

TURBINAS

ANÁLISIS DEL RIESGO
Y ESTUDIO EN LOS
SINIESTROS

UN ENFOQUE PARA SUSCRIPCIÓN
Y ATENCIÓN DE RECLAMOS

VALUATIVE

LÍDERES EN INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN PATRIMONIAL

Cra. 7 No. 156 – 10 Of. 1607 / Edificio Torre Krystal
Bogotá D.C., Colombia
Pbx: +57 (1) 3902846
info@valuative.co

“TURBINAS - ANÁLISIS DEL RIESGO Y ESTUDIO EN LOS SINIESTROS”

UN ENFOQUE PARA SUSCRIPCIÓN Y ATENCIÓN DE RECLAMOS

ADAPTADO DE

CENTRALES ELÉCTRICAS

ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD

CEAC: Consular Electronic Application Center

La **producción** de energía eléctrica tiene lugar en las centrales eléctricas. Estos lugares son los encargados de la generación de energía a partir de diferentes materias primas, de las que se obtiene un tipo de energía que se transformará en **electricidad** a través de los procesos necesarios.

De manera simple, digamos que **la energía eléctrica** puede parecer complicada, pero en realidad es algo sencillo de entender. Para empezar, y como es obvio, se trata de una forma de energía. Esta energía nace entre dos puntos con diferente potencial al conectarse mediante un material que sea conductor eléctrico. Entre ellos se establece entonces una corriente eléctrica que puede canalizarse para servir a diferentes propósitos, entre ellos transformarse en otros tipos de energía útiles, como luz, energía mecánica o energía térmica. En resumen, la electricidad es un tipo de energía que se obtiene a partir del movimiento de electrones de carga positiva y negativa en el interior de los materiales que son conductores.

Para que el circuito eléctrico funcione, son necesarios varios elementos, desde el material conductor por donde ha de pasar la corriente eléctrica, hasta el generador encargado de impulsar los electrones dentro del circuito, el interruptor, y el elemento objetivo de dicha corriente de energía, por ejemplo, una bombilla.

Lo que hay que tener claro, es que la electricidad no se crea de la nada, siempre parte de otro tipo de energía, y tiene como fin llegar a ser otra energía diferente. De ahí que pensar en el concepto de **cómo se crea la electricidad** sea erróneo. La realidad es que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Lo que sí tiene una respuesta es **cómo se produce la electricidad**.

Habiendo ya tratado dos tipos de energía en nuestras últimas entregas de *Energías Verdes*, [Eólica y Fotovoltaica] entraremos a través de la presente edición a hablar de la producción de energías eléctricas convencionales (aunque aún dentro del ámbito de la *Verdes*), como es el caso de la **hidráulica** (resultante del uso de la fuente natural originada en el agua, por lo que es conocida como tal.

Sin embargo, su generación, producción y distribución es un conjunto de criterios diversos y muy amplios en el que son utilizados distintos métodos, procesos y tratamientos donde existen

equipos igualmente diversos y dependientes de las características de cada proyecto, que como ha quedado reseñado, para el caso de Colombia, concentra la Eólica, la Solar o Fotovoltaica, la Geotérmica y por supuesto la Hidráulica.

Así las cosas, repasábamos en nuestras anteriores entregas los dispositivos de las dos primeras, pero al entrar en la esquematización de la Energía Eléctrica Hidráulica hemos creído necesario tratar en primera instancia el tema vinculado con uno de los equipos críticos de mayor impacto en el proceso, no solo por su complejidad técnica, sino por la criticidad en todo el proceso primario de generación, como es el que se deriva de **las turbinas**.

Así pues, el presente número estará dedicado a tales dispositivos y a conocer un poco sus características, funcionamiento, tipos y características principales, fundamentales en los procesos de construcción y/o montaje de las mismas, operación, control y prevención de riesgos, impacto en caso de daños y sus tipos en la generación, recordando que en nuestro medio, éste representa la más alta e importante fuente de generación del servicio.

