

Criterios para la Selección del Equipamiento para Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas

Ing. Juan Saavedra M., Xavier S. García Quinde., John W. Guaranda Constante.
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC) Especialidad Potencia
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Guayaquil, Ecuador
xsgarcia@espol.edu, elmariachi000@hotmail.com, johnguaranda@hotmail.com.

Resumen

El presente estudio consiste en la elaboración de los criterios para la selección del equipamiento hidromecánico empleados en pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas. La correcta selección de los principales equipos hidromecánicos que constituyen una central hidroeléctrica depende de muchos factores y variables a considerar. Dentro de los principales factores a tomar en cuenta está la información y estudios de la hidrología que se tenga del proyecto de generación hidroeléctrica que se pretenda aplicar, es decir los caudales de los ríos, la altura aprovechable de estos, las épocas de estiaje, los niveles históricos de los mismos entre otros.

En este estudio se establecen los criterios para la selección de la turbina, transformador principal y del alternador. Adicional a ello se realiza un pequeño análisis del impacto ambiental y todos los efectos que implica construir una central hidroeléctrica en los alrededores de alguna población o simplemente un ecosistema.

Abstract

This study analyses the criterions to the select of the mean equipment hydromechanics to work at small and mediums hydroelectric power system. The right selection of these equipment hydromechanics depend of many factors and variables to have in mind. In the mean factory to have in mind, we have the information, and the studies about the hydrology that we have of this project of electrical generation, like volumes of the rivers, head of these rivers too, the station that we have the minimum volume of the river, historic levels, among others. And this study also we have the mean criterions to select the turbine, mean transformer and the electrical alternator. Additional to this, it makes a little analyst about the environment impact, cause and effect of all this hydro electrical power systems, and the consequents that have to build these centrals around some population or just a ecosystem.

1. Introducción

La necesidad de creación de nuevas centrales hidroeléctricas en el país es urgente e imperativo. Debido principalmente al déficit que se tiene en materia de generación de energía eléctrica. Uno de los principales problemas radica en el calendario anual, debido a que es en los meses octubre hasta febrero de cada año en donde se presentan las épocas de estiaje y los inconvenientes, al ser las centrales hidroeléctricas las que al no tener la principal fuente de energía como el agua en las cantidades necesarias, no aportan de energía eléctrica al sistema.

Este aspecto de la época en donde se tiene el estiaje es muy importante, debido a que los problemas para abastecer la demanda del sistema solo ocurre en estas fechas, y no así el resto del año.

Con lo cual no es suficiente considerar de manera prioritaria a las centrales hidroeléctricas, por ser proyectos que generan energía más barata sino también, el lugar en el cual éstas han de ser construidas. Debido a que de esto depende la aportación del sistema. Centrales hidroeléctricas de gran capacidad que operen eficientemente en los meses de octubre hasta febrero, que son las fechas en donde se presenta el estiaje en las centrales que se encuentran en la sierra, ayudarán enormemente a solucionar el problema energético al país. Las políticas de estado por los gobiernos anteriores han relegado estos grandes proyectos hidroeléctricos, en parte por favorecer a muy poderosos intereses económicos.

2. Criterio de selección de equipos

Para la selección del equipamiento en estos proyectos hidroeléctricos habrán de tenerse presente algunos datos básicos así como criterios para la selección de los mismos. Dentro de estos datos a tener presente tenemos de manera fundamental a la hidrología del sector y con ello de los ríos que aportan de energía hidráulica a la central.

Dentro de estos datos estarán los caudales del o de los ríos, así como la altura bruta que se tenga.

Con estos datos se tendrá una muy buena aproximación de la cantidad de potencia que esta central podría generar. Es así como en el proyecto de Angamarca Sinde cuya potencia de generación es de unos 50 [MW], información obtenida en base a la energía potencial y cinética de la altura y la velocidad respectivamente con la cual el río viaja.

