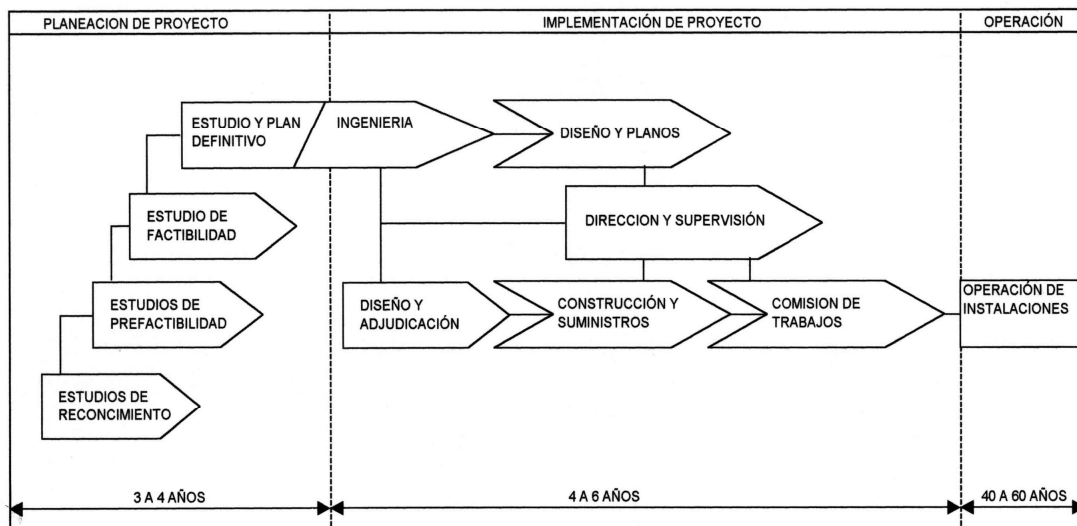
- Diseño detallado y trabajo de dibujo, que consiste de:
 - Diseño detallado y preparación de los dibujos del trabajo para la ingeniería civil, los trabajos estructurales y de transmisión.
 - Diseño detallado y preparación de los dibujos para el taller, para el equipo y las obras electromecánicas e hidromecánicas.

- Construcción de las obras de ingeniería civil, obras estructurales y de transmisión.

- Fabricación y construcción del equipo electromecánico e hidromecánico.
- Comisión y arranque de las instalaciones.

Todo el ciclo de desarrollo de la planta hidroeléctrica se ordena de forma consecutiva como se muestra en la figura 19 que ilustra los elementos principales del ciclo.

Figura 20. Ciclos de desarrollo de una planta hidroeléctrica



2.2 Estudio de reconocimiento

La primera etapa de las investigaciones hidroeléctricas es la definición de los proyectos. Si no se ha hecho como parte de los inventarios de los recursos, debe ser llevada a cabo como parte del estudio de reconocimiento.

Los estudios de reconocimiento son generalmente el primer paso de la planificación orientada hacia el proyecto. Tales estudios son de naturaleza preliminar y su propósito no es investigar los proyectos en detalle, sino que

siendo investigaciones hidroeléctricas básicas, su propósito es identificar e investigar los recursos hidroeléctricos disponibles.

A diferencia de las investigaciones básicas que se llevan a cabo en relación con los inventarios hidroeléctricos, los estudios de reconocimiento son llevados a cabo con propósitos específicos y tienen términos definidos de referencia. Sin embargo, la cantidad de detalles y los datos que requieren son un poco más que los provistos por las investigaciones básicas, si es que se pueden conseguir.

Los estudios de reconocimiento se organizan en la misma línea que los estudios de planificación en cuanto a prefactibilidad, factibilidad, etc. Pero con menos requisitos de detalles y exactitud. El haber organizado todos los estudios de planificación de forma similar facilitará las investigaciones y los informes.

Si están a disposición los resultados de las investigaciones básicas para el área de interés, sería una gran ventaja para la operación de la planificación ya que existe una gran cantidad de información, conocimiento del área, y datos sobre los recursos hidroeléctricos. Si esto no fuera el caso, se llevan a cabo investigaciones básicas como parte del estudio de reconocimiento.

En esta temprana etapa de la planificación, es necesario contar con planificadores de plantas hidroeléctricas con mucha experiencia con el propósito de formular proyectos bien balanceados. Las investigaciones son normalmente dirigidas por ingenieros con una amplia experiencia en planificación, diseño y construcción de proyectos hidroeléctricos. La experiencia del contratista es valiosa puesto que provee conocimientos en la programación y el costo. También provee experiencia en la ejecución de

trabajos de ingeniería civil. Esto ayudará a los planificadores a llegar a soluciones prácticas de ingeniería, trazados bien balanceados y reducción de costos.

Los objetivos principales de los estudios de reconocimiento pueden enlistarse como sigue:

- Identificar los proyectos hidroeléctricos compatibles con el objetivo declarado
- Investigar y estudiar los proyectos y las alternativas diferentes hasta adquirir el nivel de confianza adecuado
- Comparar los proyectos propuestos y formular el mejor proyecto en relación con el objetivo declarado
- Registrar los proyectos y las alternativas de categoría inferior para referencias futuras
- Proveer cifras preliminares sobre los costos y programas de implementación para el proyecto escogido

2.3 Personal que interviene en un estudio de reconocimiento

Se necesita pericia máxima para llevar a cabo un estudio de reconocimiento de una manera racional. Esto se aplica a todos los sectores principales del estudio. Se necesita disponer de personal de altísima calidad puesto que pueden hacer falta datos básicos, o los existentes podrían ser inadecuados para el objetivo. Muchas decisiones de deben basar en métodos abreviados respaldados por la gran experiencia del personal y el juicio confiable de los planificadores. Sin embargo, solo pocos expertos están comprometidos totalmente en la realización de los estudios de reconocimiento de los proyectos

hidroeléctricos. Una gran parte de la pericia necesaria se suple con consultorías especializadas.

El equipo normal del proyecto incluiría los siguientes expertos, como mínimo:

- Planificador de plantas hidroeléctricas / Líder del equipo
- Hidrólogo / Ingeniero en Hidrología
- Experto geotécnico / Ingeniero geólogo
- Expertos y especialistas en varios campos
- Personal de apoyo

El planificador de plantas hidroeléctricas formula un proyecto conveniente para el propósito declarado y basado en los datos y la información de la planificación de los otros miembros del equipo. Será responsable también de suministrar la descripción del proyecto y los planos necesarios para ilustrar el trazado y los componentes del proyecto, con base en este material, se prepararán las estimaciones de los costos preliminares y los programas de implementación, lo mismo que las evaluaciones de la producción de energía y de potencial.

Este planificador / líder del equipo es responsable, generalmente, por los informes. Obtendrá información de otros miembros del equipo y de los expertos externos consultados, pero él mismo estructurará el informe del estudio, coordinará y controlará el texto y hará la edición final.

Información que se obtiene en un estudio de reconocimiento

El estudio empezará reuniendo toda la información y datos relevantes.

Tales datos e información son agrupados bajo los siguientes temas:

Recolección de datos:

- Datos e información generales
- Mercado para el potencial hidroeléctrico
- Hidrología/Hidráulica
- Topografía
- Geología e ingeniería geotécnica
- Medio-ambiente
- Socio-economía

Estudios de escritorio:

El paso siguiente es un estudio de escritorio. Con base en los datos e información disponibles, los planificadores definen los elementos principales del proyecto y preparan un trazado tentativo.

Se necesitan mapas apropiados para el estudio de escritorio. El requisito mínimo, son mapas topográficos del área de interés, a una escala de 1:50,000 con intervalos de cinco metros para las curvas de nivel. Las fotografías aéreas son también de gran valor para el estudio general, evaluación geológica, formulación del proyecto y trazado.

La primera preocupación de los planificadores es establecer los elementos principales de la planificación o los parámetros del proyecto por medio de la información y los datos disponibles. Los elementos principales son:

- Demanda de potencial

- Flujo
- Carga
- Necesidad de regulación
- Limitaciones del medio-ambiente

Si los parámetros de planificación tuvieran que ser arreglados en orden de importancia, la hidrología resultaría probablemente en el primer lugar. La hidrología trata de la presencia y disponibilidad de agua y en términos hidroeléctricos se propone contestar tres importantes preguntas:

- ¿Dónde?
- ¿Cuánta?
- ¿Cuándo?

Toda la planificación que involucra la hidrología se basa en la presunción de que la historia se repetirá, los datos sobre hidrología, por lo tanto, están basados en los registros de lluvia y flujo por largo tiempo. Si se pueden conseguir tales datos, el trabajo del hidrólogo será relativamente fácil.

