

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA ENERGETICA SOSTENIBLE

TRABAJO FIN DE MÁSTER

REALIZACIÓN DE UN PLAN BÁSICO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UNA CENTRAL HIDRÁULICA Y ADAPTACIÓN DEL MISMO A UN CASO REAL

Estudiante *⟨Cano, Hazas, Jose Antonio⟩*
Directora *⟨Alegría, Gutiérrez, Natalia⟩*
Codirector *⟨Loroño, Lucena, Iñaki⟩*
Departamento *⟨Ingeniería Energética⟩*
Curso académico *⟨2020 -2021⟩*

Bilbao, 09, septiembre, 2021⟩

ÍNDICE

MEMORIA.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Objeto del proyecto.....	8
1.2. Alcance del proyecto.....	8
2. BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	9
2.1. Beneficios económicos.....	9
2.2. Beneficios sociales.....	10
3. ANTECEDENTES.....	11
4. ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	17
5. PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	19
5.1. Embalse.....	19
5.2. Presa.....	19
5.2.1. Presas de gravedad.....	20
5.2.2. Presas de bóveda.....	22
5.3. Toma de agua y compuerta.....	24
5.4. Rejilla y limpia-rejas.....	25
5.5. Tubería de conducción.....	26
5.6. Cámara de presión o chimenea de equilibrio.....	26
5.7. Tubería forzada.....	27
5.8. Casa de máquinas.....	29
5.8.1. Turbina hidráulica.....	30
5.8.2. Multiplicador de velocidad.....	37
5.8.3. Generador eléctrico.....	37
5.9. Transformador de tensión.....	39
5.10. Líneas de transporte eléctrico.....	40
5.11. Tubo de aspiración.....	41

5.12. Canal de desagüe	42
6. ITEMS A REVISAR PARA EL MANTENIMIENTO Y POSIBLES INCIDENCIAS EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	42
6.1. Embalse	42
6.2. Presa	43
6.3. Rejilla y limpia rejas	43
6.4. Compuertas y válvulas	43
6.5. Conducciones y tubería forzada	44
6.6. Turbina hidráulica	44
6.7. Alternador	44
6.8. Transformador	45
6.9. Canal de desagüe	45
6.10. Líneas de transporte eléctrico	45
7. JUSTIFICACION DE PROBLEMAS POR LOS QUE SE DEBEN REVISAR LOS DIFERENTES ÍTEMS PROPUESTOS	46
7.1. Embalse	46
7.2. Presa	48
7.3. Rejilla y limpia rejas	55
7.4. Compuertas y válvulas	56
7.5. Conducciones y tubería forzada	59
7.6. Turbina hidráulica	62
7.7. Alternador	67
7.8. Transformador	72
7.9. Canal de desagüe	75
7.10. Líneas de transporte eléctrico	76
8. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	79
8.1. Embalse	79
8.2. Presa	80

8.3.	Rejilla y limpia rejas.....	80
8.4.	Compuertas y válvulas	80
8.5.	Conducciones y tubería forzada	81
8.6.	Turbina hidráulica.....	81
8.7.	Alternador	82
8.8.	Transformador	82
8.9.	Canal de desagüe	83
8.10.	Líneas de transporte eléctrico	83
9.	ADAPTACIÓN DEL PLAN A UN CASO REAL (Central hidroeléctrica de Sollano) .	84
9.1.	Descripción de la Central de Sollano	84
9.1.1.	Situación geográfica de la central.....	84
9.1.2.	Descripción de los elementos de la central.....	85
9.2.	Adaptación del plan de mantenimiento a la central de Sollano.....	90
9.3.	Medios humanos y organigrama	92
9.4.	Herramientas y repuestos.....	93
9.5.	Plan de seguridad y salud	95
9.6.	Controles de calidad y auditorias.....	95
9.7.	Plan de auscultación e inspección	95
10.	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO (DIAGRAMA DE GANTT)	97
11.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	98
12.	CONCLUSIONES	99
13.	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS.....	110
	ANEXO INFORMÁTICO 1: PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL.....	110
	ANEXO INFORMÁTICO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL DE SOLLANO	110
	ANEXO 3: NORMATIVA DEL TRABAJO	110

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Evolución de la demanda energética en España. [4]	12
Imagen 2. Estructura de la generación eléctrica en el primer trimestre de 2021. [4].....	12
Imagen 3. Central hidroeléctrica de agua fluyente. [5].....	14
Imagen 4. Central hidroeléctrica de regulación. [6]	15
Imagen 5. Central hidroeléctrica de bombeo. [7]	16
Imagen 6. Esquema de las partes de una central hidroeléctrica. [13].....	18
Imagen 7. Presa de gravedad. [10].....	21
Imagen 8. Presa de escollera. [10].....	21
Imagen 9. Presa de gravedad. [10].....	22
Imagen 10. Presa de contrafuertes. [10]	22
Imagen 11. Presa de bóveda. [10]	23
Imagen 12. Presa de arcos múltiples. [10].....	23
Imagen 13. Toma de agua y compuerta de una central. [19].....	25
Imagen 14. Tubería de conducción de central hidroeléctrica. [22]	26
Imagen 15. Diferentes ubicaciones para una chimenea de equilibrio. [21].....	27
Imagen 16. Diámetro de la tubería forzada en función del caudal. [18].....	28
Imagen 17. Espesor de la tubería forzada en la sección inferior en función del salto de agua y del diámetro. [18].....	29
Imagen 18. Turbina Pelton. [23].....	31
Imagen 19. Rendimiento de turbina Pelton. [18]	32
Imagen 20. Turbina Francis. [23]	33
Imagen 21. Rendimiento de turbina Francis. [18].....	34
Imagen 22. Turbina Kaplan. [23].....	35
Imagen 23. Rendimiento turbinas Kaplan, Semikaplan y Hélice. [18].....	35
Imagen 24. Comparación del rango de trabajo de los tipos de turbinas. [23].....	36
Imagen 25. Generador eléctrico en central hidroeléctrica. [24].....	38
Imagen 26. Transformador eléctrico de alta potencia. [25]	40
Imagen 27. Línea de transporte eléctrico. [26]	41
Imagen 28. Deposición de sedimentos en un embalse. [27]	47
Imagen 29. Principales cargas sobre una presa de gravedad. [33]	51
Imagen 30. Inyector y aguja. [41]	63

Imagen 31. Cojinete de una turbina. [43]	64
Imagen 32. Erosión por cavitación en los alabes de turbina. [45]	65
Imagen 33. Termografía de un transformador. [50].....	73
Imagen 34. Torre de alta tensión derribada debido a las inclemencias meteorológicas. [58].....	77
Imagen 35. Ubicación del embalse y presa de Ordunte. [60]	85
Imagen 36. Embalse de Ordunte. [62].....	86
Imagen 37. (Izq.) Presa de Ordunte. (Dcha.) Principales datos de la presa. [59, 64].....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tareas de la planificación del proyecto.....	97
Tabla 2. Diagrama de Gantt del proyecto	98
Tabla 3. Coste horario del proyecto.....	99
Tabla 4. Coste amortización de bienes del proyecto.....	99
Tabla 5. Costes totales del proyecto.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama del personal necesario para el mantenimiento.....	93
---	----

RESUMEN

Resumen

En este trabajo de fin de master se ha basado en el análisis de equipos de una central hidroeléctrica tipo para mediante ello realizar un plan básico de mantenimiento preventivo.

Para ello se ha realizado la descripción de cada una de las partes de una central, para posteriormente detectar y definir los puntos sobre los que incidir con los trabajos de mantenimiento. Mediante los cuales se ha elaborado el plan de mantenimiento anual, organizando cada uno de ellos de manera equitativa a lo largo del año según su periodicidad.

Por último, se ha adaptado dicho plan general a un caso real, acoplándolo a la central hidroeléctrica de Sollano, ubicada a pie de presa del embalse de Ordunte.

Palabras clave: Central hidroeléctrica, Plan de mantenimiento, Turbina, Embalse, Alternador, Sollano.

Laburpena

Master-amaierako lan honetan, eredu gisa hautatu den zentral hidroelektriko bateko ekipoak aztertu dira. Behin ekipoen analisisia egin delarik, oinarrizko mantentze-plan prebentiboa burutu da.

Horretarako, zentral baten atalak deskribatu dira. Honela, mantentze-lanak zein ataletan burutu behar diren identifikatu da. Horren arabera, urteko mantentze plan antolatu bat definitu da, mantentze lanak urtean zehar era ekitatiboan antolatuz eta aldizkakotasunaren arabera ezarriz.

Azkenik, plan mantentze-plan orokorra, kasu erreal batera egokitu da. Esaterako, Ordunteko urtegiaren presaren ondoan dagoen Sollanoko zentral hidroelektrikora aplikatuz.

Hitz gakoak: zentral hidroelektrikoa, mantentze-plana, turbina, urtegia, alternadorea, Sollano

Abstract

This final master project (master's thesis) is based on the equipment analysis of a model hydroelectric plant. This analysis allows to establish and develop a basic preventive maintenance plan.