Una vez con estos datos obtenidos con la hidrología del río y con ello la potencia virtual generada por la central es procedente encontrar la capacidad del o de los generadores, turbinas y transformadores que se utilizarán en la generación de energía eléctrica en dicha central.

2.1. Nivel de confiabilidad de los equipos

La potencia del generador tendrá que ser de un valor mayor o igual a los 50 [MW]. La cantidad de generadores empleados dependerá de algunos criterios, debido a que si se quiere tener un nivel bueno de confiabilidad y contingencia es apropiado el tener no solo un generador de unos 50 [MW], sino tener esa capacidad repartida en 2 generadores de 25 [MW] o 5 generadores de 10 [MW] cada uno, ya que con ello si por algún motivo la unidad de generación tendría que salir de servicio ya sea por un mantenimiento preventivo o un mantenimiento correctivo toda la central no quedaría fuera de servicio.

Otro aspecto a considerar con respecto al número de generadores que se tendría que utilizar es el factor económico, debido a que técnicamente por ejemplo sería el tener 5 unidades de 10 [MW] cada una en la central, pero en la práctica podría resultar muy costoso. La parte financiera es otro punto a considerar ya que de esto depende la adquisición de cada uno de estos equipos.

El número de turbinas a utilizar va ligado al número de unidades de generación que se tenga, es así por ejemplo si se tiene un generador se empleará una turbina; si se disponen de 3 generadores eléctricos se tendrán 3 turbinas, una por cada uno de los generadores presentes en la central.

El tipo de la turbina a colocar dependerá de factores como la altura y la velocidad del río, aunque para la elección de ésta, se emplea un factor que involucra ambos factores, como lo es la velocidad específica. Existen curvas en las cuales se relacionan estas variables, la altura y la velocidad específica, y con ello el tipo de turbina a emplear, ya sean éstas del tipo Francis, Kaplan, Pelton entre otras.

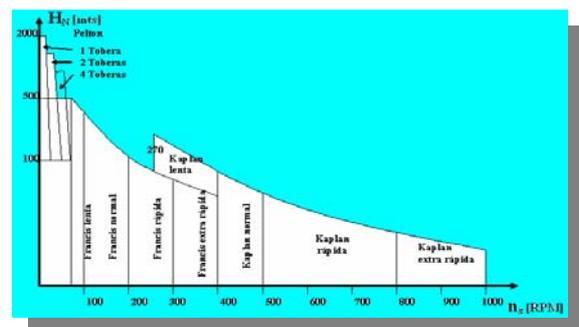


Figura 1. Curva de altura neta vs. Velocidad específica

En la curva adjunta se muestra a la altura en función de la velocidad específica, en la cual se presenta un rango amplio de elección de la turbina en base a estos 2 parámetros, cabe indicar que existe un rango para el cual se tienen algunas opciones en la elección de la turbina adecuada para esos parámetros. Así por ejemplo para una velocidad específica de 300 se tiene la opción una turbina Francis rápida o una Kaplan lenta.

3. Importancia del regulador de velocidad

Dentro de los parámetros a considerar en un buen sistema de potencia es que éste sea confiable y viable, además que éste nos proporcione los niveles de voltaje y de frecuencia deseados. En esta última parte, es decir en estos parámetros como son el voltaje y la frecuencia, son indicadores de tener un buen sistema de generación de energía eléctrica. La estabilidad de voltaje debe de estar presente y no debe de cambiar bajo las diferentes condiciones de carga que pudiera presentar el sistema, claro que este voltaje pudiera cambiar bajo ciertos rangos mínimos de tolerancia. De igual manera el valor de la frecuencia debe de mantenerse en un valor determinado para la protección de los equipos conectados al sistema además de que con ello evitar posibles problemas de sincronización con los demás generadores conectados al sistema. La frecuencia del generador es un parámetro sumamente importante, debido a que afecta el funcionamiento de los otros dispositivos, así que debe de mantenerse dentro de un rango muy estricto, para ello se utiliza un controlador de velocidad del rotor, esto a menudo se logra variando la apertura de las válvulas de alimentación de la turbina.