En muchos casos, sin embargo, la planificación y el desarrollo de estos proyectos no pueden posponerse por largos períodos de observación y acumulación de datos. En ausencia de registros de flujo, el hidrólogo debe disponer de otros medios, haciendo sus propias estimaciones de flujo.

Habiendo establecido los parámetros y los elementos de planificación, se puede empezar con la planificación básica del proyecto. En realidad esas actividades van de mano en mano por la interdependencia de sus elementos.

Durante la planificación, se seleccionan los elementos. Algunos elementos del proyecto son comunes a todos los proyectos hidroeléctricos, tales como:

- Represas y entradas
- Hidrovías
- Estación central
- Trabajos de regulación
- Transferencia de agua
- Elementos de propósitos múltiples, etc.

La planificación del proyecto actual empieza con un trazado tentativo del proyecto. Generalmente se prueban varios trazados alternativos hasta que se encuentre uno que encaja en las condiciones del sitio y prevé los varios elementos de la planificación. Se debe prestar atención a lo práctico del trazado con respecto a construcción y suministro, acceso, transporte, trastornos en el ambiente, etc.

Si la regulación del flujo de un río se identifica como un elemento del proyecto, se necesitan los datos sobre los lugares de la represa y embalse, incluyendo las curvas de volumen y área del embalse. Durante el estudio de escritorio se establecen los niveles tentativos de almacenamiento, alturas de represa, volúmenes del embalse, trazado y tamaño del vertedero, etc.

Diseño y trabajo de campo

Los planes del estudio de escritorio necesitan verificación en el campo y por eso se hace seguir por viajes al campo. El trazado y las estructuras propuestas del proyecto, entonces se proyectan en sus medios naturales. Generalmente, se comprueban, y seleccionan las soluciones alternativas.

Se presta una atención especial a tener cuidado con los problemas del río en relación con la construcción de las represas. La desviación del agua durante la construcción, incluyendo la disposición de las ataguías, debe ser bien justificada en una etapa relativamente temprana.

En el caso de túneles y trabajos subterráneos se debe poner especial atención a los aspectos de la ingeniería geológica, así como al acceso a los lugares de trabajos, galerías, etc.

También se toman en cuenta importantes aspectos ambientales y socio-económicos, como lo son los usos de propósito múltiple de los recursos del agua y la tierra. Estos aspectos son importantes y se pueden volver decisivos al momento de juzgar la conveniencia del proyecto.

Programas y estimaciones

Como parte del estudio se prepara una estimación preliminar de los costos. El objetivo de la estimación no se refiere sólo a los costos de construcción, sino también a los costos totales del desarrollo e implementación del proyecto en estudio.

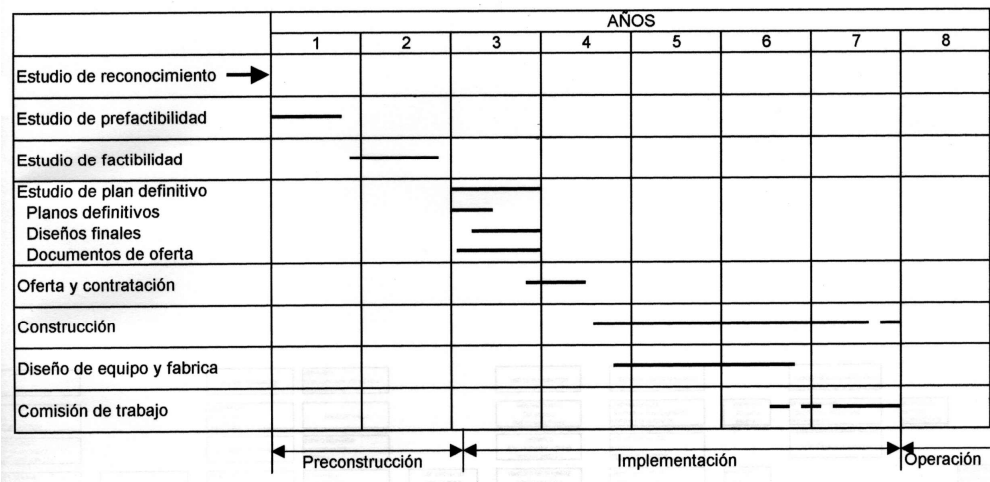
Además de los costos de construcción, la estimación del gasto, debe incluir todos los costos de pre-construcción, investigaciones en el campo, ingeniería, adquisición de derechos sobre el agua, la tierra y derechos sobre caminos, costos de administración, del propietario, etc.

En esta etapa de la investigación, se conocen sólo los componentes principales del proyecto. Por lo tanto se deben tener en cuenta las

contingencias físicas. Durante la etapa de la investigación de reconocimiento se considera un presupuesto normal el 25% de los trabajos de ingeniería civil. En los materiales prefabricados en los talleres, artículos de ingeniería y otros, se acepta un 10% de gastos de contingencia.

Un programa de implementación es también parte del estudio. Debe dar una panorámica general de las necesidades totales de tiempo relacionadas con el desarrollo y la implementación del proyecto. Un ejemplo de tal programa se muestra en la siguiente figura:

Figura 21. Programa de implementación de las instalaciones



Evaluación económica

Solamente para propósitos de reconocimiento, se producen parámetros económicos simples para estimar la capacidad económica del proyecto. Normalmente se proveen el costo unitario del potencial (costo por kW instalado) y/o el costo unitario de la capacidad anual de generación (costo por kWh y

generación anual). Estos se usan para la estimación del proyecto y la comparación con otros proyectos con objetivos similares.

Lista de evaluación para los estudios de reconocimiento

Datos e información

Los trabajos empiezan con la reunión y evaluación de todos los datos y la información pertinentes al proyecto y sus afines, la recolección y el procesamiento de datos se hace seguir por:

Estudio de escritorio

Dentro del estudio de escritorio se deben tener presentes los elementos y parámetros de planificación del proyecto, los trazados del proyecto y estructuras. Los elementos y parámetros principales en la planificación del proyecto, se determinan después de la valoración de:

- Demanda de potencial
- Recursos hídricos
- Necesidades y posibilidades de almacenamiento
- Potenciales de energía

Mientras que para los trazados del proyecto, elementos y estructuras, se preparan y prueban los trazados tentativos del proyecto y sus elementos con base en los parámetros de planificación establecidos. Los planes de estudio de escritorio necesitan verificación en el campo. Los estudios de escritorio se hacen seguir por:

Inspecciones de campo

Los trazados propuestos del proyecto se proyectan en sus condiciones naturales. Se comparan y examinan las alternativas. Se estudian y se evalúan in situ nuevas ideas sobre las disposiciones del trazado, localización de facilidades, instalación y estructura tomando en cuenta:

- Infraestructura existente y relacionada al proyecto
- Regulación, desviación y transferencia de agua
- Entrada, ataguías y embalses permanentes
- Vías hídricas, disposición de los pozos y trabajos de salida
- Estación central, tipo, ubicación y equipo
- Trabajos de transmisión

Se debe prestar atención al acceso, transporte, métodos de construcción y materiales, disposición y facilidades del lugar, comunicación, mano de obra calificada y no calificada, etc.

2.5 Datos que debe tener el informe del estudio de reconocimiento

El reporte a menudo empieza con una sinopsis o sumario de ejecución. Se menciona y documenta el objetivo declarado del proyecto. También se menciona toda la información y datos principales del proyecto y se provee la documentación sobre los elementos y parámetros usados en el proceso de planificación.

El trazado escogido, las características y elementos principales del proyecto se deben describir e ilustrar con planos, incluyendo las alternativas y soluciones descartadas.

El informe del proyecto debe incluir también los costos de implementación y justificar aspectos de tiempo.

El propósito principal del proyecto es la generación de electricidad. Para este propósito se deben evaluar, su conveniencia y factibilidad, tomando en cuenta su ejecución al adaptarse a las limitaciones del medio-ambiente.

El informe concluye con un planteamiento firme sobre:
Factibilidad técnica, económica y ambiental del proyecto.

3 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD Y SU PROPÓSITO

El segundo paso organizado en la planificación e investigación hidrológica se conoce como estudios de prefactibilidad. En esta fase, uno o más proyectos identificados se llevan un paso más allá en el proceso de planificación.

Los objetivos de las investigaciones de prefactibilidad son:

- Establecer las necesidades y justificación para el proyecto
- Formular un plan para el desarrollo del proyecto
- Determinar la factibilidad técnica, económica y ambiental del proyecto
- Definir los límites del proyecto
- Comprobar el interés local y la necesidad del proyecto
- Recomendar acciones ulteriores

Tener proyectos identificados y seleccionados para estudios posteriores, significa que se han encontrado interesantes en términos hidroeléctricos y pueden volverse material de desarrollo. También significa que se necesitan procesamientos e investigaciones ulteriores. Cuando varios proyectos están involucrados, también significa que son parte de un proceso de selección para encontrar el mejor proyecto que cumpla con los objetivos.