To achieve this aim, a detailed description of each part of the plant was carried out. Then, the target points were detected and defined to apply them the maintenance tasks. Based on these target points, the annual maintenance plan was elaborated, arranging each one in a equitable way depending on its periodicity throughout the year.

Finally, this plan was adapted to a real case, coupling it to Sollano hydroelectric plant. This plant was located nearby Ordunte reservoir dam.

Key words: Hydroelectric plant, maintenance plan, turbine, reservoir, alternator, Sollano

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto del proyecto

El objeto principal de este trabajo de fin de master es la realización de un plan básico de mantenimiento preventivo de centrales eléctricas, realizando para ello el correspondiente análisis de los equipos a los que afecta dicho plan.

También se ha trabajado la opción de la adaptación del plan de mantenimiento realizado a un caso real, acoplándolo y modificándolo para adaptarlo a la Central hidroeléctrica de Sollano, ubicada a pie de presa del embalse de Ordunte en el valle de Mena (Burgos).

1.2. Alcance del proyecto

En el presente trabajo de fin de master se ha realizado la descripción detallada de todas las partes y componentes de una central hidroeléctrica a modo general; comenzando desde el embalse y la presa, pasando por los componentes de más peso como la turbina, el alternador y el transformador, para terminar con el canal de desagüe o las líneas de transporte eléctrico.

Se ha realizado también un análisis de todas las partes y equipos anteriormente nombrados, estudiando los principales puntos o ítems sobre los que incidir con el mantenimiento en cada uno de ellos, para posteriormente explicar la forma en la que incidir y en que debe consistir cada uno de los trabajos de mantenimiento sobre cada componente de la central.

Una vez hecho esto se ha realizado un plan de mantenimiento preventivo genérico para las centrales hidroeléctricas, para ello se ha dado una periodicidad a cada uno de los trabajos y se han dispuesto en un calendario anual, tratando de organizar los trabajos de manera equitativa a lo largo del año.

Por último, se ha realizado la adaptación del plan general de mantenimiento a la central de Sollano, ubicada a pie de presa del embalse de Ordunte, para lo cual se ha readaptado el plan en base a las necesidades de la misma, reelaborando dicho plan y calendario anual de mantenimiento preventivo.

Y para finalizar, se ha elaborado un presupuesto de la realización de dicho plan así como una planificación de la elaboración del mismo, representando esta última en un diagrama de Gantt.

2. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Una vez conocidos el objetivo y el alcance, en este apartado se van a describir los beneficios que aporta la realización del proyecto, los cuales se han dividido en beneficios sociales y económicos.

2.1. Beneficios económicos

Por lo que respecta a los beneficios económicos de realizar mantenimiento frente a no realizarlo, los primeros son considerablemente notables a los segundos.

Para ello se van a establecer ciertos valores económicos tales como el costo de mantenimiento, el precio de venta de energía, el número de horas de parada debido a paradas forzadas y las pérdidas económicas por paradas forzadas medias; para posteriormente mediante un sencillo calculo obtener los beneficios que aportaría realizar mantenimiento.

Primero, se podría afirmar que según ciertos estudios el coste de mantenimiento en centrales hidroeléctricas se encuentra en torno a 1,2 € / MWh. Segundo, el precio de venta de la electricidad medio es de en torno a 45€ / MWh. Tercero, se podría establecer que el porcentaje de horas en las que la central está parada por razones forzadas no programadas en las que la central

podría estar trabajando, es de entorno a un 6 % para centrales menores de 30 MW de potencia instalada.

Por lo que una central de 2 MW de potencia instalada como la central de Sollano estudiada en este proyecto, la central permanecería parada un total de 526 h debido a paradas forzadas no programadas (averías), en las cuales la central dejaría de estar generando 526 MWh, los cuales podrían ser vendidos a la red a un precio de 45€ / MWh, por lo tanto se estarían dejando de ganar en torno a 23.640 €.

Es decir si mediante la aportación de este mantenimiento se consiguiese reducir estas paradas forzadas no programadas prácticamente al completo se estarían ganando unos 24 mil € extras mediante los 526 MWh de nueva generación.

Por el contrario el coste de mantenimiento anual sería de 10512 €, por lo que es muy inferior al dinero que se dejaría de ganar debido a las paradas forzadas no programadas debidas a averías. [1 y 2]

2.2. Beneficios sociales

En cuanto a los beneficios sociales que genera la realización de un buen mantenimiento en una central podemos destacar varios.

Primero, la realización de mantenimiento en la central le aporta un menor número de fallos y por tanto un menor riesgo de accidentes que puedan riesgos potenciales tanto como para los trabajadores de la misma central como para los habitantes de las poblaciones más cercanas si se llegase a producir un accidente de mayor envergadura, por lo que se mejoraría notablemente la seguridad de la central, y por ello el número de accidentes laborales, aportando una mayor confianza a trabajadores y familias.

Segundo, al realizar mantenimiento en la central sería necesario contratar a mano de obra para realizar este, por lo que se crearían una serie de puestos de trabajo, lo que generaría una nueva fuente de ingresos para las familias del entorno, además de aportar una mayor riqueza a la localidad.

Por último, la realización de mantenimiento aportaría a la central una mayor productividad, traducida en mayores tiempos de funcionamiento al evitar el número de paradas por avería, al reducirse estas notablemente gracias al mantenimiento preventivo. [3]

3. ANTECEDENTES

Tal y como se conoce desde hace años la política energética está sufriendo importantes cambios en su orientación, apostando fuertemente por un mix energético futuro, el cual se base en las energías renovables como pilar principal. Esto se debe a que los recursos fósiles que utilizan las energías convencionales son reservas finitas y producen contaminación en su proceso de transformación a energía eléctrica, mientras que las energías renovables son energías limpias e inagotables.

Además, esta línea a seguir viene fomentada también por la tendencia ascendente de la demanda energética, la cual afecta al cambio de política energética que debido a esta demanda se necesita una mayor producción de energía, la cual debe ser enfocada hacia el lado de las energías limpias debido al efecto invernadero o los cuales deben ser respetados.

Esta evolución de la demanda energética se muestra a continuación en el siguiente gráfico, en el cual se puede ver un aumento del 3,8% de la misma en un año, tras corregir la demanda en función del tiempo y del calendario.

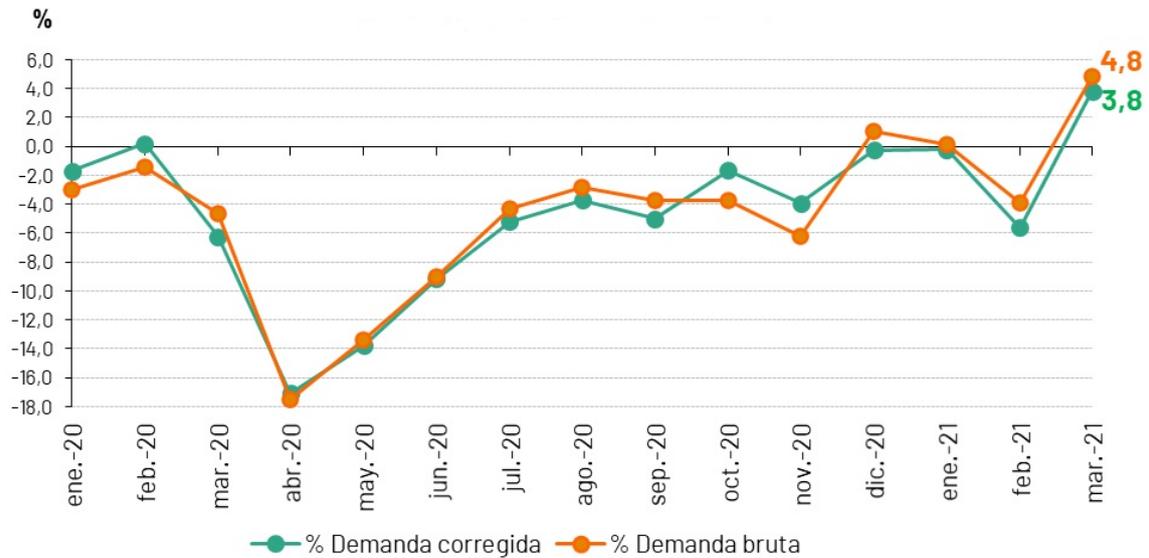


Imagen 1. Evolución de la demanda energética en España. [4]

Debido a las razones indicadas anteriormente una de estas energías renovables que más importancia ha cobrado en este marco energético actual y en la que se va a enfocar este proyecto, es la energía hidráulica, la cual ha adquirido un peso importante en el mix, llegando a representar casi el 20% de la generación en el primer trimestre del año 2021, tal y como se muestra en el siguiente gráfico.