En esencia, definamos una **Central hidroeléctrica**: Las plantas hidroeléctricas requieren proyectos de construcción sofisticados, especialmente en términos de ingeniería hidráulica. El costo de las turbinas y sistemas eléctricos de una planta representan alrededor del **25% de las inversiones** de toda la planta energética.

Una central hidroeléctrica cuenta con los siguientes componentes:

Estructura de contención de aguas: presa, dique, aliviadero, vaciado del fondo, entrada con rejilla y compuerta de cierre, en centrales de pasada: escalera de peces y esclusa.

Conducto forzado con cámara de equilibrio (en tuberías de gran longitud).

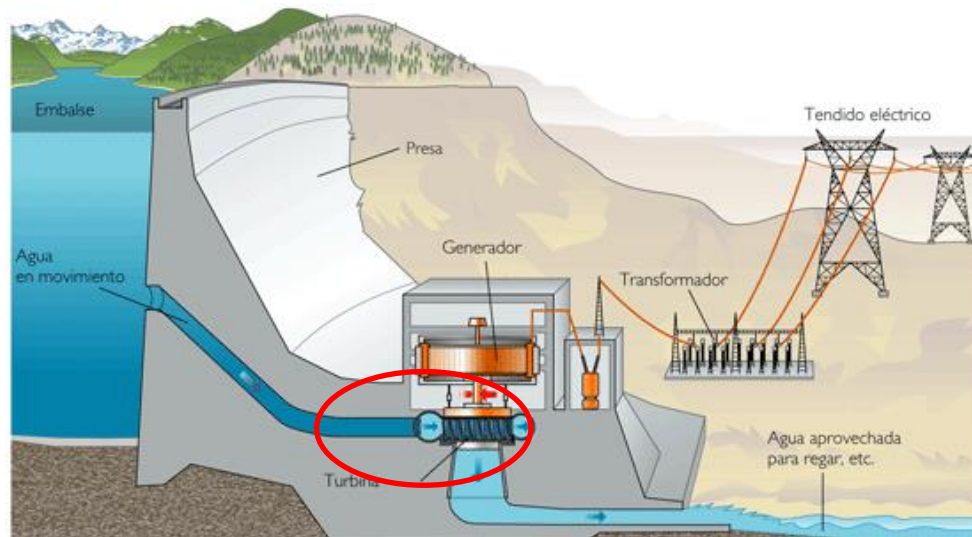
Central eléctrica: válvula de cierre, carcasa espiral, turbinas hidráulicas con generadores

Electrotecnia: sistemas de control, transformadores y estación transformadora

Tubo de aspiración/difusor para la reconducción del agua al río (aguas abajo).

A través de una estructura de contención de energía se retiene el agua embalsada al máximo nivel de energía potencial posible. Los conductos forzados llevan el agua a la

caja espiral y a las **turbinas**. A continuación, el tubo de aspiración se encarga de derivar el agua al río o depósito inferior.



Distribución básica de una central hidráulica y la ubicación de la **turbina** en el corazón del complejo.

TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

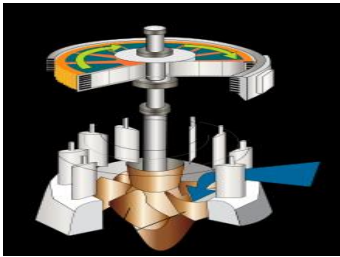
La explotación de la fuerza hidráulica siempre requiere el empleo de una turbina hidráulica. La turbina transforma la energía potencial y cinética en movimientos mecánicos. Si se instala un generador sobre el árbol de la turbina, los movimientos mecánicos se convierten directamente en corriente eléctrica. La potencia $P(W)$ de una turbina hidráulica se determina a partir del producto de la **aceleración gravitacional g ($9,81 \text{ m/seg}^2$)**, la **densidad del agua d (kg/m^3)**, la **caída de agua h (m)**, el **caudal de la turbina Q (m^3/seg)** y el **rendimiento η (%)**.