Los proyectos identificados normalmente tienen soluciones, trazados y estructuras alternativas, que no han sido investigadas apropiadamente en la primera fase. En la segunda fase, durante las investigaciones de prefactibilidad, serán estudiadas y examinadas tales soluciones alternativas con el propósito de mejorar los planes del proyecto. Se identificarán diferentes

trazados, características y estructuras y se adaptarán a las condiciones del sitio, se analizarán y examinarán para llegar a planes y diseños que sean suficientemente seguros para merecer investigaciones detalladas de campo.

Durante los estudios de prefactibilidad, los proyectos identificados pueden cambiar considerablemente con respecto al lugar, trazado y estructura. Esto es un desarrollo natural, un resultado debido a que los planificadores se han familiarizado con el área del proyecto al hacer su trabajo y al tratar de mejorar continuamente el producto. Por lo tanto, tiene poco sentido hacer profundas investigaciones de campo en esta etapa, investigaciones de campo costosas como perforaciones testigo y similares se deben posponer hasta que se obtenga un conocimiento seguro acerca de donde se situarán las diferentes estructuras del proyecto.

La investigación de prefactibilidad procederá en la misma línea que la primera fase de investigación, exceptuando el hecho que en la segunda fase, los proyectos han sido localizados, identificados y se les ha dado un nombre.

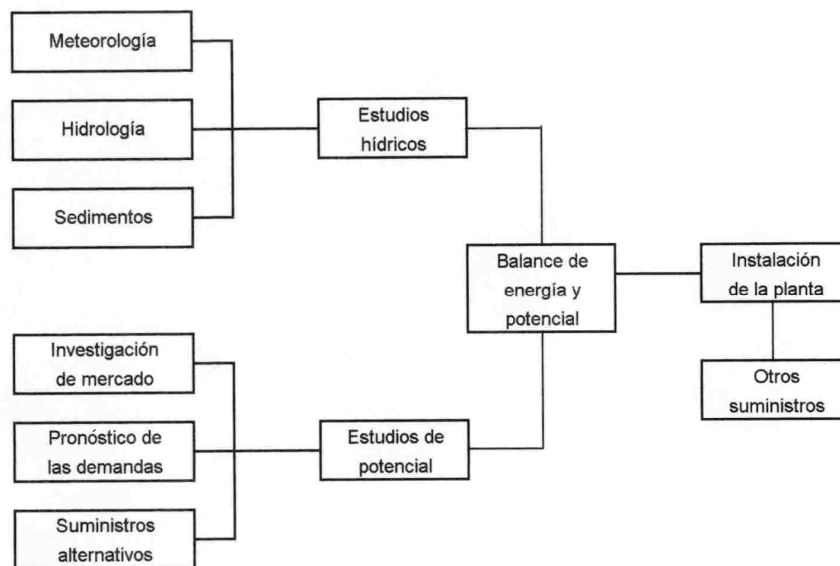
Puede ser una ventaja que el equipo o las personas que realizaron la primera fase sigan en la investigación de prefactibilidad para proveer continuidad. Sin embargo, puede ser una ventaja tener nuevas personas con diferentes conocimientos y experiencia para incorporar nuevas ideas y conceptos ya que son menos limitados por los resultados previos.

El objetivo de las investigaciones de prefactibilidad es seleccionar y valorar los posibles proyectos que merezcan una ulterior consideración. Estas investigaciones proveen la base para formular planes generales para el desarrollo de la cuenca. Sin embargo, las investigaciones de reconocimiento a menudo se harán con cada uno de los proyectos para determinar si vale la pena

un estudio ulterior, definir sus posibilidades y límites físicos o estimar con respecto a otros proyectos comparables.

Los estudios básicos involucrados en la formulación de las instalaciones hidroeléctricas se muestran en la siguiente figura:

Figura 22. Formulación del proyecto



Las investigaciones de prefactibilidad generalmente se basan en información y datos disponibles, a menudo de diferente calidad, complementados, cuando fuera el caso, por un mínimo de inspecciones de reconocimiento en el terreno. Las investigaciones deberían, sin embargo, ser hechas con suficiente detalle y los datos presentados deberían ser de una exactitud suficiente para proveer un apoyo adecuado a la conclusión a la que se llegó.

Si una valoración preliminar no muestra datos o si no son suficientes los datos disponibles, las investigaciones de prefactibilidad deben esperar la acumulación del mínimo de datos requeridos.

El mínimo en el caso de un proyecto hidroeléctrico significa una idea general de la demanda de energía y potencial eléctrico, y la disponibilidad de agua. Se necesitan mapas topográficos con escalas apropiadas y conocimientos básicos de la geología.

3.1 Estudio hídrico

Los estudios sobre suministro de agua, como parte de las investigaciones de factibilidad, están relacionados con el origen, cantidad, presencia, variabilidad y calidad del agua que se usará en relación con el proyecto. En estos estudios, el planificador es dependiente de los datos hidrológicos.

La fuente ideal de información sobre el agua de superficie es un registro de largo plazo del agua pluvial que llega al río en cuestión en el área del proyecto contemplado. Frecuentemente es necesario estimar la pluviosidad en la localización deseada porque esta condición ideal es muy rara.

Para las investigaciones de prefactibilidad, los registros de pluviosidad deberían mostrar los flujos mensuales, si fuera posible; el período de registro puede ser corto; debería sin embargo, dar información adecuada para establecer las condiciones máximas, mínimas y promedio.

En la planificación, para el uso de nuevos y mayores volúmenes de agua, deberían hacerse avalúos apropiados de los usos existentes. En cuanto a los

derechos establecidos para el uso del agua, se debe reconocer y proteger o subordinar legalmente a los nuevos usos, otorgándoles mayor preferencia.

El costo para adquirir los derechos de utilizar el agua para propósitos hidroeléctricos se deben estimar e incluir en los costos del proyecto.

3.2. Estudios varios

Dentro de los estudios varios podemos citar las investigaciones sobre crecidas, sedimentos, y estudios de operación del agua.

3.2.1. Control de crecidas

En las investigaciones de crecidas se deben establecer:

- La magnitud, fase y frecuencia de las crecidas anticipadas para determinar la conveniencia de incluir control de las crecidas como uno de los objetivos del proyecto
- La crecida del diseño que se debe considerar en el diseño de las estructuras hidráulicas
- La crecida máxima probable que se debe esperar durante la construcción del proyecto

3.2.2 Estudios de sedimentos

En las investigaciones de sedimentos se debe tener en cuenta que cuando no se pueden conseguir registros, las estimaciones de la carga de sedimentos transportados por las corrientes de agua pueden basarse en un área de drenaje o en la descarga anual promedio usando datos de ríos parecidos. Si la

corriente en cuestión es una que acarrea muchos sedimentos podría necesitarse un programa limitado de muestreo.

Los cambios en el régimen del río que resultan de la construcción de represas o de otras obras pueden provocar formación de limo o problemas de erosión que requerirán una atención especial.

En algunos casos se necesitan trampas e instalaciones anti-sedimentos de gran tamaño para reducir el contenido de sedimentos a un nivel aceptable.

3.2.3 Estudios de agua en la cuenca

En cuanto a los estudios de operación del agua se llevan a cabo para hacer posible la previsión de cómo funcionará el proyecto o la cuenca, en los estudios de operación, se comparan diferentes hipótesis sobre suministros y demanda de agua en condiciones anticipadas de operación. Básicamente, el estudio es un sistema de contabilidad sobre ingresos y gastos que representa un cuadro del proyecto en función con base en las condiciones del agua pluvial experimentadas en el pasado.

El estudio de operación debe basarse en los flujos mensuales, si se pueden conseguir datos suficientes. La duración del período de estudio puede depender parcialmente de los registros disponibles sobre el flujo del río y otros datos, pero el estudio debe incluir un período de flujos críticamente bajos y extenderse al período anterior y posterior al del flujo bajo, suficientemente largo como para representar un ciclo real de operación.

3.3 Ingeniería

En los estudios de prefactibilidad deben incluirse datos de ingeniería, entre los cuales se tienen datos de: Inspección y cartografía, geología general, geología de los cimientos, materiales de construcción, plan del proyecto y evaluación de los costos.

3.3.1 Inspección y cartografía

Dentro de los datos de Inspección y cartografía se puede decir que los mapas topográficos a una escala 1:50,000 con intervalos de diez o veinte metros en las curvas de nivel, se pueden conseguir en muchos países. En las áreas cubiertas por tales mapas, la inspección que se necesita para las investigaciones de reconocimiento será menor. Son útiles las fotografías aéreas verticales con alcance estereoscópico, en particular si no se consiguen mapas topográficos adecuados.