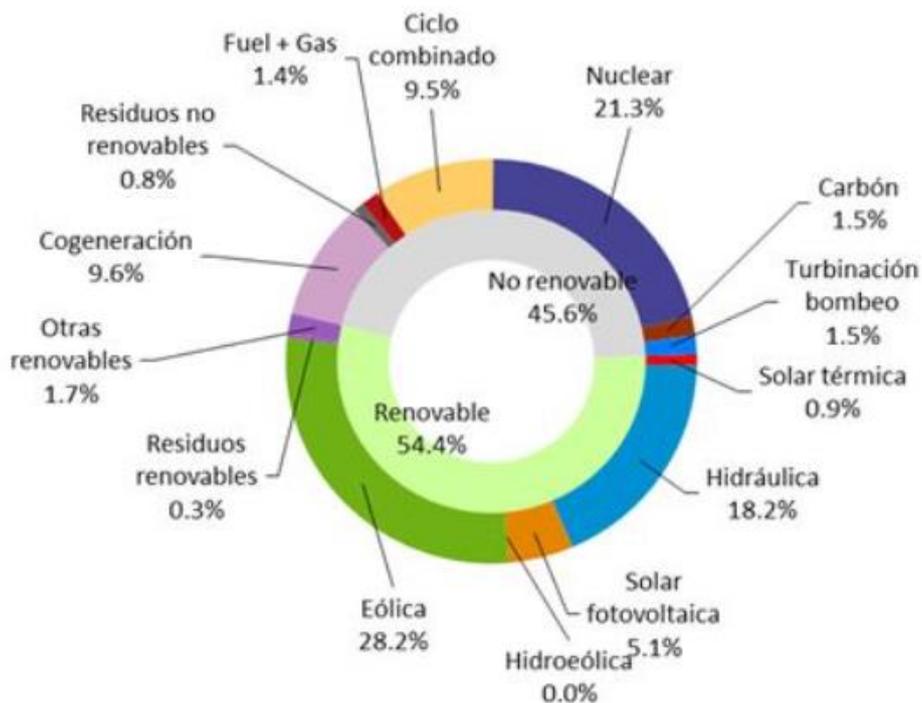


Imagen 2. Estructura de la generación eléctrica en el primer trimestre de 2021. [4]

La elección de esta energía entre otras, para sustituir a las energías que utilizan combustibles fósiles se deben, por un lado, a que la energía hidráulica no produce ningún tipo de residuo, no realiza gasto de combustible empleado, siendo este el agua, ni tampoco empeora su calidad. Ya que lo único que se realiza es un aprovechamiento de la energía cinética del agua a su paso por la central hidroeléctrica.

Y por otro lado, no se debe olvidar que la energía hidráulica permite el almacenamiento de la energía, esto se debe a que se pueden contener grandes masas de agua reteniéndolas con una barrera artificial tal como una presa reteniendo a su vez la energía potencial contenida en esa masa de agua, estando esta energía almacenada en esa masa de agua hasta el momento en el cual, quiera ser utilizada, mismo instante en el cual sería transformada en energía eléctrica mediante la central hidroeléctrica e inyectada a la red.

Esta energía contenida en el agua como se acaba de citar en el párrafo anterior se aprovecha en una central hidroeléctrica la cual aprovecha la energía potencial del agua almacenada en un embalse, haciéndola pasar por una turbina acoplada a un generador eléctrico, para así transformar la energía cinética del agua en energía mecánica a su paso por la turbina y posteriormente en energía eléctrica en el generador eléctrico.

Posteriormente esta energía eléctrica pasara por un transformador para elevar su tensión y poder inyectarla a la red.

En función del tipo de aprovechamiento energético del agua, las centrales hidroeléctricas se clasifican en:

- **Centrales de agua fluyente:**

Este tipo de centrales no cuentan con embalse, turbinan el agua que circula por el cauce del río a su paso por la central. Para ello, suelen tener un pequeño muro o presa llamada azud que desvía cierta cantidad de agua para utilizarla en la central hidroeléctrica. A su vez estas centrales pueden estar ubicadas directamente en el azud o contar con un canal de derivación para así desviar el

agua del cauce del río por dicho canal, proporcionándole una cierta pendiente con la finalidad conseguir un salto de agua un poco más interesante.

Destacar por último que este tipo de centrales tiene la desventaja de ser variables en función de las estaciones del año, aportando su máxima generación en las épocas lluviosas y trabajando a valores mínimos en el solsticio de verano. Debido a esto, y a su menor coste de construcción y mantenimiento este tipo de configuración suele ser implementada principalmente por las centrales de pequeño tamaño, hasta 30 MW.

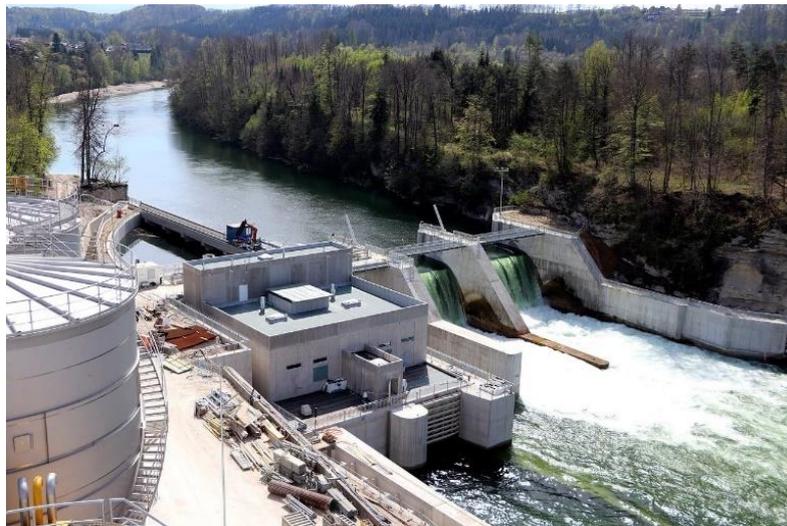


Imagen 3. Central hidroeléctrica de agua fluyente. [5]

- **Centrales de agua embalsada o de regulación:**

Este tipo de centrales cuentan con la particularidad de que disponen de un embalse crea a partir de la construcción de una presa. Esto les permite almacenar grandes volúmenes de agua y poder utilizarla en los momentos específicos que se requiera, es decir permite una cierta regulación del caudal según la voluntad humana o según las necesidades del momento. Suelen ser centrales de mayor tamaño que las de agua fluyente llegando a alcanzar órdenes de magnitud superiores a los 500 MW.

A su vez este tipo de centrales tiene más finalidades asociadas, ya que además de la producción de energía, el agua embalsada se puede utilizar para el abastecimiento industrial, el abastecimiento agrario (regadío), o incluso para evitar crecidas o avenidas en los cauces de los ríos.

Al igual que en el tipo anterior estas centrales pueden estar construidas a pie de presa o contar con un canal de derivación o tubería forzada para obtener un mayor desnivel aprovechable.



Imagen 4. Central hidroeléctrica de regulación. [6]

- **Centrales de acumulación por bombeo:**

Estas centrales se caracterizan principalmente por contar con 2 embalses de agua uno situado a una cota superior a la central y otro situado a una cota inferior. La central opera trasvasando agua de un embalse al otro, haciendo el recorrido desde el embalse de arriba hacia el de abajo, turbinando el agua, cuando la demanda de energía es máxima (horas punta), por lo que su precio es elevado. Y realizando el recorrido inverso, consumiendo energía para bombear el agua, cuando la demanda de energía es mínima (horas valle) y el precio de esta el mínimo.

Este tipo de centrales pueden ser de 2 tipos centrales de bombeo puras, en las que el embalse superior solo recibe agua mediante el bombeo, o centrales de bombeo mixtas en las que el embalse superior recibe agua de otros medios además del bombeo.



Imagen 5. Central hidroeléctrica de bombeo. [7]

Una vez tratada la energía hidroeléctrica en general, si se realiza un enfoque hacia el mantenimiento a realizar en este tipo de centrales producción energética.

Este mantenimiento es un factor altamente importante ya que mejora la vida útil de las centrales y aumenta el tiempo de operación de las mismas, debido a que se consigue reducir sustancialmente las averías y por tanto paradas forzosas en las centrales, aportando la ventaja de poder realizar ciertas paradas programadas en los periodos de baja demanda para así poder aumentar la fiabilidad de operación en los momentos necesarios, asegurando un correcto funcionamiento.

Algo que se quiere buscar a toda costa ya que como se ha visto anteriormente la energía hidroeléctrica llega a representar el 20% de la generación del país. Por lo que se debe buscar mantener las instalaciones el máximo tiempo posible y en las condiciones adecuadas y seguras de operación, algo que se consigue mediante el mantenimiento de estas tal y como se ha indicado.

Lo que hoy en día se conoce como mantenimiento, definiendo mantenimiento como **“la combinación de todas las acciones técnicas administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida”** (UNE-EN 13306:2011), y entendiendo como función requerida a **“la función o**

combinación de funciones de un elemento que se consideran necesarias para proporcionar un servicio dado” (UNE-EN 13306:2011), comenzó a forjarse en torno a los años 50, en los cuales se empezó a ver que realizando una serie de trabajos y tareas de revisión, reparación, sustitución y ajuste en los equipos y máquinas de trabajo se conseguía un mejor y más longevo funcionamiento. Fue a partir de los años 70 con la mecanización y automatización de las grandes industrias cuando el mantenimiento cobro un papel esencial, aumentando la periodicidad de este y el tiempo de las paradas para su realización.