$$P = \eta \cdot d \cdot g \cdot h \cdot Q$$

Esta expresión muestra que un salto alto puede compensar un caudal bajo y viceversa. Ello significa que un volumen de agua relativamente pequeño de un arroyo en montaña con una caída de varios cientos de metros, posiblemente sea capaz de generar más electricidad que el gran caudal de un río cuyo salto de agua apenas supera la diferencia de altura de una presa. A

fin de alcanzar un rendimiento óptimo, la turbina debe ser adaptada a los distintos saltos de agua y caudales.

Es decir, una central de alta presión en montaña necesita una turbina diferente a la requerida por una central de agua fluyente a orillas de un río.



La turbina hidráulica es una turbo máquina cuyo elemento principal es el dispositivo que gira y a través del cual pasa un fluido continuo que hace variar su cantidad de movimiento, transfiriéndose energía entre la máquina y el fluido a través del momento del rotor, es decir 'máquina – fluido' o 'fluido – máquina' (TURBINA).

Las turbinas hidráulicas se dividen en turbinas de reacción y de chorro libre, según la característica de la presión en el rodete.

1. TURBINAS DE REACCIÓN

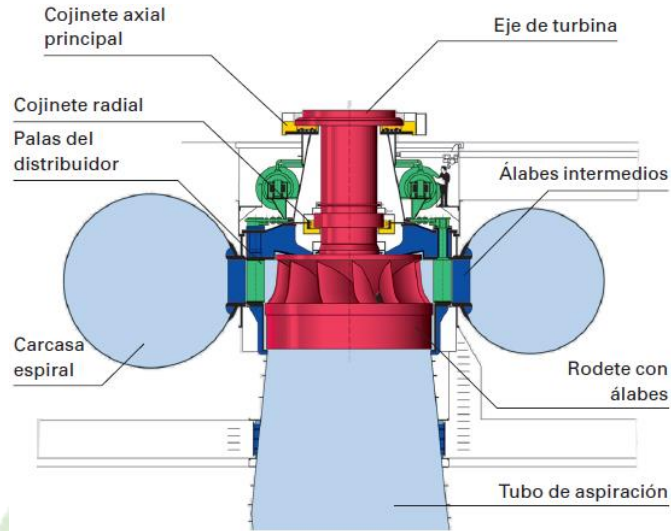
La presión del agua alcanza su máximo nivel en la entrada y va disminuyendo hasta la salida. En este proceso se transmiten energías potenciales y cinéticas al rodete.

TURBINAS FRANCIS

La turbina Francis fue inventada por el ingeniero James B. Francis en 1849 en EE UU. Hasta hoy en día, sigue siendo el tipo de turbina más comúnmente utilizado en las centrales hidroeléctricas. Se emplea esencialmente para saltos de agua y caudales medianos. Pero las turbinas Francis también se pueden diseñar para capacidades muy elevadas.

Así, las turbinas hidráulicas más grandes del mundo con una potencia instalada de 700 MW por cada unidad (Itaipú en Brasil y las Cuatro Gargantas en China) son turbinas Francis.

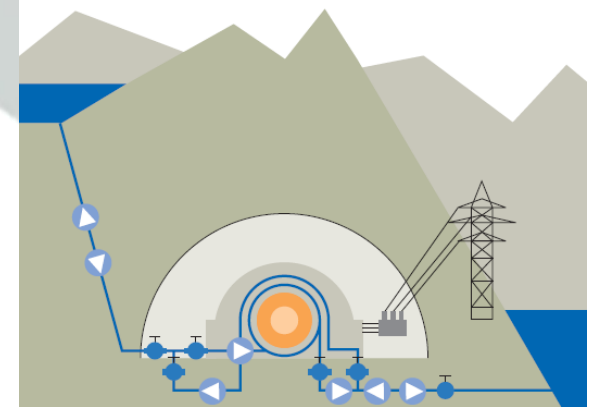
En las turbinas Francis, el agua va a la cámara espiral en forma de caracol y los álabes fijos y móviles canalizan las líneas de flujo del agua a los álabes inclinados del rodete. La presión es más fuerte en la entrada del rodete que en su salida. Las palas del distribuidor son móviles a fin de regular el caudal y así ajustar el rendimiento de la turbina según la demanda. El agua es conducida al embalse o depósito inferior a través de un tubo de aspiración inclinado.