3.1. Objetivo del regulador de velocidad

El objetivo de este dispositivo es ejercer control sobre la velocidad de la turbina para que el generador suministre energía eléctrica con una frecuencia lo más cercana a la deseada, en nuestro caso, obtener una frecuencia de 60 Hz. Aún cuando se presenten perturbaciones tales como variaciones de carga, disparo de otra fuente de generación, etc. En caso de que el generador este acoplado a un sistema interconectado la frecuencia no se ve afectada debido a que el sistema interconectado es mucho más grande que el generador e impone su frecuencia al mismo. Es importante mantener la frecuencia dentro de un rango muy preciso para evitar los problemas que pudiera ocasionar a los equipos conectados al sistema, como podrían ser por ejemplo: que lámparas fluorescentes no enciendan, motores eléctricos que no enciendan, en ambos casos debido a una baja frecuencia; y por otro lado el que un generador pueda dañarse debido a la velocidad excesiva debido a una alta frecuencia. Cabe indicar que en aquellas centrales hidroeléctricas que no tienen un sistema de regulación de la velocidad, una variación en la demanda de energía inmediatamente producirá un cambio en la velocidad de giro de la turbina; por lo tanto el alternador empezará a girar con una velocidad diferente a la sincrónica con la consecuente variación de la frecuencia y en el voltaje de la línea. Debido a lo antes mencionado se hace necesaria la existencia de un sistema que nos permita el tener un

control de la velocidad de la turbina en un valor constante ante las continuas variaciones de la demanda que se pudieran presentar.

Existen básicamente 2 maneras de controlar la velocidad del grupo generador-turbina:

- Por regulación del caudal de agua en la turbina
- Por regulación de la carga

El siguiente es un esquema en donde se muestra el regulador electrónico en el sistema.

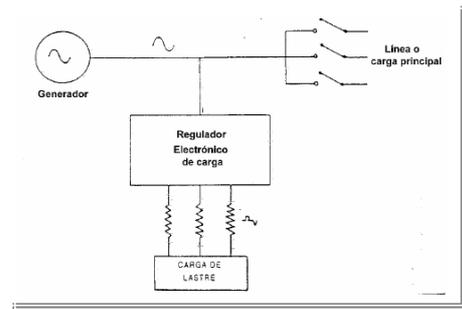


Figura 2. Regulador electrónico de carga

3.2. Sistema Oleodinámico

El sistema Oleodinámico es una parte muy importante en la regulación de velocidad de las turbinas. El sistema Oleodinámico es utilizado en la regulación de velocidad por regulación del caudal de agua en la turbina. Este sistema permite aumentar o disminuir el nivel de caudal que ingresa a las turbinas y con ello regular su velocidad, por medio de la apertura o cierre, parcial o total de los álabes de la turbina.

El sistema Oleodinámico es un conjunto de elementos y dispositivos que coordinados trabajan para la correcta operación en la regulación de la velocidad de la turbina.

Entre los principales dispositivos y elementos que constituyen al sistema Oleodinámico tenemos a los siguientes:

- Acumulador de energía
- Tanque de recolección
- Grupo de bombas
- Servo motores
- Válvula de carga
- Válvula de intermitencia
- Válvula de seguridad
- Válvula de distribución
- Válvula de retención

3.2.1 Producción y acumulación de aceite

Una parte fundamental del sistema Oleodinámico es el acumulador de energía, lugar en el cual es almacenado el aceite que ha de circular por todo el sistema Oleodinámico para el correcto funcionamiento de este sistema. En este acumulador de energía además de tener almacenado aceite, también se encuentra aire a

presión. La presión interna en este acumulador debe de estar en el rango de 50 a 55 bars. La función del acumulador de energía es asegurar la disponibilidad de una cantidad de aceite con presión y caudal suficiente, fuera del caudal de las bombas y en los casos de emergencias (cuando estén las bombas paradas con el grupo en marcha) a los circuitos de mando de la turbina y válvula mariposa.