Desde esa época hasta la actualidad se este grado de relevancia se ha mantenido incluso se ha reforzado implantando y desarrollando distintos métodos y programas de mantenimiento. Llegando a observar que por ejemplo centrales eléctricas construidas en su momento con una vida útil programada de 50 años ya van camino de alcanzar los 100 años de operación, algo que sería imposible sin realizar estas labores, viendo por tanto que es esencial. [8, 9 ,10, 11, 12]

4. ESQUEMA DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

A continuación, se muestra el esquema tipo de una central hidroeléctrica en el que se pueden distinguir los principales componentes de la central, los cuales serán explicados en el apartado **5.PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.**

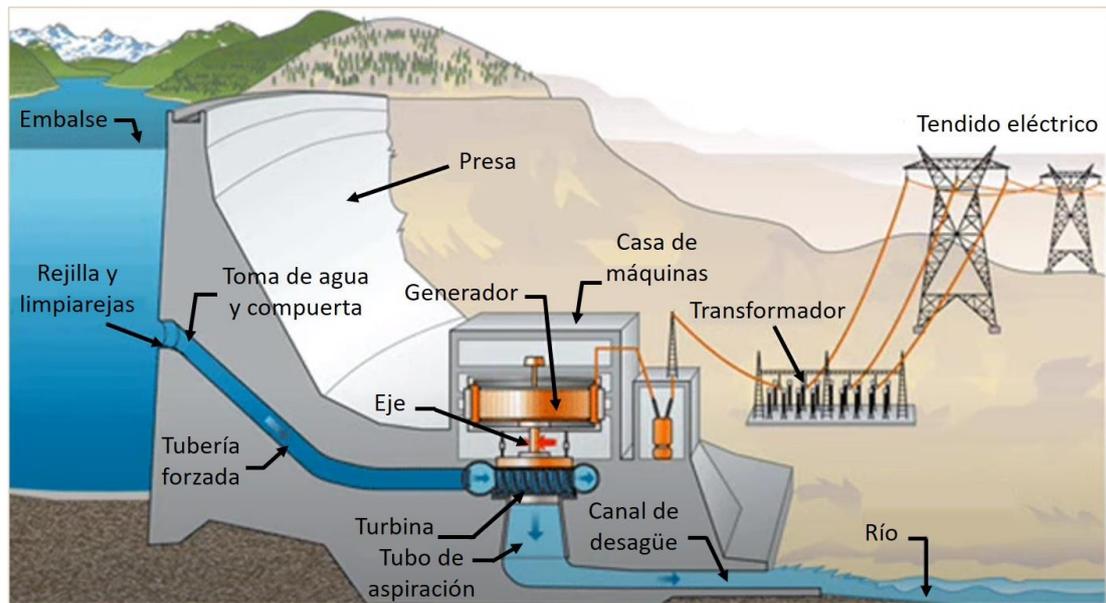


Imagen 6. Esquema de las partes de una central hidroeléctrica. [13]

El funcionamiento de una central tipo como la representada en la figura anterior sería de la siguiente manera: en el cauce de un río se realiza una construcción artificial denominada presa, la cual almacena una cierta cantidad de agua y aguas arriba de la misma creando un embalse, es decir almacena una cierta cantidad de energía potencial contenida en esta agua en reposo debido al salto de agua generado. En la estructura de la presa se realiza una toma de agua protegida con una rejilla y un limpia rejás, para facilitar la entrada de agua a la tubería forzada mediante una compuerta, encargada de abrir y cerrar el paso del agua. Mediante la tubería forzada se transporta el agua desde la presa hasta el edificio de la central, adquiriendo el agua velocidad y por tanto energía cinética a lo largo de la misma. En el edificio de la central se halla la turbina, sobre la cual incidirá el agua y la hará girar, transformando la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación, devolviendo el agua al cauce del río mediante el canal de desagüe. La turbina se encuentra acoplada mediante el eje al generador, el cual girará, por tanto, transformando la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. Dado que el generador reduce una corriente eléctrica a media tensión y alta intensidad esta se debe transformar a corriente de alta tensión y baja intensidad mediante el transformador, para reducir de esta manera las pérdidas en el transporte de esta energía eléctrica, transporte el

cual se realizará mediante la red de transporte de alta tensión hasta los puntos de consumo, donde podrá ser utilizada. [14]

5. PARTES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En este apartado se va a realizar una descripción de todos los componentes que forman una central hidroeléctrica.

5.1. Embalse

Un embalse es un almacenamiento de agua estancada creado de forma artificial, suele estar cerrado en uno de sus extremos por una presa o dique el cual cierra la salida de agua, permitiendo de este modo el almacenamiento del agua recogida de un río.

El agua almacenada en estos embalses puede tener diferentes finalidades de uso, tales como, el regadío, el abastecimiento de agua para consumo, la generación de energía o actividades de ocio (pesca deportiva o baño).

Se debe destacar, que durante la construcción de los embalses es necesario mover grandes cantidades de tierra e inundar una superficie de tierra extensa, lo que supone un gran impacto sobre el ecosistema del entorno. Pudiendo crear incluso alteraciones sobre las condiciones climáticas del entorno, alterando por ejemplo el régimen de precipitación, debido a la presencia de esta gran masa de agua. [8, 15, 16]

5.2. Presa

La presa hidráulica es la estructura la cual permite retener y almacenar grandes cantidades de agua en el embalse. Se diseñan para soportar altas presiones atendiendo a las condiciones de construcción, y la cantidad de agua a almacenar, entre otros factores. Estas se pueden construir de cemento,

hormigón armado u otros materiales cuyas características sean adecuadas para el almacenamiento de agua.

Todas las presas cuentan con aliviaderos y elementos de evacuación de agua, los cuales tienen la misión de liberar parte del agua retenida o embalsada evitando su paso por la sala de máquinas. Estos aliviaderos permiten el paso del agua desde el embalse hasta el cauce del río, aguas abajo, evitando de este el peligro de las avenidas, que pueden provocar una subida del nivel del agua en el embalse pudiendo incluso sobrepasar el máximo permitido. Por otro lado, las presas también cuentan con las correspondientes compuertas y tomas de agua, utilizadas para la captación del agua para fines energéticos, que se explicaran más adelante.

En cuanto a los tipos de presas se pueden clasificar en presas de gravedad y presas de bóveda en función de su forma de trabajo. Las cuales se van a describir a continuación. [10, 15, 17]

5.2.1. Presas de gravedad

En estas presas el par de vuelco que se produce por el empuje que ejerce la masa de agua sobre la superficie de contacto de la presa se contrarresta con la fuerza de reacción generada sobre la presa por el suelo. Es decir, la estabilidad de este tipo de presas se basa en el propio peso de esta y el esfuerzo del propio terreno sobre el que se encuentra construida. (Ver Imagen 7)

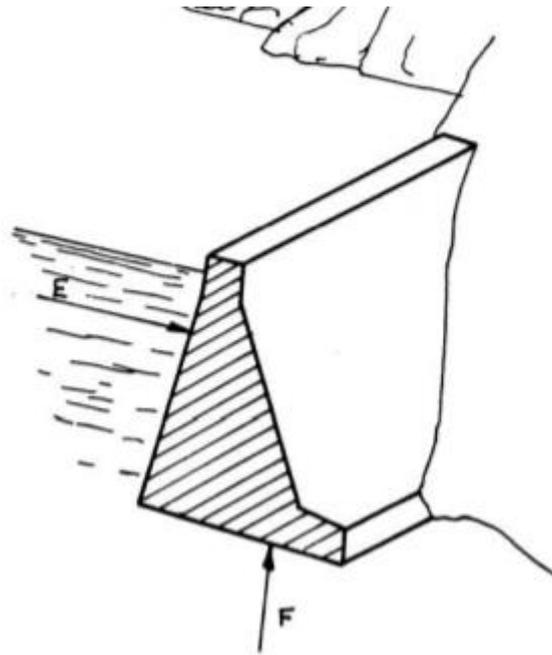


Imagen 7. Presa de gravedad. [10]

Este tipo de presas se dividen en 3 subgrupos, los cuales se describirán a continuación:

1. Presas de tierra o escollera: Este tipo de presas presentan una gran base y una altura reducida. Se construyen mediante diversos materiales, siendo unos impermeables y otros estructurales. Este tipo de presas son adecuadas para utilizarlas en valles de poca pendiente con terrenos poco consistentes (Ver Imagen 8).



Imagen 8. Presa de escollera. [10]

2. Presas de gravedad: Estas presas están construidas de grandes masas de hormigón y son adecuadas para utilizarlas en terrenos compactos y consistentes (Ver Imagen 9).