La turbina Francis tiene la ventaja de que se puede utilizar también como bomba. Si el generador es utilizado como motor, la turbina Francis se convierte en una turbina de bombeo que sirve tanto de bomba como de turbina. Esta combinación se utiliza en centrales hidroeléctricas de acumulación por bombeo.

Turbina Francis: Rodete con álabes

Las **centrales de acumulación por bombeo** almacenan energía potencial en forma de agua. El agua almacenada en el embalse inferior es bombeada al embalse superior. Dado que estas centrales suministran energía (turbinado) con tan sólo un poco de demora y la vuelven a absorber con rapidez (bombeo), esta llamada "energía de regulación" se emplea tanto para cubrir la demanda punta como para compensar las bajadas repentinas en el consumo. Por ello, las centrales de bombeo son idóneas para la regulación de las redes eléctricas y muy valiosas desde el punto de vista energético.



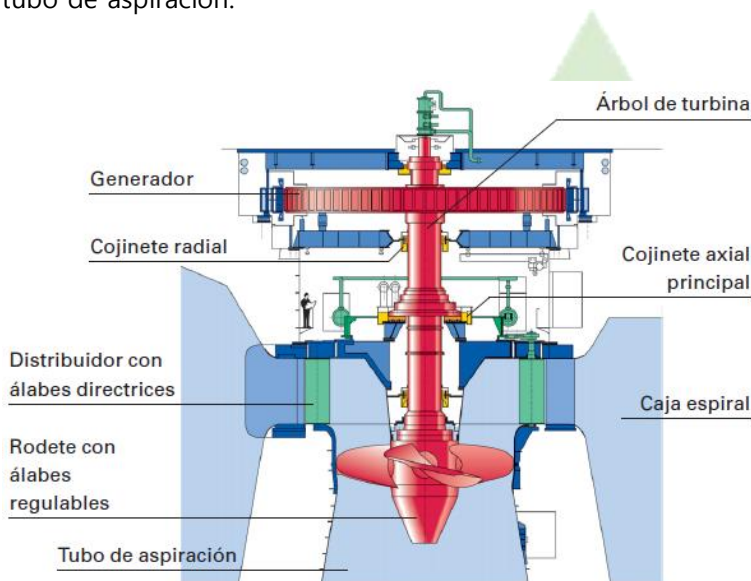
Central hidroeléctrica de bombeo

- Embalses
- Bomba
- Tubería a presión
- Transformador
- Generador
- Turbina Francis

TURBINAS KAPLAN

La turbina Kaplan es una turbina hidráulica con rodete de álabes ajustables.

Esta máquina axial se desarrolló en 1913 a partir de la turbina Francis por el catedrático austríaco Viktor Kaplan. El rodete es comparable al hélice de un barco pero con palas regulables. El flujo del agua (que atraviesa la espiral, los álabes fijos y las palas del distribuidor) es idéntico al de las turbinas Francis. Sin embargo, las turbinas Kaplan son de flujo axial, de modo que el agua incide sobre los álabes del rodete (paralelos al eje de la turbina). La presión del agua va descendiendo desde la entrada en el rodete hasta la salida, donde el agua abandona la turbina a través de un tubo de aspiración.



La turbina Kaplan

Generalmente está posicionada verticalmente, y el agua fluye de arriba a abajo. El libre movimiento de los álabes del rodete permite un ajuste del ángulo en función de las secciones en las palas del distribuidor (según el flujo del agua) y, por consiguiente, alcanzar un elevado nivel de rendimiento (más del 80%) para un caudal amplio.