Los niveles de aceite y presión dentro del acumulador de energía se encuentran en el rango de 50 a 55 bars. Valores para los cuales hay un correcto funcionamiento de todo el sistema Oleodinámico, si la presión dentro del acumulador de energía excede a los 55 bars. de presión o por el contrario si la presión dentro del acumulador de energía bajara del nivel mínimo de presión esto es menor a los 50 bars, esto repercutiría de una manera negativa en el correcto funcionamiento del sistema.

Cabe indicar que si el nivel de aceite dentro del acumulador de energía es lo suficientemente bajo, es decir se tiene una baja presión, como consecuencia de ello no podrá asegurar la disponibilidad de una cantidad de aceite con presión y caudal suficientes, para los circuitos de mando de la turbina y válvula mariposa. Por otro lado, en el caso en que la presión dentro del acumulador de energía sobrepaso los 55 bars, y con ello teniendo una sobrepresión en el tanque daría como resultado la explosión misma del tanque.

Junto al acumulador de energía se encuentra una válvula llamada válvula de intermitencia la cual tiene como objetivos principales el de censar la presión interna en el acumulador de energía y dar respuesta a alguna anomalía que este presente, es decir, ante una baja presión o una sobrepresión tomara alguna acción correctiva. A un determinado rango de presiones le corresponde un determinado nivel de aceite que le asegure un determinado volumen de aceite y de aire suficientes para las maniobras de los servomotores de turbina y válvula mariposa.

La presión interna dentro de el acumulador de energía esta constantemente variando entre los valores de 50 y 55 bars, cuando esta presión se acerca a los valores de los 55 bars, la válvula de intermitencia actúa abriendo la válvula de carga y con ello el aceite es enviado desde el acumulador de energía hacia el tanque de recolección por medio de la bomba, consiguiendo con ello la reducción de la presión interna dentro del acumulador de energía. Para el caso contrario, es decir cuando la presión dentro del acumulador de energía sea baja y cercana a los 50 bars, la válvula de intermitencia reacciona ante ello cerrando la válvula de carga y con ello permitiendo el paso del aceite desde el tanque de recolección de aceite hacia el acumulador de energía y de esta manera subiendo el nivel de presión dentro del rango permitido en el acumulador de energía por medio de la misma bomba.

4. Sistemas de Automatización

El proceso de generación de energía eléctrica implica un conjunto de operaciones y maniobras donde se encuentran involucrados un sinnúmero de equipos. La automatización como sistema es la encargada de realizar las tareas de control y supervisión de todos los elementos que ayudan a la generación de energía eléctrica. Este control y supervisión puede ser automático o semiautomático. Dentro de las principales ventajas y beneficios podemos citar las siguientes:

Se obtiene una mejor calidad en el desarrollo del proceso, en este caso el de generación de energía eléctrica, cabe indicar que esto también dependerá de la eficiencia del sistema que se ha implementado.

Se obtiene una información actualizada de todos los eventos que están ocurriendo en cada etapa del proceso de generación de energía eléctrica. Permite obtener una lectura rápida de análisis en el momento que se quiera realizar un diagnóstico en alguna parte del proceso de generación de energía eléctrica. Se obtiene un aumento en la seguridad de las instalaciones y además en la protección de los trabajadores.

4.1. Principales sistemas empleados

Entre los principales sistemas de automatización que se emplean tenemos los sistemas SCADA (control supervisorio y adquisición de datos) y los sistemas DCS(sistema de control distribuido). El sistema SCADA es básicamente un software que permite al operador supervisar y controlar todas las etapas en algún proceso dado. De manera general para la implementación de un sistema SCADA, se utiliza múltiples unidades terminales remotas, además de una estación remota y computador con HMI(interacción hombre-máquina), y una infraestructura de comunicación. El DCS es otro sistema por medio del cual se pueden realizar tareas de control de manera similar a lo que realizan los sistemas SCADA. Estos sistemas generalmente son aplicados a procesos que son continuos. Al igual que el sistema SCADA, el sistema DCS emplea dispositivos de control como son los PLC(controlador lógico programable), los cuales realizan la tarea de control de una manera automática.