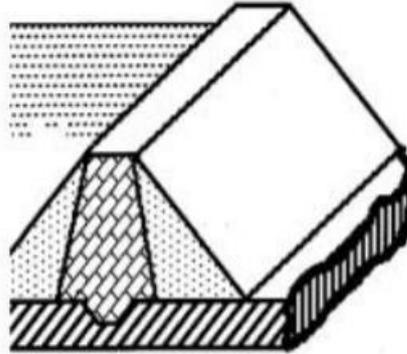


Imagen 9. Presa de gravedad. [10]

3. Presas de contrafuertes: Estas presas son muy similares a las anteriores, la diferencia es que para tratar de reducir el volumen de hormigón a utilizar se dispone de una serie de pantallas de hormigón apoyadas sobre los contrafuertes, los cuales son los encargados de transmitir el esfuerzo al suelo (Ver Imagen 10).

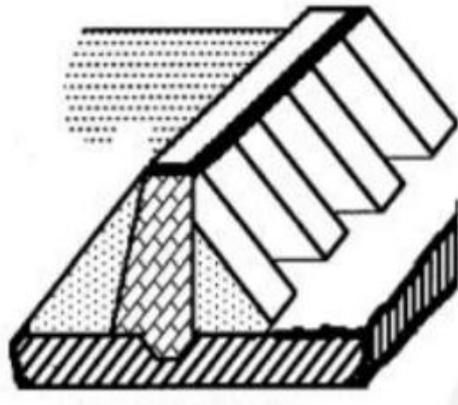


Imagen 10. Presa de contrafuertes. [10]

5.2.2. Presas de bóveda

Este tipo de presas se basan en la construcción en forma de arco, forma la cual permite a la estructura resistir el empuje del agua del embalse cediendo este empuje sobre los laterales del embalse o riberas propiamente dicho.

La estructura de estas presas se caracteriza como ya se ha dicho por estar construida en forma de bóveda convexa orientada hacia el embalse y cuyo espesor aumenta desde la base hacia la coronación del dique (Ver Imagen 11).

Son presas idóneas para valles estrechos que presentan unos laterales de material rocoso y compacto.

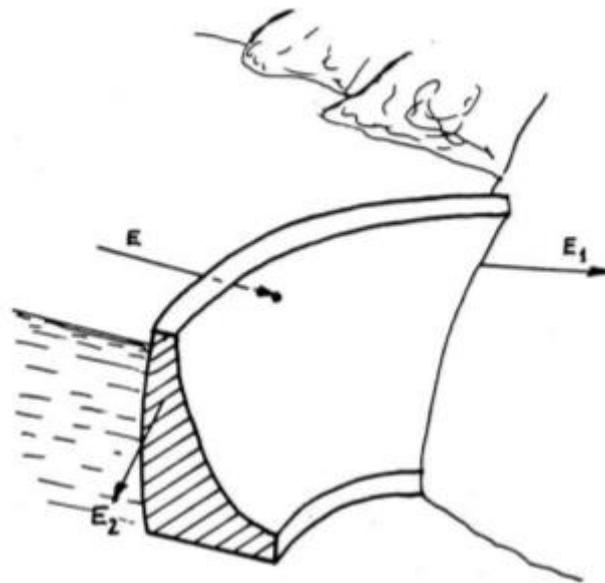


Imagen 11. Presa de bóveda. [10]

Dentro de este grupo de presas de bóveda, encontramos también las presas de arcos múltiples, cuyo fundamento es similar a las presas de contrafuertes, a diferencia de que los contrafuertes están unidos por bóvedas (Ver Imagen 12).

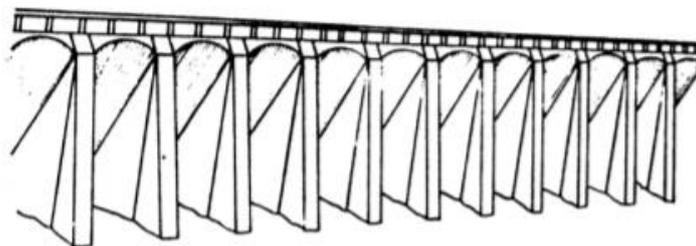


Imagen 12. Presa de arcos múltiples. [10]

Y por otro lado, también existen las presas mixtas que no son otra cosa que una mezcla entre las presas de bóveda y las de gravedad, las cuales ofrecen la ventaja de que el empuje del agua se reparte entre el suelo y las riberas de la presa.

5.3. Toma de agua y compuerta

La toma de agua es una estructura que se construye en la presa para permitir la entrada de agua desde el embalse o río hacia la tubería forzada, y suele ser un ensanchamiento a la boca de la misma tubería. Es importante construir esta obra de tal manera que las pérdidas de carga al paso del agua por la misma sean mínimas.

Generalmente esta toma de agua suele contar con una rejilla y limpia rejas componente que se describirá en el siguiente apartado, 5.4 Rejilla y limpia-rejas.5.4 Además también suele tener acoplada una compuerta.

En cuanto a este último elemento, la compuerta es el elemento encargado de regular el caudal de agua que llega a la central, suele estar ubicada cerca de la obra de toma a continuación de la rejilla. Se conforma de una plancha de acero de cierta geometría en función del tipo de compuerta que se instale en la central. Pueden ser:

- Compuertas de movimiento vertical, cuyo movimiento es de sube y baja guiado por unas ranuras reforzadas.
- Compuertas movimiento circular, cuyo movimiento es giratorio entorno a un eje.
- Compuertas de sector, cuyo movimiento es de arriba hacia abajo permitiendo verter el agua por encima de la compuerta. [8, 10, 18]



Imagen 13. Toma de agua y compuerta de una central. [19]

5.4. Rejilla y limpia-rejas

Aunque la función de la rejilla no actúa directamente sobre el funcionamiento de la central es un elemento muy necesario, ya que será la encargada de evitar que se cuelen cuerpos u objetos de cierto tamaño (ramas, troncos, piedras, objetos plásticos o animales) a la tubería de conducción y posteriormente lleguen a la turbina pudiendo causar daños irreparables en los alabes y el rodete de la misma. Normalmente se suele fabricar de acero inoxidable o en su caso galvanizado de una cierta dureza y con una separación entre barrotes muy pequeña para poder filtrar el máximo tamaño de elementos.

A su vez la rejilla cuenta con otro dispositivo automático, conocido como limpia rejillas el cual será el encargado de retirar los objetos que se hayan quedado retenidos a la boca de la rejilla. Este dispositivo automático se activará cada cierto tiempo mediante un motor eléctrico controlado por una serie de sensores, manteniendo así la rejilla continuamente despejada facilitando así el acceso de agua a la central. [15, 20]

5.5. Tubería de conducción

Este elemento es se trata de una canalización encargada de conducir el agua desde la obra de toma hasta la cámara de presión o chimenea de equilibrio, desde donde parte la tubería forzada hasta las turbinas.

Se debe destacar que no siempre se usa este elemento en la construcción de centrales, debido a que en algunas ocasiones la tubería forzada es la que parte desde la obra de toma hacia las turbinas, contando con una chimenea de equilibrio para descargar las sobrepresiones a la que se ve sometida, tal y como se explicara a continuación. [10, 12, 21]



Imagen 14. Tubería de conducción de central hidroeléctrica. [22]

5.6. Cámara de presión o chimenea de equilibrio

La chimenea de equilibrio o cámara de presión tal y como ya se ha nombrado es el elemento encargado de minimizar las sobrepresiones producidas en las tuberías a presión debido al golpe de ariete producido por la apertura y cierre de las compuertas.

La geometría de estos elementos se trata de un pozo vertical en forma de chimenea tal y como su nombre indica, abierto por la parte superior y asentado sobre la tubería forzada por la parte inferior. Este pozo cuenta con un cierto nivel de agua igual el cual al producirse un golpe de ariete oscila en el interior de

este, debido a que la onda expansiva creada siente menos resistencia en esa parte de la tubería forzada y se actúa en ese punto

La ubicación de estas chimeneas puede ser, por un lado, aguas arriba de la central bien en la unión entre la tubería de conducción y la tubería forzada, o en la propia tubería forzada en el caso de no contar con tubería de conducción. O por otro lado aguas debajo de la central, ubicándola en el tubo de aspiración en su zona cercana al canal de desagüe. [8, 14, 21]



Imagen 15. Diferentes ubicaciones para una chimenea de equilibrio. [21]

5.7. Tubería forzada

Es la tubería a presión encargada de transportar el agua desde la propia toma de agua o desde la cámara de carga, hasta la turbina, debe estar diseñada para ser capaz de soportar la presión ejercida por la columna de agua, además de poder ser capaz de soportar la presión ejercida al cerrar o abrir las compuertas (golpe de ariete), aunque también suele contar con una chimenea de equilibrio para descargar parte de estas sobrepresiones si el salto de agua es mayor de 15m, tal y como se ha indicado en el anterior apartado.

Esta tubería puede ir soterrada o por el contrario puede ir al aire libre anclada al terreno mediante soportes y anclajes de acero. En cualquiera de estos casos debe contar con la instalación de juntas de dilatación para facilitar los cambios en la tubería debido a las variaciones de temperatura.

Los materiales utilizados generalmente para la construcción de la misma suelen ser acero, fibrocemento o plástico reforzado con fibra de vidrio.