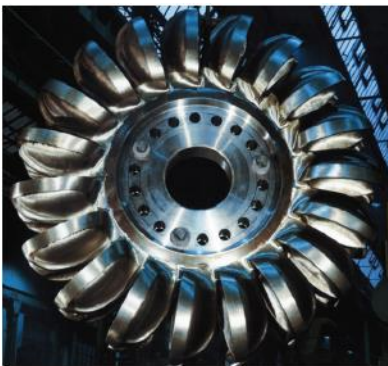
Esta turbina es especialmente adecuada para grandes centrales de agua fluyente a orillas de ríos de corriente lenta pues, desde el punto de vista técnico del flujo, está diseñada para saltos de agua de baja presión (es decir, pequeños) y caudales grandes.

Sobre la base de la turbina Kaplan se desarrolló la turbina bulbo – instalada de forma horizontal sin necesidad de una espiral y con un tubo de aspiración rectilíneo para así ahorrar espacio. Su generador está ubicado en una carcasa hermética en la extremidad del árbol de turbina. Las turbinas tubulares Kaplan sirvieron de base en el desarrollo de las turbinas “Straflo” (del inglés “straight flow” = flujo rectilíneo), en las que el generador se encuentra alrededor del rodete.

2. TURBINAS DE CHORRO LIBRE

En estas turbinas, la presión del agua se mantiene a un nivel constante mientras que el flujo de agua atraviesa los álabes. Solamente se transmite energía cinética a la turbina.

La **turbina Pelton** es una turbina a chorro libre que fue construida por el ingeniero estadounidense Lester Pelton y patentada en 1880 en EE UU.



Rodete de la turbina Pelton



Detalle de las cucharas

La turbina Pelton opera con un número muy elevado de rotaciones (de hasta 3.000 r/m) y alcanza un rendimiento del 85 al 90%. Incluso sin girar a plena carga, sigue alcanzando buenos resultados de rendimiento.

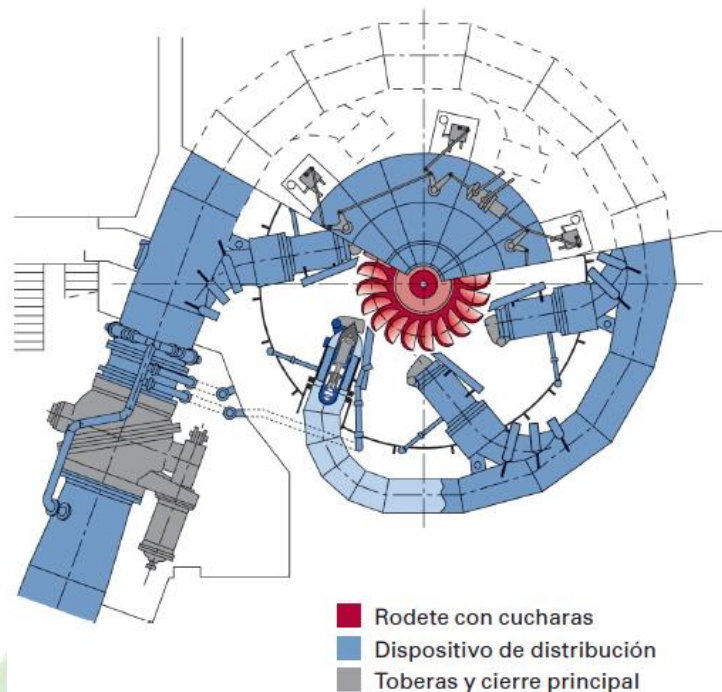
En la turbina Pelton, el agua sale en forma de un chorro a gran velocidad de una o varias toberas e inciden sobre los álabes del rodete. Delante de la tobera (en el sentido del flujo) la presión es elevada (de hasta 200 bar) mientras que el chorro libre tiene una presión atmosférica normal. En la tobera, la energía potencial se transforma íntegramente en energía cinética.