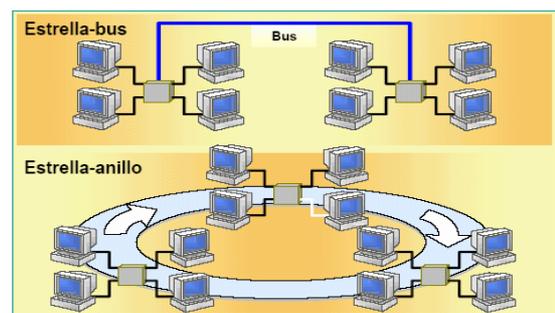


Figura 3. Arquitectura de un sistema de automatización

5. Impacto Ambiental

La construcción de una central hidroeléctrica en cualquier región que ésta se encuentra tiene un impacto en el lugar y ambiente que la rodea. Este impacto puede ser positivo o negativo así como mayor o menor hacia el ambiente como para las personas que viven en la cercanía de la central hidroeléctrica. Mediante el análisis de las actividades de construcción, operación y mantenimiento así como entorno ambiental de estas centrales hidroeléctricas se determinan sus posibles impactos que pueden producir en el ambiente.

5.1. Principales Impactos Ambientales

La energía hidráulica es una energía renovable que no es considerada como una energía 100% limpia debido, fundamentalmente al impacto ambiental provocado por las construcciones de presas para el almacenamiento de agua. Entre los aspectos a tener en cuenta para mantener el potencial hidroeléctrico con un desarrollo sostenible en materia ambiental tenemos los siguientes:

- Calidad del agua
- Erosión y transporte de sedimentos
- Hidrología y flujos medioambientales del río
- Especies endémicas y en peligro de extinción
- Paso de especies
- Plaga de animales y vegetales en los embalses
- Aspectos sanitarios
- Actividades de construcción
- Sistema de gestión medioambiental

5.1.1 Calidad del agua

La construcción de presas y estancamiento del agua puede alterar la calidad del agua desde el punto de embalse hasta la desembocadura del río. Los principales riesgos son la reducción del oxígeno en agua, así como cambio en la temperatura, y posible proliferación de enfermedades. Para disminuir estos impactos se emplean salidas de agua a diferentes niveles, además de trabajar de manera estrecha con las comunidades y autoridades locales para la solución de estos inconvenientes.

5.1.2 Erosión y transporte de sedimentos

La creación de un embalse provoca cambios en el transporte de sedimentos del río, debido a que la sedimentación se produce de manera más pronunciada en el agua estancada.

5.1.3 Hidrología y flujos medioambientales del río

De manera global, las represas provocan cambios en la hidrología y en el entorno del río, afectando de manera global a la biodiversidad. Este hecho no sólo afecta a

la fauna, sino también a las actividades humanas que se desarrollan en el río. Para ello las operaciones de la central deben incluir aportaciones de agua al curso del río para mitigar el impacto global sobre la cuenca. Estas aportaciones deben ser calculadas teniendo en cuenta cada uno de los problemas que se pretenden evitar contando, además, con la opinión de las comunidades locales que se benefician del curso del río.

5.1.4 Especies endémicas y en peligro de extinción

La construcción de una presa puede poner en serio riesgo a especies amenazadas o únicas debido a los cambios de hábitat natural, ya sea durante los trabajos de construcción o debido al estancamiento del agua. Río abajo también se producen alteraciones que pueden provocar daños. Además, pueden producirse mezclas bruscas de especies en caso de que se lleven a cabo trasvases entre diferentes cuencas, alterando el equilibrio de la fauna. Los riesgos sobre especies amenazadas deben ser estudiados y planificados antes de la construcción. Las soluciones más habituales pasan por la rehabilitación del hábitat y la creación de zonas de reserva especialmente protegidas.