Las áreas y capacidades (volúmenes) del embalse pueden estimarse por medio de los anteriores mapas topográficos. Donde no se pueden conseguir mapas, un número limitado de secciones transversales proporcionarán la información para la estimación de las capacidades.

Localizaciones satisfactorias “en el papel” de canales y vías hídricas en general pueden hacerse por medio de los mapas topográficos disponibles. La localización en el papel debería ser complementada con inspecciones en el terreno y la observación de inclinaciones transversales y necesidad de drenaje transversal.

3.3.2 Geología general

Dentro de la geología general es muy importante tomar en cuenta datos de la cartografía geológica del área investigada, la cual constituirá una ayuda valiosa en interpretar los datos de clasificación del terreno. La información sobre agua subterránea y muchos otros factores que influyen los planes físicos.

3.3.3 Geología de los cimientos

En cuanto a la geología de los cimientos se tiene que la conveniencia de las condiciones de los cimientos para las represas u otras estructuras principales debe determinarse por medio de un examen en el terreno de un ingeniero geólogo competente. Se podrían necesitar pozos de prueba o calicatas si se encuentran condiciones cuestionables. En esta fase, se usan mediciones de refracción sísmica, pero raras veces se usan perforaciones testigo.

3.3.4 Materiales de construcción

Para los materiales de construcción, se debe llevar a cabo la localización y la evaluación del tamaño de depósitos satisfactorios de dichos materiales como: Suelo, roca, agregados para concreto, etc. Deben llevarse a cabo estas evaluaciones por ingenieros y geólogos competentes durante una inspección en el terreno.

3.3.5 Planos y costos de construcción a nivel preliminar

Se tiene que para el plan del proyecto se describirá un plan comprensivo con dibujos y planos adecuados desde los cuales se tomarán las cantidades y volúmenes para evaluar los costos.

Otro de los aspectos importantes dentro de los datos de ingeniería es la evaluación de los costos. Los costos de construcción normalmente se pueden evaluar considerando los elementos principales de la construcción: excavación, rellenos, hormigón, número y tamaño de las unidades generadoras, etc. El costo total de una instalación comparable, recientemente construida, puede expresarse en términos de los elementos principales de la construcción, proporcionando así un costo unitario para estimar la estructura propuesta.

La estimación se modificará para reflejar problemas inusuales de construcción tales como accesibilidad a los puntos de embarque, condiciones climáticas que afectan los tiempos o los métodos de construcción, altitud que puede afectar la eficiencia del equipo o de la mano de obra, disponibilidad de mano de obra y proveedores, facilidades para la reparación del equipo y localización y calidad de los materiales de construcción.

El costo para establecer campos de construcción, la adquisición de las tierras y la colocación en otro lugar de las personas desalojadas, debe evaluarse e incluirse en los costos del proyecto.

Los costos anuales de operación, mantenimiento y repuestos pueden evaluarse comparándolos con aquellos de proyectos similares en el área. De otra forma se usa una cifra porcentual del costo de construcción, 1 a 2% es una cifra aceptable.

A veces es necesario dividir los costos en moneda local y foránea, ya sea artículo por artículo o en porcentajes sobre la totalidad.

3.3.6. Sumario y lista de comprobación de los estudios de pre-factibilidad

Se debe tener una idea de un listado de comprobación en los estudios de prefactibilidad en el cual se tenga:

La recolección y evaluación de los datos existente sobre:

- Infraestructura existente
- Mercado del potencial (demanda existente, demanda futura)
- Mapas topográficos
- Fotografías aéreas y otras fotos
- Registros hidrológicos
- Registros de evaporación
- Registros sobre meteorología
- Registros geológicos, dentro de los cuales se deben tener, mapas geológicos, descripción general geológica de las áreas, mapas del suelo, registros de investigaciones previas en el terreno (por ejemplo, en relación con prospección, minería, construcción de caminos, etc)
- Registros de sedimentación y erosión
- Registros de sismicidad
- Planes existentes para desarrollos hidroeléctricos en el área
- Aspectos ambientales
- Consideraciones presentes y futuras de propósito múltiple como control de las crecidas, irrigación, suministro de agua, navegación y transporte, criaderos de peces, etc.

Investigaciones en el terreno

Las investigaciones en el terreno son necesarias para completar el banco de datos para la planificación de la clase de reconocimiento.

La información y los datos anteriores deben ser compilados y añadidos al informe de prefactibilidad que abarcará

- Plan de la cuenca del río: Un plan desarrollado de toda la cuenca, basado en la inspección de la cuenca del río, donde se han incluido todos los proyectos investigados e identificados. El objetivo es ordenar los proyectos y establecer el efecto que la implementación de un proyecto hidroeléctrico tendrá en los otros y en la cuenca misma como un todo.
- Formulación del plan de los proyectos particulares, con base en: La evaluación de los recursos hídricos, posibilidades de almacenamiento, salida de potencial, estudio de la etapa de reconocimiento y diseño básico de la central, desviación, entrada e hidrovías, represas permanentes, ataguías, facilidades de acceso, sistema de transmisión, etc. La estimación de los costos y el programa de implementación.
- Evaluación económica y financiera.
- Alternativas: Se formulan y discuten las soluciones alternativas para los proyectos individuales y el plan para la cuenca. También se debería tomar en cuenta suministros alternativos.
- Aspectos ambientales: Deberían considerarse los aspectos ambientales, usualmente objeto de investigaciones separadas y deberían llevarse a cabo estudios ecológicos.
- Investigaciones ulteriores: Deberían formularse programas de investigación en el terreno para la fase siguiente, el estudio de

factibilidad, incluyendo la evaluación del costo. También se incluyen los términos de referencia para el estudio de factibilidad y la evaluación del costo.

El informe de prefactibilidad debe concluir con una declaración firme sobre la conveniencia del proyecto y su practicabilidad con respecto al objetivo declarado. También se necesita una recomendación concisa sobre el papel de desarrollo ulterior del proyecto.

Una vez que el estudio de prefactibilidad ha sido concluido y se considera que el proyecto es atractivo para una consideración ulterior, el paso siguiente en las investigaciones del proyecto es el estudio de factibilidad.

4 ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y SU PROPÓSITO

La etapa siguiente o estudio de factibilidad es un análisis comprensivo y un estudio detallado del proyecto contemplado, dirigido a su autorización final, financiación, diseño y construcción

El objetivo de la investigación es establecer y definir la ingeniería específica y determinar si el aprovechamiento del potencial tiene factibilidad técnica, económica y ambiental, y una justificación con respecto a las condiciones económicas anticipadas. Las investigaciones de factibilidad incluyen el análisis de los recursos:

- Estimación de los valores económicos netos que se deben producir
- Estimación del costo del desarrollo y la construcción
- Estimación del costo de operación, mantenimiento y repuestos
- Valoración del impacto que la implementación del proyecto tendrá en el medio-ambiente y el costo de mitigar tales efectos.

Se incluye también el análisis de la practicabilidad del plan y la evaluación de las entradas de las cuales se derivará el reembolso de los costos y pagos de construcción, y los costos anuales de la operación, mantenimiento y repuestos.

La investigación de factibilidad debe proveer una información confiable, detallada y firme en que el gobierno o los propietarios puedan basar la autorización para el desarrollo del proyecto y por las cuales los organismos financieros puedan determinar la conveniencia de financiar el costo del desarrollo del proyecto.

Los datos en los que se basa la investigación deben tener la calidad y cantidad suficiente como para asegurar la capacidad del proyecto de producir por lo menos los valores estimados y para asegurar que puede ser construido, operado y mantenido con costos no superiores a los estimados.

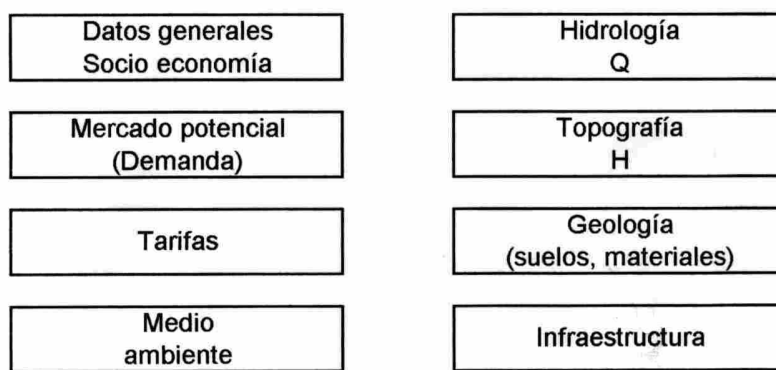
Los planes del estudio de factibilidad deben ser lo suficientemente sólidos como para asegurar que no será necesaria ninguna alteración o modificación importante que aumentaría los costos de forma significativa, o que perjudicaría de otra forma la factibilidad del proyecto, durante la planificación y construcción final, por lo tanto, hasta donde sea posible, los estudios de la formulación del plan deberían reducir los planes alternativos, las instalaciones o los materiales a un mínimo.