En cuanto al diámetro de la tubería este se calcula en función del caudal de agua que va a transportar, y en cuanto al diámetro este es dependiente tanto del diámetro como del salto de agua, y se calculan utilizando las gráficas que se muestran a continuación obtenidas de la referencia [18]. [8, 12, 18]

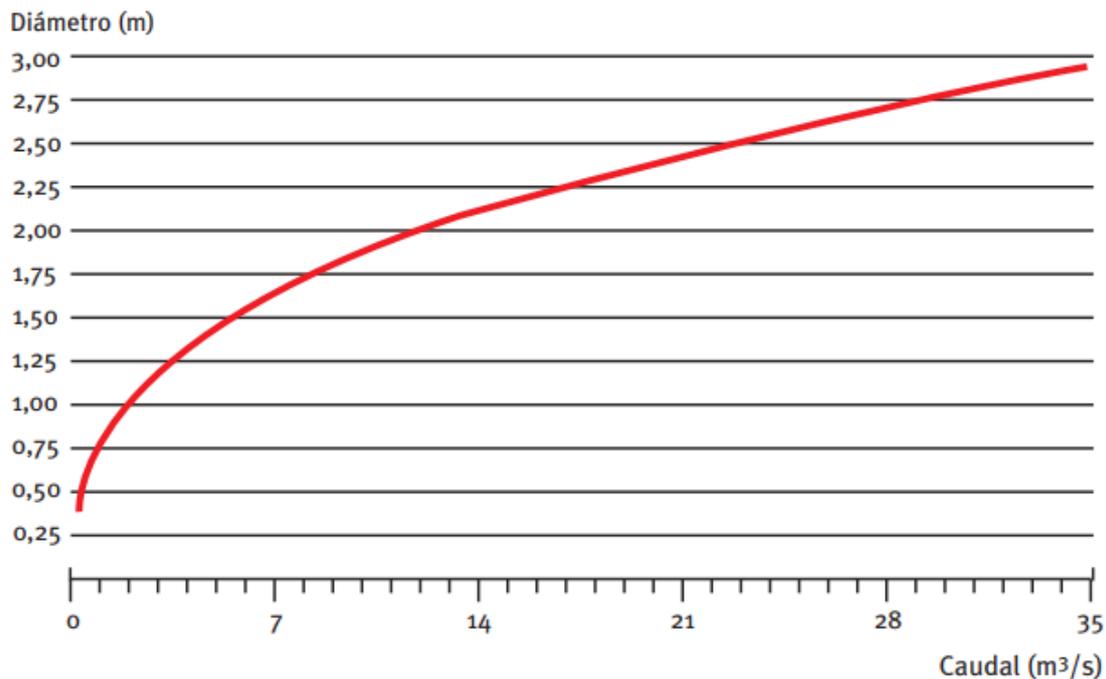


Imagen 16. Diámetro de la tubería forzada en función del caudal. [18]

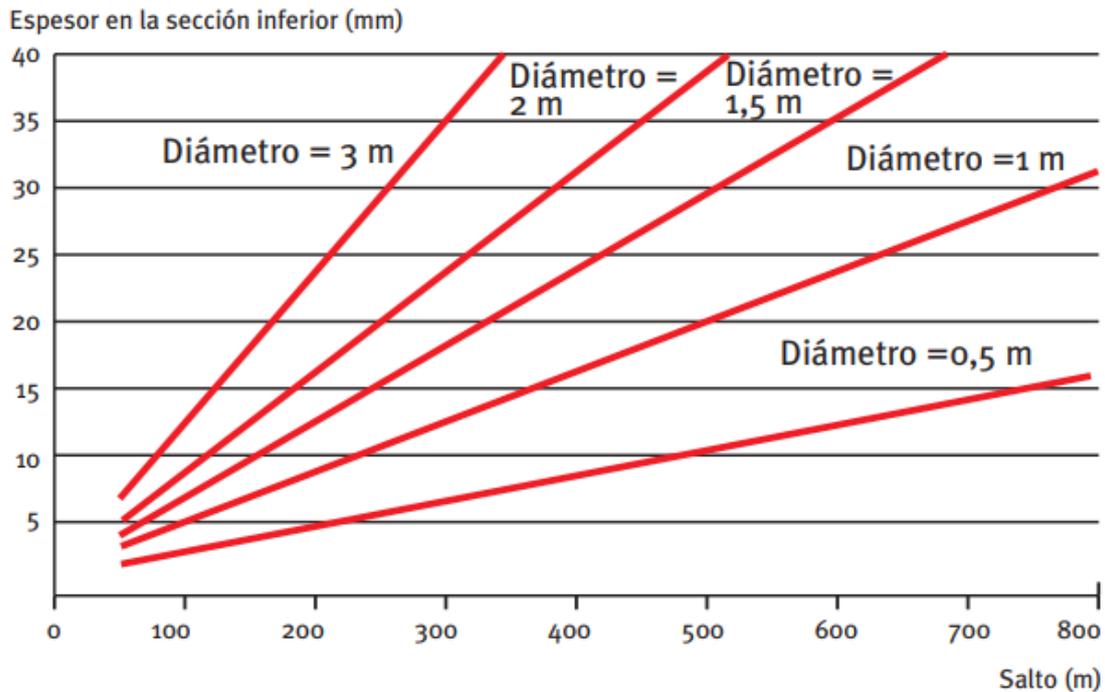


Imagen 17. Espesor de la tubería forzada en la sección inferior en función del salto de agua y del diámetro. [18]

5.8. Casa de máquinas

La casa de máquinas o edificio de la central es el local en el que se encuentran todos los elementos electromecánicos necesarios para la producción de energía, es decir la turbina, el multiplicador de velocidad y el generador eléctrico con su apartamento (cuadros eléctricos, cuadros de control, elementos de corte, etc.), los cuales se van a describir a continuación.

A la hora de la construcción y ubicación de este edificio se debe prestar mucha atención debido a que su construcción se realizará en función del número y tipo de equipos a colocar así como la disposición de las canalizaciones de agua y la ubicación influirá directamente en el máximo aprovechamiento del salto de agua así como en la accesibilidad. [8, 14, 18]

5.8.1. Turbina hidráulica

La turbina hidráulica es el elemento la maquina encargada de realizar la transformación de la energía cinética y potencial contenida en el agua a energía mecánica de rotación, la cual será aprovechada posteriormente por el generador para producir electricidad. Las principales partes de estas máquinas giratorias son las descritas a continuación:

- Rodete: es el elemento móvil de la turbina, sobre la que incide el agua procedente del distribuido, este elemento es el encargado de aprovechar la máxima energía posible contenida en el agua.
- El distribuidor: su diseño se basa en una especie de cilindro de sección variable cuya función es la de orientar perfectamente el agua que envía hacia el rodete, siendo capaz de regular también la cantidad de agua utilizada y con ello regular la potencia otorgada por la turbina.
- El aliviador: este elemento se encarga de conducir el agua desde el rodete hacia la salida, aprovechando parte de la energía restante del agua.

Las principales turbinas utilizadas en función de las condiciones de operación de la central, salto de agua y caudal, son la turbina Pelton, Francis, Kaplan y en algunas ocasiones la Bulbo. Las cuales se van a describir a continuación en función de su clasificación.

Tal y como se acaba de mencionar, actualmente estas máquinas rotatorias se clasifican en turbinas de acción y turbinas de reacción.

Turbinas de acción

Este tipo de turbinas solo aprovechan la velocidad del flujo de agua para impulsar el rodete y provocar el giro de la máquina, la turbina de este tipo más utilizada es la turbina Pelton, las cual se van a describir a continuación.

- Turbina Pelton

Esta turbina se encuentra formada por el rodete, el cual en su punto más alejado del centro cuenta con una serie de cazoletas o alabes en forma de

doble cuchara sobre los cuales incidirá el flujo de agua proyectado sobre estos por los inyectores. Transformando de esta manera la energía cinética del agua en energía de mecánica de rotación, elemento perteneciente al distribuidor y mediante el cual se regulará la cantidad de agua proyectada, es decir el caudal suministrado, regulando así la potencia.

En estas turbinas la descarga del agua que proviene del rodete no requiere de ningún tipo de configuración específica ya que el agua sale en reposo, prácticamente sin energía y a presión atmosférica.

Hay que destacar también que este tipo de máquinas cuentan con un deflector de chorro para desviar este en el momento en el que se precisa parar la turbina, evitando así problemas de embalamiento y sobrepresiones indeseadas en la tubería forzada.