5.1.5 Paso de especies

Muchas especies recorren el río a lo largo de su ciclo de vida en uno o ambos sentidos. En muchos lugares, la migración de peces por ejemplo el salmón es un acontecimiento anual, que se ve seriamente afectado por las presas. Esta migración resulta de importancia vital para mantener las poblaciones de varias especies, y además de ello supone grandes ingresos económicos para las poblaciones locales. El paso de las especies debe ser estudiado de la construcción de la presa, para determinar su localización de manera que afecte en la menor medida posible a especies migratorias. La migración a gran escala de algunas especies exigen medidas complementarias para evitar la mortalidad.

5.1.6 Plaga de animales y vegetales en los embalses

En algunos casos, los embalses, a largo plazo provocan problemas medioambientales debido a la introducción de especies exóticas o no adaptadas al hábitat. Los cambios en las condiciones del agua pueden facilitar la colonización de especies ajenas al entorno, creando plagas. Estos cambios pueden afectar incluso a la generación de electricidad, perturbando las conducciones, y al uso del agua corriente abajo, debido a la alteración de la calidad.

5.1.7 Aspectos sanitarios

Los cambios producidos en el entorno por la construcción de presas pueden afectar a la salud pública, influyendo en la transmisión de enfermedades

o en el consumo de alimentos contaminados como por ejemplo un pescado con altos niveles de mercurio. Los planes de salud pública deben ser consensuados con las autoridades locales, y deben incluir actividades de seguimiento de los niveles de contaminación de río. No obstante, también existen beneficios para la salud como son en áreas afectadas por una enfermedad como lo es la malaria, una adecuada gestión del caudal del río puede reducir las fuentes de la enfermedad.

5.1.8 Actividades de construcción

Las actividades de construcción provocan alteraciones en el medio acuático y terrestre. Además, cuando la construcción se realiza cerca de alguna población se deberá tomar en cuenta la contaminación acústica y los problemas derivados de la generación de polvo. Para ello deben especificarse los planes para gestionar todos los riesgos derivados de la construcción, rehabilitando las zonas de excavación y gestionando el almacenamiento y manipulación de materiales químicos.

5.1.9 Sistema de gestión medioambiental

Es recomendable que cada una de estas centrales hidroeléctricas por construirse incorporen un sistema de auditoría medioambiental específicamente diseñado y adaptado a su entorno. Un sistema de gestión medioambiental deberá permitir la gestión integral de todas las actividades de la central, desde su construcción hasta el final de su vida útil. Los programas de control integrados en el sistema deberán asegurar la continua mejora de la gestión medioambiental a lo largo de todo el proyecto.

5.2. Criterios sociales y económicos

Los proyectos hidroeléctricos tienen impactos positivos en la sociedad, debido a que contribuyen a aumentar las riquezas de las comunidades locales, no sólo con las actividades derivadas de la construcción y mantenimiento de las instalaciones, sino con el hecho de que proporcionen electricidad al entorno más cercano. Además de ello aseguran el suministro constante de agua fresca de calidad, si se gestiona adecuadamente, así como proyectos de riego y efectos multiplicadores en beneficio de la comunidad.

No obstante, existen impactos negativos asociados a las grandes centrales, además de la alteración del entorno natural, que será mas importante cuanto mayor sea la dependencia de la población humana de dicho entorno, existen problemas de carácter exclusivamente social como:

- Pérdida física de terrenos y propiedades inmobiliarias, que a veces afectan la totalidad de un núcleo de población.

- Transición a otros medios de supervivencia, especialmente en las comunidades más arraigadas al entorno.
- Pérdida de identidad cultural de la población así como sus tradiciones.