4.1 Consideraciones generales

La factibilidad física y el costo de los trabajos necesarios para el control y el uso del agua y los recursos del suelo son factores críticos a la hora de determinar la practicabilidad de un proyecto propuesto. El alcance y los detalles de los estudios de ingeniería, las exploraciones geológicas, los diseños y las evaluaciones de los costos en relación con las investigaciones de factibilidad tendrían que ser suficientes para asegurar la confiabilidad del plan del proyecto y para garantizar que el proyecto puede ser llevado a cabo con el costo previsto. El diseño actual se realiza con un nivel de exactitud usualmente denominado “preliminar”

Los principales datos físicos para la planificación del desarrollo hidroeléctrico se muestran en la siguiente figura:

Figura 23 Datos principales para la planificación y diseño de una planta hidroeléctrica



En términos hidroeléctricos, como se dijo anteriormente, las dos características más importantes de un recurso hídrico son la carga (H) y el flujo (Q) como se muestra en la ecuación del potencial eléctrico:

$$P = E H Q \text{ (kW)}$$

Donde:

H es la carga en metros

Q es el flujo en m^3 / s

El factor E, incluye la constante gravitacional g (9.81 m/s^2), la eficiencia del equipo de generación y eficiencia de turbina.

Los datos sobre topografía consisten en mapas y similares, e incluyen información sobre acceso infraestructura y comunicación. Los datos sobre el flujo se obtienen a través de investigaciones hidrológicas.

El primer paso en las investigaciones de factibilidad es hacer una revisión y un análisis exhaustivo del informe del estudio de prefactibilidad seguidos por la recopilación de nueva información y datos relacionados con el proyecto. Los nuevos datos son valorados y controlados antes de la incorporación en el “banco de datos” del proyecto.

Estudio del mercado del potencial hidroeléctrico: En relación con los estudios de factibilidad de los proyectos hidroeléctricos, se debe establecer en una etapa temprana la demanda de potencial que puede ser suministrado por el proyecto en investigación.

Podría ya existir un estudio general del mercado de potencial y una previsión de la demanda de potencial, en tal caso la tarea es fácil, ya que se conocerán y serán disponibles muchos de los datos necesarios y mucha información.

En un estudio sobre el mercado de potencial que se realice con el propósito de prever la demanda, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Estudios existentes, recolección y evaluación
- Historia y condición del mercado
- Clasificación de la carga en grupos de consumidores (uso doméstico, industrial, etc.)

La mayor cantidad posible de información sobre:

- Tendencias históricas y tasas de crecimiento de los diferentes grupos de consumidores

- Proyecciones sobre crecimiento de la población
- Nivel futuro anticipado del desarrollo económico
- Tarifas y políticas sobre tarifas
- Cargas sustitutivas (si hubiera precios competitivos de nuevos suministros)
- Previsión de la demanda con variación anticipada de la carga
- Distribución de la carga por áreas geográficas
- Otras alternativas de suministro y su precio

4.2 Planes del proyecto

El trabajo en los planes del proyecto empezará junto con las investigaciones en el terreno. El estudio de prefactibilidad constituirá la base, será mejorado y optimizado, las soluciones alternativas serán analizadas, adaptadas y probadas. Se hará una selección comparativa. Con respecto a las características principales del proyecto, debe hacerse una escogencia del tipo, forma y tamaño y debe presentarse la solución adaptada. Por ejemplo, si el lugar de la represa es apropiado para diferentes tipos de represas, debe escogerse el tipo de represa que se incluye en los planes del proyecto.

Cualquier alternativa y solución nueva que pueda presentarse durante el trabajo en los planes será también investigada e incluida si representa mejoras para el proyecto, ya que el objetivo es llegar a un trazado óptimo.

Los estudios de escritorio combinados con las visitas en los lugares se usarán para comparar soluciones alternativas y para asegurarse que funcionen en el campo así como funcionan en el papel.

El trabajo en los planes del proyecto, la verificación y el trabajo en el terreno van de la mano. El trabajo de uno se adaptará al resultado del otro.

Se pone mucho esfuerzo en encontrar el mejor trazado para el proyecto, puesto que el criterio es el de establecer un proyecto que será seguro, fácil de poner en función, mantener y que puede construirse con un costo estimado y dentro de un tiempo determinado. Para lograr esto, se necesita de mucha consideración y visión para preparar un trazado que no sea complicado y conducente a métodos y procesos de construcción flexibles y racionales.

La fase del diseño para los estudios de factibilidad se denomina normalmente "diseño preliminar". Debería ser lo suficientemente detallado como para asegurar soluciones realistas y prácticas así como estimaciones de costo confiables.

Las partes principales de los proyectos hidroeléctricos son:

- Trabajos de regulación
- Entrada e hidrovías
- Planta central
- Trabajos de transmisión

Estas partes principales están constituidas de diferentes elementos, tales como:

Trabajos de regulación: Estos comprenden los trabajos de división (Ataguía, túneles de desviación, canales, etc.), represas permanentes con vertederos, salidas de fondo, compuertas, facilidades para la navegación (esclusas, si fuese necesario), bypass para peces, etc.

Entrada e hidrovías: El canal de entrada consiste de una entrada con rejas, compuertas, vertederos, trampas contra sedimentos, etc. Y las hidrovías consisten de canales, alcantarillas, túneles, trampas anti-rocas y anti-arena, válvulas, etc. La descarga consiste en pozos de turbina, compuertas de agua de salida, dispositivos anti-oleaje, canales de descarga, obras de salida, etc.

Planta central: La cual contiene equipo mecánico, como turbinas, reguladores, sistema de enfriamiento, ventilación drenaje, grúas, etc. El equipo eléctrico como generadores, transformadores, suministro auxiliar de energía, cables de tensión y cables de control, comunicación, equipo de protección y control, caja de interruptores, etc.

Obras de transmisión: Consisten en líneas de transmisión, incluyendo instalaciones de comunicación, subestaciones, centros de despacho, etc.

Las partes y componentes de naturaleza auxiliar son, accesos a lugares del proyecto (carreteras, puentes, ferrocarril, barcos, aire); telecomunicación, etc. También oficinas, talleres, servicios, áreas de recreación, etc.

Además y con un carácter más provisional, campos de construcción y tareas de movilización, depósitos para materiales excavados, áreas de préstamo para materiales de construcción, instalaciones de los contratistas, etc.

4.3 Estimaciones y programas

Las estimaciones del programa de construcción y su costo se harán con base en los elementos principales de equipo y construcción además de los costos misceláneos. El costo de los trabajos de ingeniería civil más importante se basa en los volúmenes registrados y precios unitarios internacionales

adaptados a la situación real. Los costos misceláneos, cubren todos los costos no incluidos en los elementos principales. Estos serán definidos como porcentajes de los elementos principales.

El costo del equipo permanente se ajustará a la pre-licitación con base en las descripciones del equipo y especificaciones de ejecución preliminares, que se obtienen de los proveedores y fabricantes aprobados. Se hará una comparación con las cifras de los costos del planificador de equipo similar y se harán arreglos si fuera necesario.

Dentro de las estimaciones y programaciones se debe realizar un listado de elementos de los costos de la construcción los cuales se enlistan a continuación:

- Costos generales e infraestructura
- Ingeniería civil
- Equipo (fabricación, transporte y construcción)
- Impuestos y derechos de importación
- Derechos de ingeniería y costos de supervisión
- Administración y costos legales
- Seguros
- Adquisición de la tierra, derechos de paso, reubicación
- Estudios e investigaciones
- Intereses durante la construcción (evaluación financiera)

Los programas de construcción y las estimaciones de los costos se ampliarán para incluir todo el trabajo y los costos de investigación, planificación, diseño, compra (oferta) y construcción del trabajo ya que éstas cifras se usarán en el análisis económico.

Las cifras de los costos se deberían presentar en la estimación de los costos bien ordenadas. Los valores de contingencia deben calcularse en la etapa sumaria de los costos, preferiblemente incluidos solamente en la estimación de los costos de implementación.

La inflación no es tomada en cuenta cuando se establece la base de los precios para las estimaciones de los costos. Por lo tanto es importante poner la fecha en tales avalúos así que puedan relacionarse con su fecha de validez.

Algunas veces cuando la moneda extranjera no es fácil de conseguir, es necesario distinguir entre desembolsos en moneda local y extranjera. La parte que corresponde a la moneda extranjera debe ser evaluada y mostrada en la estimación.