En el rodete, la presión permanece estable. Todos los álabes (40 como máximo) están formados por dos cazoletas (cucharas partidas). El chorro de agua inyectado incide en dirección tangencial en la arista central de las cucharas. De esta forma, la energía se transmite por cambio de impulsión a las cucharas que conducen el agua en dirección opuesta, transmitiendo así energía cinética al rodete. Visto desde la perspectiva técnica del flujo, la arista central de las cucharas constituye el verdadero punto crítico y es casi aguda como una cuchilla durante la primera puesta en marcha. Si la arista central no está diseñados adecuadamente, las cucharas rápidamente quedarían destrozadas por la acción de la presión del agua.

Con una caída de 1.000 m, el chorro de agua puede alcanzar una velocidad de casi 140 m/s. La velocidad de impacto más elevada que hasta ahora se ha registrado es de 185 m/s. Una turbina Pelton (según el tipo y la altura de la caída) requiere un caudal de entre 20 y 8.000 litros de agua por segundo.

Las turbinas tipo Pelton se emplean principalmente en las centrales de embalses situados en zonas de alta montaña donde los saltos de agua son muy elevados y los caudales relativamente bajos. La mayor desventaja que tienen es la susceptibilidad a la erosión del rodete, sobre todo cuando el agua proveniente de las montañas arrastra cantidades importantes de partículas aluviales (p.ej. arena).