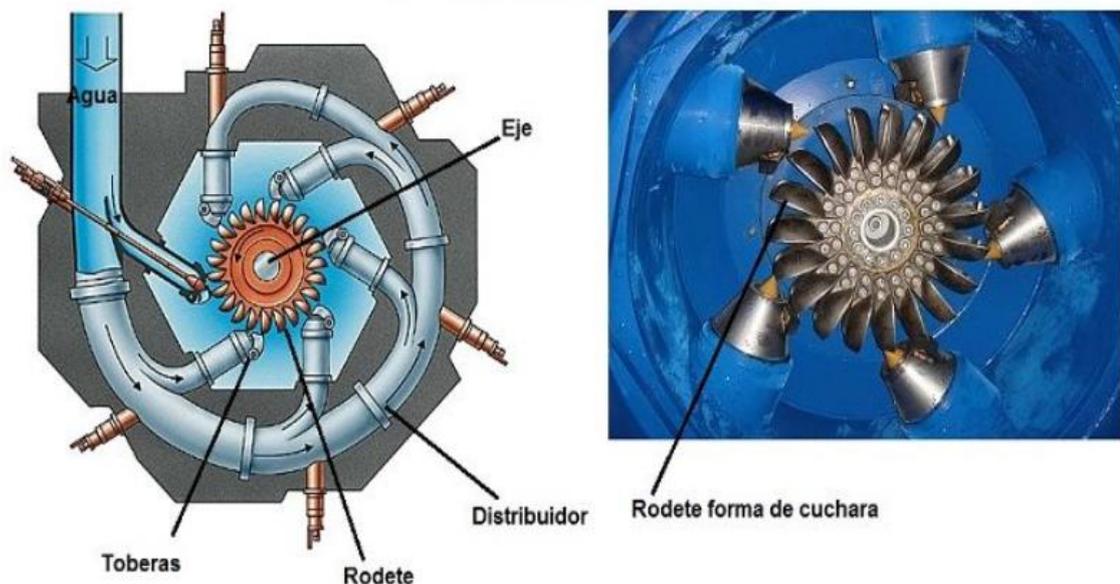


Imagen 18. Turbina Pelton. [23]

Este tipo de turbinas son idóneas debido a su configuración para saltos de altura elevada, pudiendo llegar hasta alturas de salto próximas a 2000 m y para caudales pequeños, hasta 1 m³/s. Destacar también que presentan una curva de rendimiento bastante aceptable y plana para un amplio rango de porcentaje del caudal de equipamiento, presentando valores de rendimiento del 80% para valores del 20% del caudal, tal y como se puede ver a continuación.

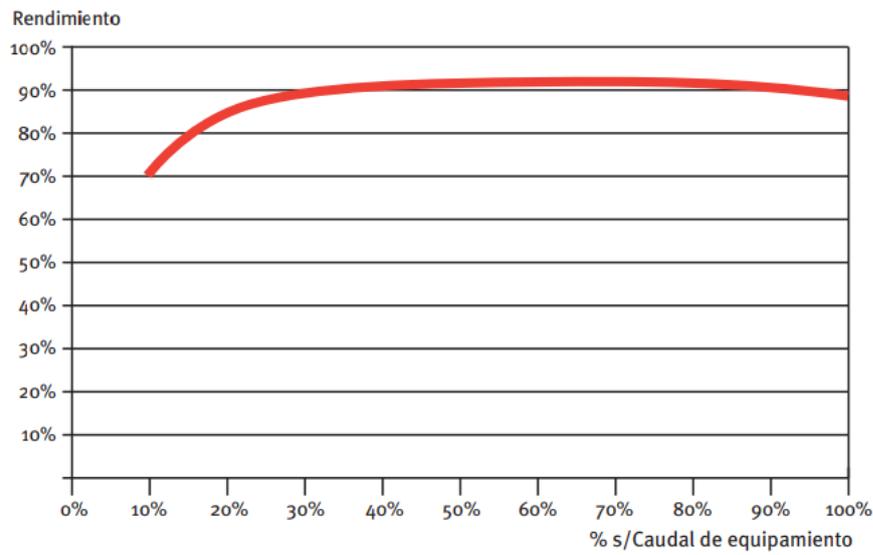


Imagen 19. Rendimiento de turbina Pelton. [18]

Turbinas de Reacción

Este tipo de turbinas se caracteriza por tener la capacidad de aprovechar tanto la energía cinética del agua, así como la presión del fluido en el momento de contacto con el rodete, por lo tanto a la salida de este el agua tendrá una presión un poco inferior a la atmosférica. En este grupo se hallan las turbinas Francis, Kaplan y Bulbo.

- Turbina Francis

Este tipo de turbinas se basa en el principio de reacción, debido a que el rodete recibe el agua radialmente, y al atravesarlo el agua es desviado 90 grados, saliendo en la descarga en sentido paralelo al eje de rotación de la turbina.

El rodete de estas turbinas está formado por una serie de alabes fijos doblemente curvados, los cuales provocan la conversión del flujo del agua de radial en la entrada a axial en la salida, provocando en el interior de este una depresión de la presión, por lo que la descarga debe ser hermética y capaz de recuperar la mayor parte de la energía restante del agua, transformándola en energía de presión y devolviendo el agua al

cauce a una presión lo más cercana posible a la atmosférica, salvando de esta manera la depresión comentada anteriormente.

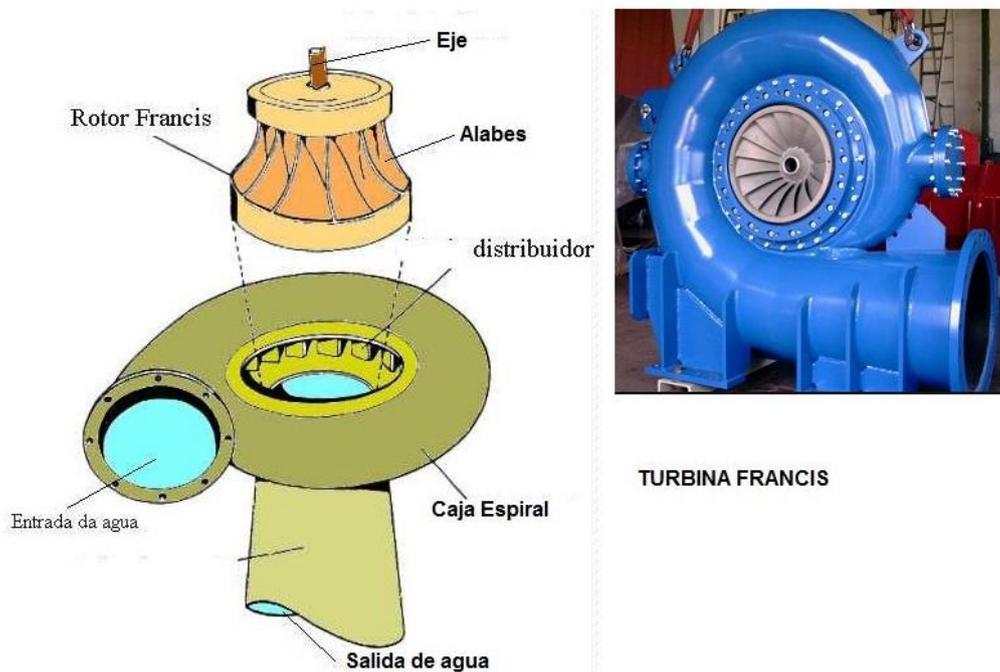


Imagen 20. Turbina Francis. [23]

Este tipo de turbinas se suelen utilizar en saltos de altura y caudales intermedios. Además, presenta un rendimiento superior al 90% en condiciones óptimas con una curva de rendimientos muy variable pudiendo regular este a partir de valores del 40% del mismo.

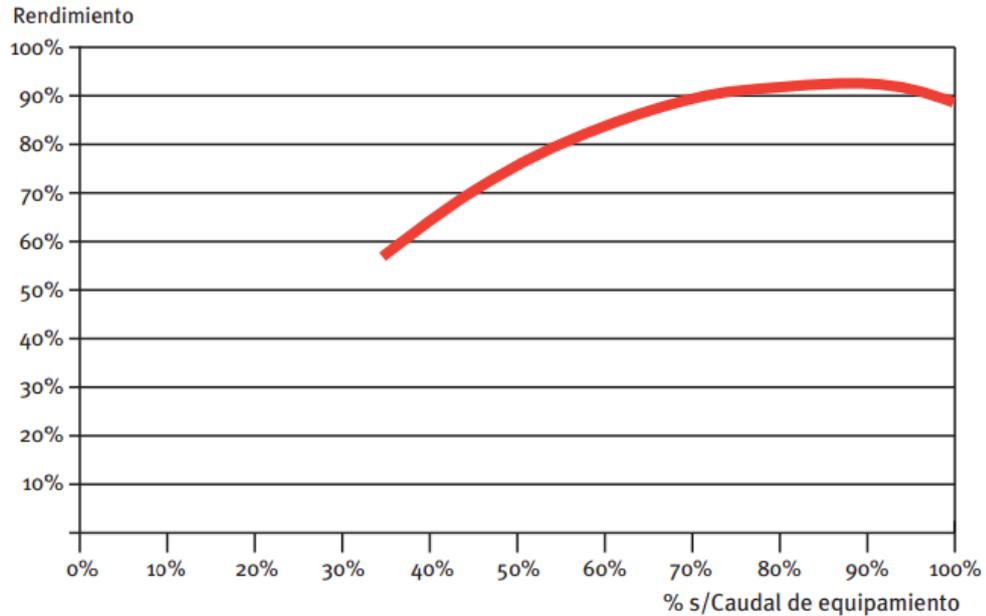


Imagen 21. Rendimiento de turbina Francis. [18]

- Turbina Kaplan:

Este tipo de turbina es una variante mejorada de la turbina de hélice, la cual está compuesta por una cámara de entrada, un distribuidor fijo, un rodete móvil con una serie de palas acopladas formando una estructura similar a una hélice y por último un tubo de aspiración encargado de absorber la energía restante del agua en la salida.