Los costos de operación, mantenimiento y repuestos de los proyectos hidroeléctricos son elementos del costo que deben ser incluidos en los análisis económicos de los proyectos. Sin embargo sería inútil hacer determinaciones detalladas de tales costos ya que hay suficientes valores en que se puede confiar. Para el propósito de la investigación de factibilidad estos costos por año se establecen al 1% de los costos de construcción.

Las entradas brutas representan la entrada por la venta de energía y capacidad máxima. El potencial y la energía deben venderse al más bajo precio posible de acuerdo con los principios económicos racionales. Deben establecerse tarifas que pagarán todos los costos anuales y permitirán el reembolso de los costos de la inversión en un período de tiempo razonable. Si fuera necesario, y otras condiciones lo garantizan, las entradas pueden utilizarse para pagar parte de los costos de otros objetivos del proyecto. Las

tarifas establecidas no deberían ser mayores que las tarifas de la energía eléctrica comercial del área.

Una tarifa superior o inferior se usa a menudo en análisis económicos para investigar si la rentabilidad de un proyecto es sensible a la variación de las tarifas.

La factibilidad económica se define como positiva, cuando los beneficios del proyecto exceden los costos en la vida de un proyecto.

La factibilidad financiera se considera justificada cuando el proyecto es capaz de asegurar las necesidades financieras de implementación. También se debe demostrar que el patrón de las entradas proporcionará el servicio de la deuda a una tasa razonable de retorno sobre los préstamos en que se incurrió y en el capital de acciones ordinarias invertido en el proyecto.

Proyectos muy bien definidos son inversiones, combinadas con otras acciones, para realizar ciertos objetivos de desarrollo. Los análisis económicos juegan un rol en clarificar la validez económica de un proyecto hidroeléctrico, pero la decisión de seguir adelante con un proyecto no puede basarse solamente en esto.

Un proyecto bien escogido usualmente pasa por muchas evaluaciones que no necesariamente son cuantitativas, por ejemplo, cómo el proyecto encaja en el plan económico nacional. Sin embargo, los servicios públicos deberían evitar involucrarse profundamente en los proyectos a menos que haya una fuerte indicación de que van a funcionar bien en un análisis económico. Por ejemplo, el análisis económico se puede considerar como un examen final.

Las bases para exámenes financieros son las tablas **de flujo de caja**, estas muestran los costos y flujos de entrada en la vida del proyecto. Un examen no está relacionado con la fuente de la inversión, con los intereses o reembolsos. Solamente el programa de desembolso es de interés y constituye el flujo de costo principal.

En el caso de análisis financieros, el servicio de la deuda, el servicio del capital invertido, y préstamos se incluirán en la tabla de flujo de caja, no la inversión misma.

Debería notarse que los intereses compuestos sobre préstamos y los acumulados durante el período de la construcción se agregan al principal.

Los principios para desarrollar las tablas de flujo de caja se ilustran en las siguientes figuras.

Figura 24. Análisis económico, construcción de un flujo efectivo

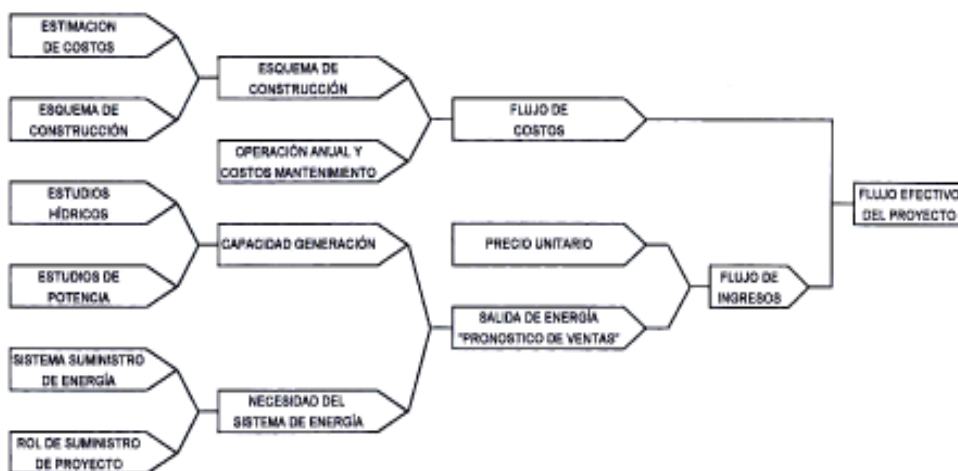
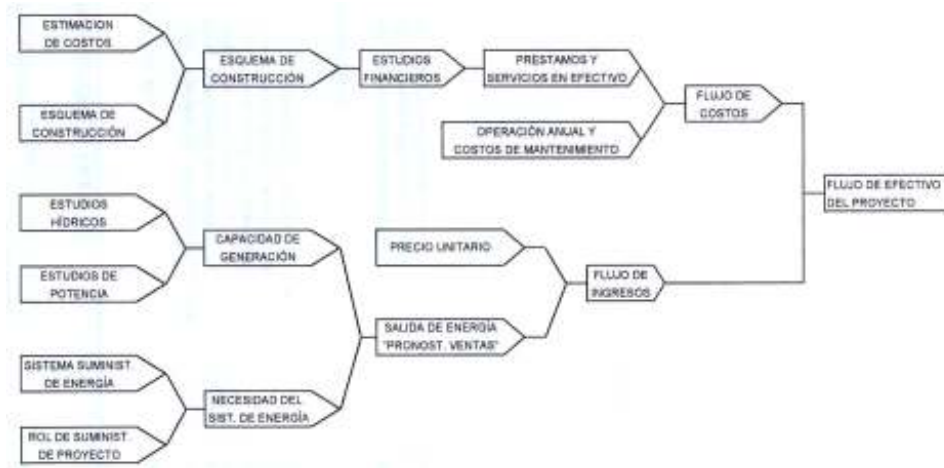


Figura 25. Análisis financiero, construcción de un flujo efectivo



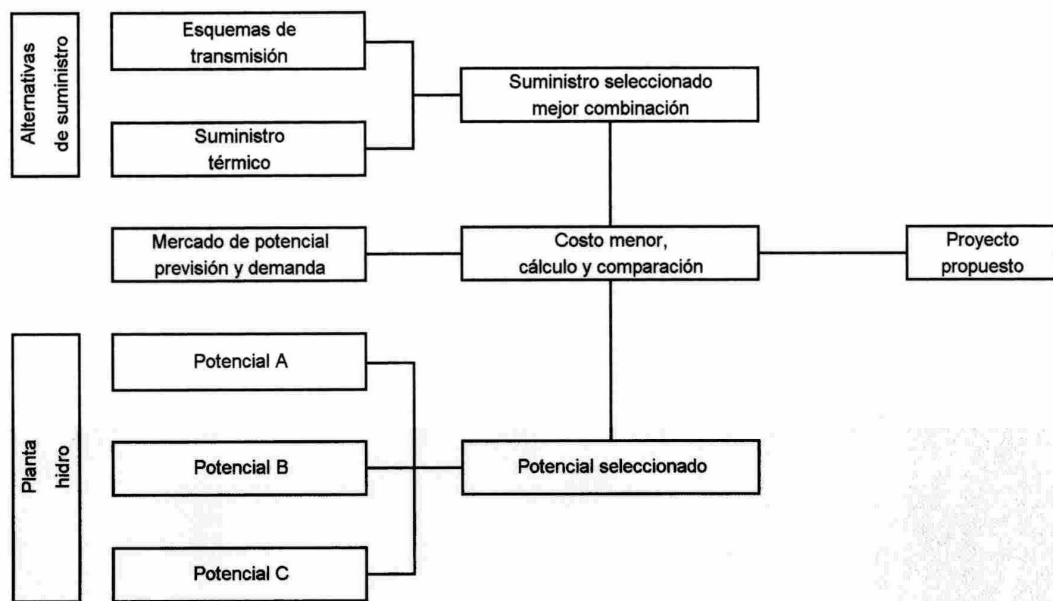
No es posible atribuir importancia a los resultados del análisis económico sin un estándar. El estándar es el **costo de oportunidad del capital (COC)**, dicho costo es el retorno aceptable más bajo que se espera que el capital gane en un determinado país como se representa por el poder de ganancia del capital en el proyecto marginal o incluido de último en el programa de inversiones óptimo de un país. En la práctica el COC no es una cifra precisa, depende, por ejemplo, del riesgo.

En la mayoría de los países el COC entrará dentro de un rango de 8 a 15%. Cuando los proyectos pueden demostrar retornos económicos internos, supongamos de un 12% o más, no es necesario estimar el COC para objetivos comparativos. En tasas por debajo del 12%, normalmente se hará una referencia específica al COC. Ocasionalmente, pueden existir países cuyo COC supera el rango citado.