Turbina tipo Pelton

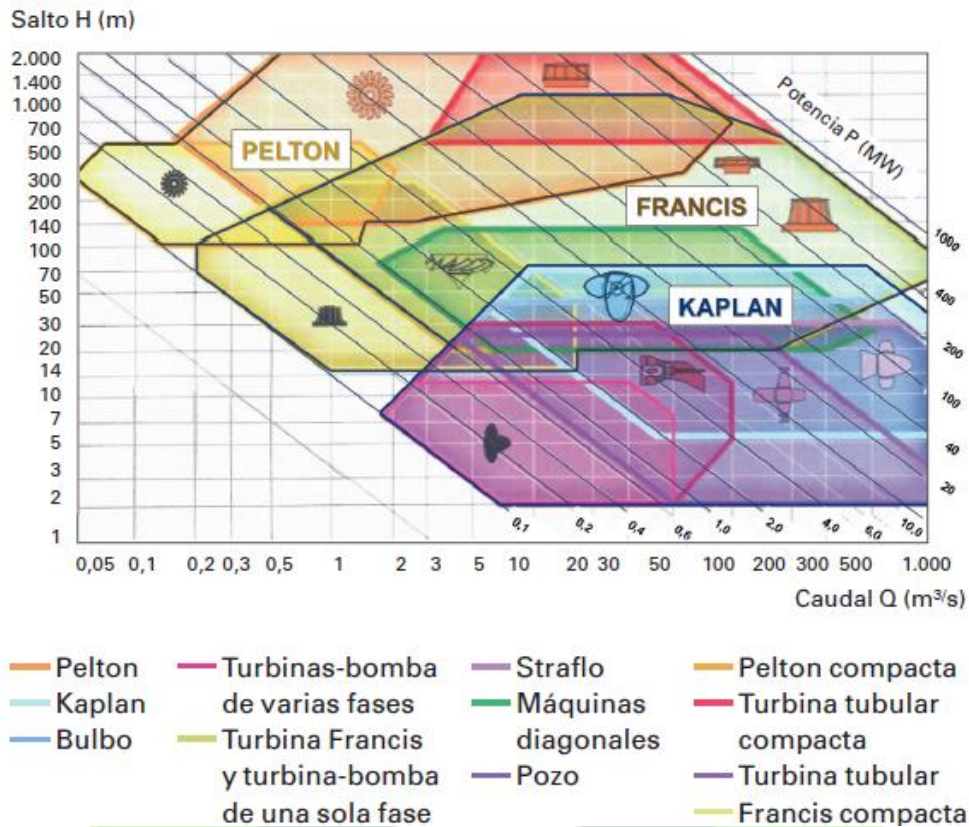


Estado actual de la técnica y tendencias

Resulta imposible acometer nuevos desarrollos de turbinas hidráulicas sin una simulación de flujos asistida por ordenador (dinámica de fluidos computacional, CFD por sus siglas en inglés) y sin los sofisticados programas de cálculo. Las simulaciones se emplean asimismo para la modernización de centrales hidroeléctricas existentes y también para el desarrollo de nuevos tipos de turbinas. Normalmente, las simulaciones CFD son bastante menos complejas que los ensayos basados en modelos, lo cual permite agilizar el desarrollo y la implantación de modelos hidráulicos menos costosos y de mayor calidad. Así, en los últimos años, gran número de los rodetes tipo Francis

se desarrollaron sólo por medios informáticos y su fabricación se realizó sin ensayos previos de otros modelos. Las simulaciones CFD también permiten llevar a cabo estudios de viabilidad para la modernización de instalaciones ya existentes.

Ámbito de aplicación de las turbinas hidráulicas



Aspectos técnicos del seguro Todo Riesgo Montaje

La construcción de una central hidroeléctrica a menudo requiere pólizas con una vigencia de hasta diez años. Durante este período de tiempo, la planta en fase de construcción está expuesta a numerosos riesgos.

Potencial de siniestros

Peligros naturales: daños provocados por inundación, incendios y explosiones.

Montaje de turbogeneradores: en muchas ocasiones, las casas de máquinas son largas y estrechas para que los grupos de turbogeneradores estén instalados unos junto a otros. Durante el montaje,

la grúa de la casa de máquinas levanta los componentes pesados destinados a las turbinas que se están montando, transportándolos sobre las unidades ya montadas.

Estas operaciones conllevan un riesgo de siniestro considerable.

Ensayo técnico no concluyente: un potencial de siniestros elevado se da también en los ensayos técnicos que consisten en poner a prueba por primera vez la interacción entre todos los componentes. En el marco de los ensayos, algunos operadores exigen someter a prueba la velocidad de embalamiento, lo cual entraña un riesgo particularmente alto dado que puede dejar completamente dañada una turbina.

Máquinas e instalaciones en cavidades subterráneas: aparte del riesgo de inundación y la elevada exposición a incendio, las máquinas instaladas en las cavidades subterráneas (cavernas) también corren el peligro de sufrir explosión en los transformadores. Por ello, durante las operaciones de prueba todas las medidas de prevención y sistemas de extinción de incendios deben estar en pleno estado operativo.

La cobertura del riesgo de un defecto de fábrica implica un acto de equilibrismo delicado entre técnica robusta y fabricación por unidades, donde pueden aparecer carencias en la calidad por diversas razones como, p.ej., la subcontratación. La tarificación ha de ser elaborada cuidadosamente y de forma individual en función del proyecto, y el suscriptor especializado debe tener amplios conocimientos en materia de ingeniería hidráulica y construcción de instalaciones industriales.

Pólizas usualmente recomendadas

Cuando se trata de asegurar la construcción de centrales hidroeléctricas, es recomendable aplicar los clausulados establecidos en las pólizas TRC y TRM, así como los de la póliza moderna CPI (seguro global de proyecto).

Aspectos técnicos del seguro de máquinas y explotación

Las centrales hidroeléctricas tienen una vida útil elevada de hasta 50 años.

Sin embargo, existen diversos potenciales de siniestros que influyen en esta duración de vida. En la práctica, **el 40% de los siniestros más frecuentes** se deben a **defectos de construcción y de montaje**, y el **31% a faltas en el mantenimiento y a errores operativos**.