Estos impactos que son a menudo difíciles de gestionar, deben minimizarse con políticas de redistribución de post-beneficio entre la comunidad afectada, y con actuaciones complementarias dependientes de las autoridades locales.

6. Aplicación a Centrales Específicas

6.1. Probabilidad de Capacidades Fuera de Servicio

A continuación se presentarán algunas opciones con respecto al número de unidades que son necesarias para la generación de energía eléctrica en alguna central dada y sus correspondientes valores de probabilidades de tener cierto número de unidades fuera de servicio. Para ilustrar este análisis se tomó en consideración al proyecto Angamarca-Sinde.

La capacidad de generación de este proyecto es de 50 Mw., para los cuales se presentarán algunas alternativas de generación con respecto a la cantidad de generadores que se utilizarán para generar estos 50 Mw.

Así por ejemplo se podrían presentar las siguientes alternativas:

Tabla 1. Alternativas para generación 50 MW.

ALTERNATIVA	Capacidad en [MW]
1	1 X 50 MW
2	2 X 25 MW
3	5 X 10 MW
4	3 X 10 MW 1 X 20 MW

Cada una de éstas alternativas satisface los requerimientos de generación, pero no así los niveles de confiabilidad, debido a que para la primera alternativa toda la central depende de una sólo unidad y si ésta tendría que salir ya sea por mantenimiento preventivo o correctivo la central queda fuera de servicio, no así para los demás casos en los cuales quedan algunas unidades operando.

En la alternativa cuatro por ejemplo, si una de las tres unidades de diez MW queda fuera de servicio, el impacto es mucho menor debido a que quedan cuarenta MW de generación en servicio. A continuación se presentan algunos cuadros con las probabilidades de capacidades fuera de servicio para las diferentes alternativas.

Alternativa 1. Sistema de generación compuesto por una sola unidad de 50 MW.

Tabla 2. Sistema de generación 1 x 50 MW.

Capacidad [MW]		Probabilidad Individual	Probabilidad Acumulada
Fuera	Disponible		
0	50	0,98	1
50	0	0,02	0,02

Alternativa 2. Sistema de generación compuesto por dos unidades de 25 MW cada una.

Tabla 3. Sistema de generación 2 x 25 MW.

Capacidad [MW]		Probabilidad Individual	Probabilidad Acumulada
Fuera	Disponible		
0	50	0,9604	1
25	25	0,0392	0,0396
50	0	0,0004	0,0004

Alternativa 3. Sistema de generación compuesto por cinco unidades de 10 MW cada una.

Tabla 4. Sistema de generación 5 x 10 MW.

Capacidad [MW]		Probabilidad Individual	Probabilidad Acumulada
Fuera	Disponible		
0	50	0,9039208	1
10	40	0,092236815	0,0960792
20	30	0,003764768	0,00384239
30	20	$7,6832 \times 10^{-5}$	$7,761 \times 10^{-5}$
40	10	$7,84 \times 10^{-7}$	$7,872 \times 10^{-7}$
50	0	$3,2 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-9}$

Alternativa 4. Sistema de generación compuesto por tres unidades de 10 MW cada una y una sola de 20 MW.

En la tabla 5 se muestra un cuadro en donde se presentan las probabilidades individuales por las unidades de 10 MW y en la tabla 6 la probabilidad de tener a la unidad de 20 MW fuera de servicio.

Tabla 5. Sistema de generación 3 x 10 MW.

Capacidad. Out[MW]	Probabilidad
0	0,941192
10	0,057624
20	0,001176
30	8×10^{-6}

Tabla 6. Sistema de generación 1 x 20 MW.

Capacidad. Out[MW]	Probabilidad
0	0,98
20	0,02

En la tabla 7 se muestran las probabilidades totales para el sistema formado por éstas 4 unidades.

Tabla 8. Tabla de probabilidades de capacidades fuera de servicio.