Al aceptar los proyectos para la financiación, las agencias que autorizan prefieren alternativas de costo mínimo. Las investigaciones sobre factibilidad

incluirán por lo tanto, estudios comparativos sobre costos mínimos. El proceso se ilustra en la siguiente figura.

Figura 26. Selección de suministros, menor comparación de costos



Encontrar el proyecto de costo mínimo consiste en calcular la validez actual del valor de la inversión y los flujos de costos que operan en el sistema asociados con los proyectos posibles como esquemas térmicos e hídricos para un rango de tasas de descuento. Los posibles proyectos habrán tenido estudios de factibilidad. Los cambios en la preferencia (tasa de descuento equivalente) se comparan con los costos de oportunidad del capital para identificar la alternativa del costo mínimo.

Debe mostrarse que el suministro del costo mínimo puede ser una combinación de hídrico y térmico, o un suministro por extensión de sistemas de transmisión. Solo las alternativas de suministro de energía que tienen una idéntica capacidad de suministro pueden compararse directamente.

4.4 Consideraciones sobre los estudios de factibilidad

Se entiende por el texto anterior que los estudios de factibilidad juegan un papel importante en la investigación de los proyectos. Su importancia para los que toman las decisiones es también indiscutible.

Mucha habilidad se ha puesto en la preparación del estudio de factibilidad, y puesto que la planificación hidroeléctrica involucra tantos campos de habilidad, hasta 20 ó 30 diferentes expertos han participado en el proyecto.

La implementación del proyecto cuyo primer paso es el estudio definitivo del plan, requiere menos expertos con experiencia general amplia que el estudio de factibilidad. Para la implementación, la habilidad está concentrada más en el diseño, la construcción y la fabricación.

Los componentes principales de cualquier proyecto hidroeléctrico, pertenecen a los campos de la construcción pesada y de la fabricación de equipo electromecánico. Para ulterior desarrollo del proyecto, son necesarios especialistas en estos campos.

Un estudio de factibilidad comprensivo y bien preparado da al propietario las bases que él necesita para fundamentar su decisión. El estudio de factibilidad adecuadamente preparado demostrará la capacidad técnica del proyecto y su viabilidad económica. El análisis de factibilidad económica y financiera debe hacerse de tal forma que demuestre la capacidad económica del proyecto y para que provea una fácil comparación con otros proyectos similares que están compitiendo para la financiación.

Si el proyecto investigado se puede construir y equipar, operar y mantener durante la vida del proyecto y si no representa ningún peligro o riesgo (excepto riesgos calculados) al medio ambiente, las personas involucradas y el público en general, se declara que este proyecto es: “Técnicamente factible”.

El segundo criterio principal de los estudios de factibilidad concierne a la viabilidad económica y financiera del proyecto. Para ser juzgado válido económica y financieramente, un proyecto debe ser capaz de ganar su “propio éxito”. Esto significa que el proyecto debe ser suficientemente atractivo a nivel económico para conseguir fondos de inversión.

4.5 Informes que se deben realizar

En el campo de las investigaciones de los recursos hídricos, los informes proveen un registro permanente de trabajo cumplido. Estos informes se someten frecuentemente a la consideración de organismos gubernamentales y otros responsables del desarrollo.

Puesto que estos informes constituyen la base para autorizar una acción posterior, incluyendo la construcción de los proyectos, deben ser presentados con una base razonable. Un principio básico es que los reportes no tienen mayor valor o confiabilidad que la investigación que los respalda y, viceversa, de manera que las averiguaciones de la investigación tienen poca validez si no se presentan bajo una forma clara y comprensible.

Los informes de planificación hidroeléctrica pueden clasificarse convenientemente en tres categorías generales, las cuales son: Los reportes sobre la cuenca, los informes de proyecto y el estudio definitivo del plan.

En cuanto a los reportes sobre la cuenca, estos abarcan las necesidades, recursos y desarrollo del potencial de toda la cuenca o sub-cuenca del río.

Los informes de proyecto que corresponden al desarrollo de los proyectos específicos. Pueden ser de reconocimiento cubriendo solo un análisis preliminar del proyecto, o pueden ser informes de factibilidad total respaldando recomendaciones para la construcción y el desarrollo.

Al completar el estudio de factibilidad, una parte principal de la planificación ha llegado a su conclusión. Sin embargo, si se autoriza el proyecto para la implementación se necesita la planificación y el diseño siguiente para preparar el proyecto para la construcción.

El estudio definitivo del plan, un estudio completo del proyecto autorizado que presenta información detallada para guiar el diseño, construcción del proyecto. Los diseños y las especificaciones finales por las cuales los contratos de construcción pueden ser otorgados, están incluidos siendo los principios básicos por medio de los cuales se pueden negociar los acuerdos de operación y reembolso.

4.6 Sumario y lista de comprobación para los estudios de factibilidad

Movilización

- Movilizar el equipo de estudio
- Establecer el lazo y la cooperación con el propietario
- Establecer la organización del estudio y el vínculo con las autoridades

Datos e información

- Recolectar estudios pertinentes, datos e información
- Revisar los datos del estudio de pre-factibilidad
- Evaluar y controlar los nuevos datos y establecer un banco de datos sobre:
 - mercado de potencial
 - infraestructura existente
- Hidrología y meteorología
- Topografía y mapas
- Geología, suelo y materiales
- Alteraciones y limitaciones del medio ambiente
- Condiciones socioeconómicas

Formulación del proyecto

- Revisión de los planes del estudio de pre-factibilidad
- Revisión y puesta al día de los planes del estudio de pre-factibilidad y preparación de la formulación preliminar del proyecto con base en todos los datos y la información pertinentes, empleando parámetros y criterios de planificación actualizados.
- Verificación de la formulación del proyecto en el terreno y ajuste a las condiciones físicas del terreno, nueva información, restricciones y requerimientos.

Investigaciones de campo

- Revisar y adaptar el programa de investigación existente
- Aprobar los documentos del contrato para los trabajos de investigación

- Asistir al propietario en contratación de personal para trabajo en campo
- Empezar, monitorear, y supervisar el trabajo de campo
- Arreglar las pruebas de laboratorio para las muestras
- Interpretar los resultados y adecuar el programa de investigación en el terreno

Trazado del proyecto

- Poner al día y revisar los parámetros de planificación
- Preparar trazados teóricos del proyecto
- Reconocer en el terreno los trazados alternativos
- Establecer los componentes del trazado y del proyecto principal, verificarlos en el terreno
- Obtener la aprobación del propietario para la formulación del proyecto, trazado y componentes e instalaciones principales
- Adecuar la investigación en el terreno al trazado aceptado

Diseño de ingeniería

Diseño preliminar de la preparación del proyecto y optimización del trazado y componentes principales del proyecto tales como:

- Transferencia y desviación del río
- Trabajos de regulación
- Entrada e hidrovías
- Planta central e instalaciones accesorias
- Líneas de transmisión y subestaciones
- Instalaciones permanentes del lugar

Establecer las dimensiones y describir el equipo principal y auxiliar del proyecto y preparar las especificaciones de funcionamiento para el equipo completo de la estación central; equipo hidromecánico, electromecánico y auxiliar:

- Turbina y válvulas
- Generadores
- Transformadores, cables de energía eléctrica, caja de interruptores y subestaciones
- Equipo auxiliar para el monitoreo, protección, control, etc.

Programación y evaluaciones

- Preparar los planes de construcción y los programas de implementación
- Preparar el estudio de costos y precios
 - Establecer los volúmenes de los elementos principales
 - Establecer precios unitarios para los elementos principales
 - Establecer adiciones porcentuales (%) necesarias complementar los principales elementos y completar la evaluación
 - Estimar los componentes del “costo general”
 - Establecer el nivel de confiabilidad, volúmenes, precios, etc. De las estimaciones, y establecer los niveles de los factores de contingencia
- Hacer encuestas sobre los costos del equipo con los proveedores de equipo electromecánico y de otro tipo
- Preparar las estimaciones de los costos para la implementación del proyecto incluyendo:
 - Trabajos de ingeniería civil
 - Trabajos hidromecánicos
 - Trabajos electromecánicos

- Trabajos de transmisión
- Costos ambientales y de reubicación
- Adquisición de tierras / derechos de paso
- Investigaciones
- Ingeniería y administración
- Contingencias

Las estimaciones anteriores están compiladas en una estimación de costos por implementación o presupuesto:

- Arreglar los programas de desembolso con base en las estimaciones de los costos y los programas de implementación
- Establecer las cifras de los costos para la operación, mantenimiento, rehabilitación y costos de administración anuales.
- Establecer el valor del mercado de la electricidad en los lugares donde suceden cambios en la propiedad
- Establecer los flujos anuales de entrada por ventas después de corregir las pérdidas y las tarifas de recolección, etc.