Potencial de siniestros

Rotura de máquinas: el riesgo de sufrir una rotura de máquina es bastante elevado por la carga permanente y la creciente fatiga del material sometido a fuerzas dinámicas.

Daños en los cojinetes: en los turbogeneradores de gran tamaño, las importantes fuerzas radiales afectan los cojinetes. Muchas veces, incluso durante la construcción, se pasa por alto realizar un alineamiento exacto del rodete/estator. Estadísticamente, más o menos el 40% de los daños ocasionados a la explotación se debe a fallos de los cojinetes. Por ello es conveniente revisar permanentemente con instrumentos que miden la presión, la temperatura y las vibraciones en los cojinetes. Asimismo es esencial disponer de una bomba de aceite auxiliar que funcione, por cada unidad, y que se active automáticamente en caso de una despresurización.

Mécanismo de cierre defectuoso: si la turbina se abre o cierra demasiado rápido como consecuencia de un **fallo en la técnica de control**, se puede producir un golpe de ariete que causa un impacto extremadamente dinámico sobre los **conductos forzados**.

Vibraciones: la cavitación (implosión de las cavidades por golpes de ariete) o la turbulencia de estela pueden provocar fuerte vibraciones durante una operación a carga parcial. Por **"turbulencia de estela"** se entiende la formación de burbujas de vapor que se extienden desde el rodete de la turbina en dirección al flujo. La rotación del rodete de la turbina hace que la turbulencia de estela se mueva de forma irregular hacia delante y hacia atrás chocando con la pared del tubo de aspiración, lo cual puede provocar fuertes vibraciones. Por ello, el asegurador debería prestar atención de que existe una exclusión de erosión por cavitación.

Siniestros en serie: en una central hidroeléctrica dotada de un gran número de máquinas idénticas es aconsejable tener en cuenta el potencial de siniestros en serie, sobre todo si la póliza cubre el riesgo de pérdida de beneficios por interrupción operativa. Un mismo defecto de fábrica en bombas de aceite idénticas podría, por ejemplo, dejar paralizadas las operaciones de toda una central energética.

La calidad de riesgo de una central hidroeléctrica depende en primer lugar del mantenimiento y de la revisión técnica de la planta. Asimismo es recomendable recurrir a informaciones adecuadas para evaluar la protección contra incendios e inundaciones. Por otra parte, los informes de inspección han de revelar la siniestralidad de los últimos años e incluir, en lo posible, un plan mantenimiento así como una lista de máquinas y otros componentes clasificados según su antigüedad. También hay que comprobar las **medidas de seguridad en caso de incendio en las salas subterráneas de los transformadores.**

Interrupción operativa

La potencia instalada de las centrales hidroeléctricas suele llegar hasta 600 MW e incluso a valores más elevados en casos excepcionales (en el caso de Ituango, se espera que la potencia instalada alcance los 2.400 MW). En la interrupción operativa, es importante tener presente que, en muchos casos, las instalaciones son modelos particulares (en función del volumen de agua y de la altura de la caída), construidas lejos de zonas urbanas y, por lo tanto, difíciles de acceder. El beneficio de explotación representa la mayor parte de la suma asegurada, dado que los costes corrientes son relativamente bajos.

Potencial de las pérdidas de explotación

Parada de la planta: la paralización de una unidad puede ocasionar rápidamente una pérdida de producción sustancial y considerables daños financieros.

Por ello se debe establecer una franquicia temporal que cubra la duración de una reparación normal.

En el **caso de grandes siniestros, hay que contar con una pérdida máxima probable del 100%**, pues a veces, se tarda mucho tiempo en suministrar y montar los componentes. Nunca se debe asegurar el riesgo de pérdidas de beneficios por interrupción operativa sin un informe de inspección que especifique todas las piezas de recambio y posibilidades de reparación.



Juan Carlos Lancheros. P.E Mech, B.B.A, I.M.S, P.M.S, F.M.S, Cert CILA