Capacidad out [MW]	Probabilidad Individual	Probabilidad Acumulada
0	0,92236816	1
10	0,05647152	0,07763158
20	0,0199762	0,02116008
30	0,00116024	0,00118388
40	$2,352 \times 10^{-5}$	$2,368 \times 10^{-5}$
50	$1,6 \times 10^{-7}$	$1,6 \times 10^{-7}$

7. Agradecimientos

Se debe reconocer el aporte significativo de las personas e instituciones que contribuyeron en este estudio sea facilitando acceso a información o compartiendo experiencias adquiridas; por lo que se agradece a las personas e instituciones y en especial al Ing. Manuel Pacheco Pacheco que con la información brindada contribuyó enormemente a la realización de este trabajo.

8. Referencias

- [1] Lewis E. Ernest – Stern Hansjoerg, *Diseño de sistemas de Control Hidráulico*, McGraw-Hill Book Company..
- [2] Mataix Claudio, *Turbomáquinas Hidráulicas*, Editorial ICAI. Madrid-España, 1975.
- [3] Santo Potess E., *Centrales Eléctricas*, Editorial Gustavo Gili.
- [4] Vickers, *Manual de Oleohidráulica Industrial*, 1993
- [5] Zoppetti Gaudencio, *Centrales Hidroeléctricas*, Editorial Gustavo Gili

8. Conclusiones y resultados

- ✓ La creación de una central hidroeléctrica muy frecuentemente tiene serios impactos de tipo ambiental, social y político en las zonas aledañas a su construcción.
- ✓ Un mantenimiento preventivo y periódico a estas centrales hidroeléctricas ayudará a prolongar la vida útil de todos los equipos y además de evitarse grandes problemas que pudieran surgir en el futuro.
- ✓ El nivel de confiabilidad que pudiera presentar una central hidroeléctrica dependerá en gran medida del número de unidades que tenga la misma, así por ejemplo para una unidad de generación de 50 MW en la cual se posea una sola unidad de generación, el nivel de confiabilidad de la misma es extremadamente bajo, debido a que si por alguna circunstancia, ya sea por un mantenimiento preventivo o correctivo la unidad de generación tendrá que salir de servicio con ello toda la central, no así, si para la misma central se tuvieran 10 unidades de 5 MW cada una. Para este caso el nivel de confiabilidad es considerablemente alto, debido a que por ejemplo en el caso eventual de que una unidad de generación tenga que salir ya sea por un mantenimiento preventivo o correctivo, la central hidroeléctrica sigue operando, ya que sólo habrá perdido un décimo de su capacidad de generación. Numéricamente estos valores son 2% de probabilidad de tener una unidad fuera de servicio, para el primer caso. Y unidad probabilidad del $3,2 \times 10^{-7}$ % para el caso de tener 5 unidades fuera de servicio, en el evento que se tenga la misma central de 50 MW, con 5 unidades de generación de 10 MW cada una.
- ✓ Las características de las unidades de generación y de la turbina en el proyecto Angamarca-Sinde cuya potencia a instalar es de 50 MW son las siguientes:
Con respecto al generador tenemos:
Potencia Nominal: 60 MVA
Tensión Nominal: 13.8 KV
Corriente Nominal: 2510.2 Amperios
Factor de Potencia: 0.9
Frecuencia: 60 Hz.
Número de Fases: 3
Con respecto al número de polos, velocidad, velocidad específica y a la correspondiente turbina se presentan las siguientes 3 alternativas.
Opción 1:
Número de Polos: 12
Velocidad: 600 rpm
Velocidad específica: 117,44

Turbina: Francis Normal.

Opción 2:

Número de polos: 16

Velocidad: 450 rpm

Velocidad específica: 88,082

Turbina: Francis lenta.

Opción 3:

Número de polos: 20

Velocidad: 360 rpm

Velocidad específica: 70,465

Turbina: Pelton cuatro toberas.

Cabe indicar que en este proyecto Angamarca-Sinde se asumió una sola unidad de generación y con ello una sola turbina.