Análisis económico y financiero

Preparar las tablas de flujo de caja que muestren los costos del proyecto y los flujos de entrada durante la vida del proyecto:

- Flujo de caja para análisis económico
- Análisis de los términos financieros, acciones y servicio de la deuda
- Flujo de caja para análisis financiero
- Llevar a cabo pruebas económicas y financieras

- Llevar a cabo el análisis de sensibilidad para registrar los efectos de los cambios en los parámetros principales
- Consideraciones de costo mínimo de proyecto
- Formular un planteamiento de la factibilidad económica y financiera

Trabajos adicionales y operacionales

Para completar las investigaciones de factibilidad, todos o algunos de los siguientes elementos deberían ser tomados en cuenta:

- Preparación del programa de investigación para el estudio definitivo del plan, incluyendo la evaluación de los costos
- Estudio de financiación (opcional)
- Estudio de las tarifas (opcional)
- Informe sobre geo-investigaciones y otras investigaciones llevadas a cabo durante la investigación del proyecto

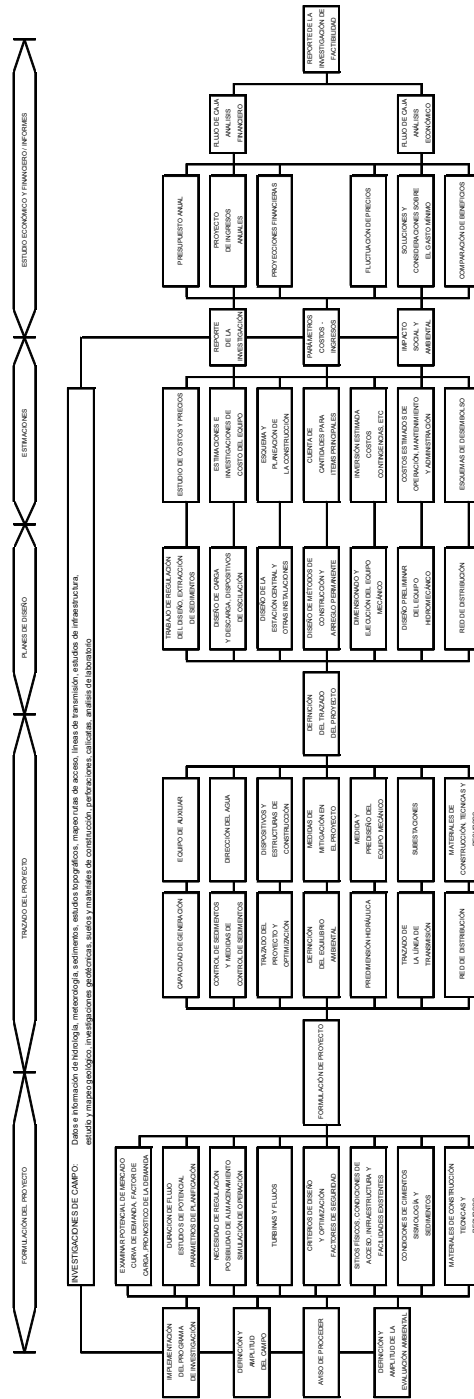
Informes de progreso

El organismo ejecutor o el propietario están informados periódicamente a través de los informes sobre progreso. Los cambios y similares y su aprobación se documentan con informes intermedios.

El informe sobre el estudio de factibilidad documentará de forma comprensiva las investigaciones sobre el estudio de factibilidad, las verificaciones y la información en que se basan y atestiguarán la calidad del estudio. El informe contendrá declaraciones firmes sobre la factibilidad técnica, económica, financiera y ambiental y recomendaciones sobre la conveniencia del proyecto. Los informes sobre el estudio de factibilidad son documentos bastante

comprehensivos y a menudo se prepara un resumen ejecutivo para hacerlos más accesibles al público.

Figura 27. Estudio de factibilidad, diagrama de flujo



CONCLUSIONES

1. Al planificar un proyecto hidroeléctrico, es clave la experiencia y habilidad de los planificadores involucrados, ya que ellos son, los encargados de realizar los lineamientos a seguir durante todo el proceso de investigaciones y decisiones a tomar para la realización satisfactoria del plan del proyecto.
2. Los estudios de reconocimiento son generalmente el primer paso de la planificación orientada hacia el proyecto y son de naturaleza preliminar dado que su propósito no es investigar los proyectos en detalle, no obstante, en ellos se identifica a las alternativas compatibles con el objetivo declarado, se compara y formula la mejor de las alternativas, se registran proyectos para referencias futuras y se proveen cifras preliminares sobre los costos y programas de implementación para el proyecto escogido
3. A diferencia de los estudios de reconocimiento, en los estudios de prefactibilidad, los proyectos han sido localizados, identificados y se les ha dado un nombre, dichos estudios se basan en información disponible y se complementan con un mínimo de inspecciones en campo, en esta etapa, el proyecto aún puede cambiar de lugar, por lo tanto, no tiene sentido hacer investigaciones profundas en campo, sin embargo en éstos ya se cuenta con información de mercado de potencial (demanda existente y futura), registros hidrológicos, geológicos, ambientales, evaluación económica y financiera y los términos de referencia para la elaboración del estudio de factibilidad.

4. Los estudios de factibilidad a diferencia de los anteriores estudios ya cuentan con un estudio detallado del proyecto, el cual está dirigido a la autorización final, diseño y construcción. En los estudios de factibilidad se cuenta con estimaciones de los valores económicos a producirse, estimaciones de costos de construcción, operación, mantenimiento y repuestos, así como la valoración del impacto que la implementación del proyecto tendrá en el medio ambiente y el costo de mitigar tales efectos, también en ellos se determina si el proyecto tiene factibilidad técnica, económica y ambiental, en fin, con ellos se puede llegar a la firme determinación de decidir si se realiza o no un proyecto hidroeléctrico.

5. Como resultado de las investigaciones realizadas para la elaboración del presente trabajo, puede el estudiante de ingeniería o el personal dedicado a la investigación de proyectos hidroeléctricos contar con un manual estructurado en forma ordenada, a fin de conocer o ampliar sus conocimientos en torno a las investigaciones que como mínimo debe realizar un planificador de proyectos hidroeléctricos, tema del que hoy por hoy es importante que todo ingeniero civil tenga conocimientos básicos.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que se oriente al estudiante de ingeniería a la obtención de información en cuanto a proyectos hidroeléctricos, a manera de conocer qué es un proyecto hidroeléctrico, las partes con que cuenta y cómo se planifica.
2. Es importante y necesario que a nivel de pre-grado, se implemente dentro de un curso o un curso específico, orientado a proyectos hidroeléctricos ya que hoy en día, no se tiene, y los conocimientos en cuanto a este tema deben ser parte de la formación de todo ingeniero civil.
3. Es de vital importancia que se trate de promover la realización de aprovechamientos hidroeléctricos ya que son, hoy en día, los que nos ofrecen la energía eléctrica con menos índices de contaminación, en comparación con los medios de generación eléctrica a partir del uso de generadores accionados por combustibles que hoy por hoy son bastante utilizados en Guatemala, además de que, el uso de los mismos suele incrementar el costo del kilowatt-hora.
4. Tomando en cuenta la importancia de este tema y la escasa información a la que el estudiante tiene acceso en cuanto a proyectos hidroeléctricos, es importante que, de parte de las autoridades correspondientes se trate la manera de complementar y difundir el presente trabajo, encaminando así al estudiante a un estudio con mayor profundidad para poder promover y desarrollar proyectos hidroeléctricos en Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. **REGLAMENTO de trabajos de graduación.** Aprobado por junta directiva mediante el acta No. 16-2000. Punto décimo, inciso 10.6, del 13 de junio de 2000.
2. AZEVEDO, J.M. **Manual de Hidráulica** Sexta Edición. México: Editorial Harla
3. HERRERA de noack, Jeannette, **Manual de Legislación Ambiental en Guatemala** Primera edición, Julio de 1997 IDEADS
4. SUAREZ, Antonio, **Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas**, volumen IV “equipos”, Colombia, Editorial BID y OLADE, 1985.
5. WILLIAM, Creager et. al. **Hidroelectric handbook** Estados Unidos: s.p.i., 1950
6. ORDÓÑEZ, Sandra, **Metodología de estudio para pequeñas centrales hidroeléctricas a nivel de prefactibilidad.** Tesis USAC, 1990
7. PRADO, Ivo, **Planificación, diseño y ejecución de pequeñas centrales hidroeléctricas**, Tesis Postgrado ERIS 1990.
8. OLADE, **Requerimientos y metodologías para la implementación masiva de pequeñas centrales hidroeléctricas en Latinoamérica**, Primera edición, documento No. 16, ERIS 1981.
9. T. MORSE, Frederick, **Centrales Eléctricas**, tercera edición, 1979, Editorial Continental, S.A.