Como ya se ha mencionado tanto la turbina Kaplan como la Semikaplan son variantes de estas, las cuales se difieren en la posibilidad de variar a orientación de las palas de la hélice de forma automática mediante un combinador, realizando así un mejor aprovechamiento del caudal en cada situación, y por tanto un mejor rendimiento.

A su vez añadido a esto la turbina Kaplan, en la que nos vamos a centrar posee un distribuidor variable, mejorando de esta manera el rango de funcionamiento de la turbina, pudiendo trabajar a caudales más bajos que la Hélice o la Semikaplan, incrementando también el coste de mantenimiento y de fabricación.



Imagen 22. Turbina Kaplan. [23]

Este tipo de turbinas se suelen utilizar para caudales de agua intermedios o elevados y saltos de agua pequeños. Presentando un rendimiento del 90% trabajando en las condiciones óptimas, y del 70% a caudales de entorno al 20% del nominal, por lo que presenta una buena capacidad de regulación.

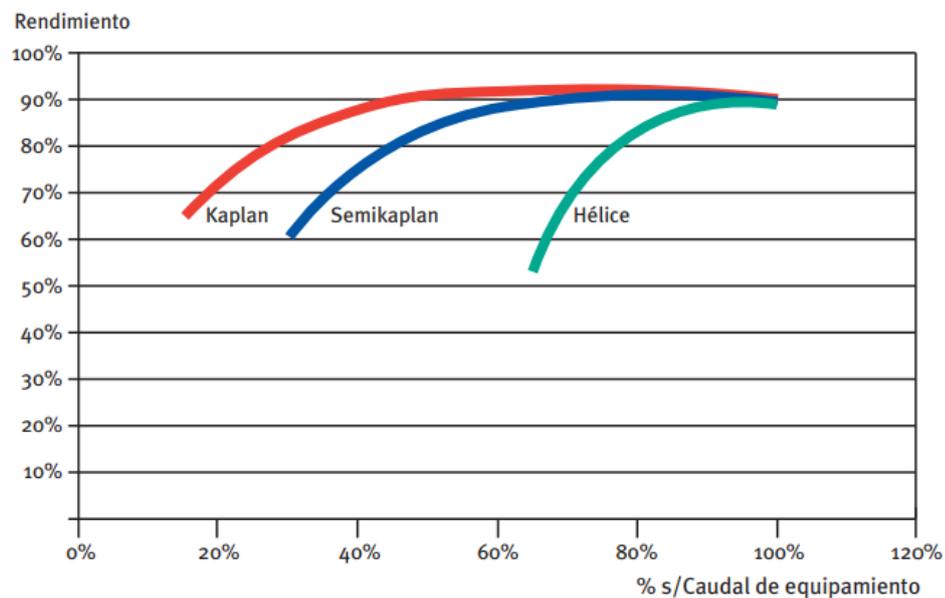


Imagen 23. Rendimiento turbinas Kaplan, Semikaplan y Hélice. [18]

- Turbina Bulbo:

Este tipo de turbinas es una variante del modelo anterior en la cual es eje es horizontal, al contrario que las Kaplan, y además posee el generador

inmerso en la conducción protegiéndolo mediante una carcasa hermética.

Presenta un rendimiento es entorno a un 3% superior a la Kaplan, lo cual se consigue mediante el aumento de la velocidad del agua provocada por una reducción de la sección de la tubería en la que está colocada la turbina.

Esta turbina se utiliza para caudales grandes y saltos de agua reducidos, y presenta unos costes de fabricación más bajos, sin embargo, posee unos de mantenimiento mayores.

Para finalizar en la siguiente imagen se puede apreciar la disponibilidad en cuanto Rango de trabajo en función de la altura de salto de agua y caudal de los diferentes tipos de turbina que se han detallado previamente. [8, 10, 12, 18]

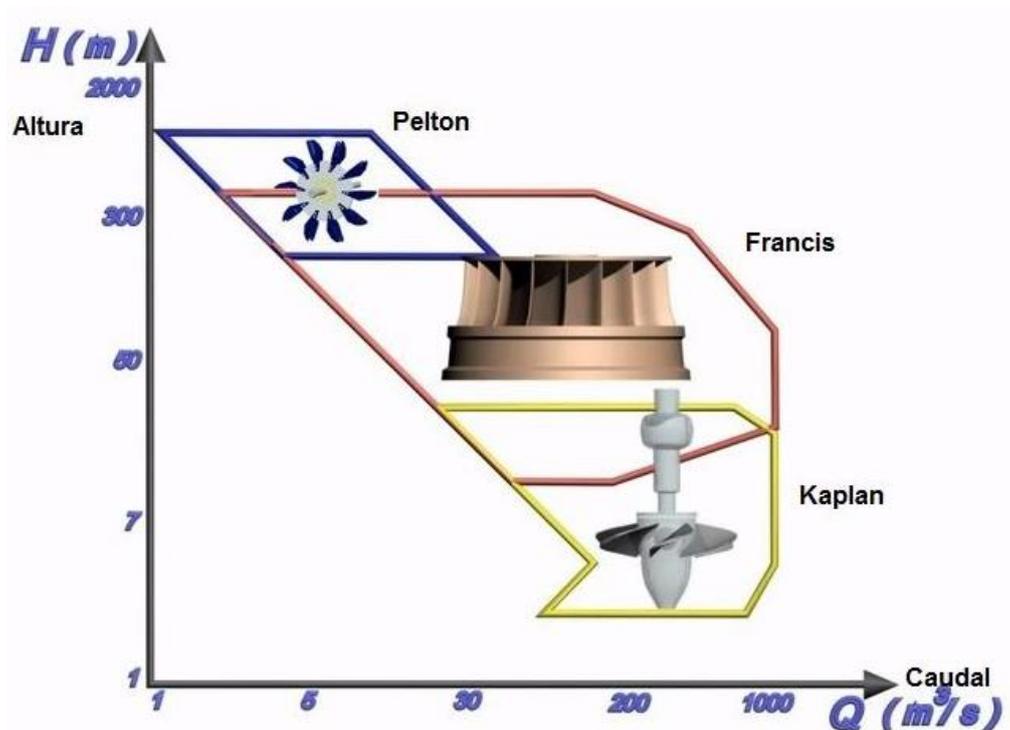


Imagen 24. Comparación del rango de trabajo de los tipos de turbinas. [23]

5.8.2. Multiplicador de velocidad

Tal y como ya se ha indicado anteriormente la turbina se encuentra acoplada al generador a través del eje y es la encargada de hacerlo girar. Sin embargo, los generadores funcionan a unas velocidades de giro muy específicas, esto se debe al número de polos de los generadores.

Dicho esto, la función del multiplicador serán las siguientes, por un lado, en algunos tipos de turbinas se debe adecuar la velocidad de giro de estas a la del generador, lo cual se consigue mediante la caja multiplicadora de velocidad, que no deja de ser un sistema de engranajes perfectamente colocados para adaptar las velocidades de giro del eje a las requeridas por el alternador.

Y por otro lado, al mismo tiempo este multiplicador de velocidad deberá encargarse de minimizar las fluctuaciones que se producen en la velocidad tanto en los momentos de paro como de puesta en marcha de la central, al mismo tiempo que las vibraciones y choques producidos por pequeños movimientos del eje. [8, 14]

5.8.3. Generador eléctrico

El generador eléctrico es el elemento encargado de transformar la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. Su funcionamiento se en el principio fundamental de la Ley de Faraday, es decir, en la inducción de una corriente eléctrica debida al movimiento de un elemento conductor en el interior de un campo electromagnético. Los generadores producen una corriente alterna inducida cada vez que una de sus bobinas es atravesada por el campo magnético creado por cada par de polos del generador.



Imagen 25. Generador eléctrico en central hidroeléctrica. [24]

En todos los generadores eléctricos se pueden diferenciar dos partes fundamentalmente:

- El estator: es el elemento fijo, el cual se encuentra ubicado en una carcasa envolvente, y sobre el devanado de este se induce la corriente generada por el campo electromagnético creado por el giro del rotor.
- El rotor: es el elemento móvil del generador y se encuentra alojado en el interior del estator, sobre el devanado de campo del rotor se induce una pequeña corriente eléctrica mediante una excitatriz externa, para así generar un campo electromagnético entre los polos de este, siendo este campo el que actuara sobre el estator.

Destacar también que el generador produce energía eléctrica a una tensión reducida y una intensidad elevada, por lo que necesita ser transformada para poder transportarla, tal y como se explica en el siguiente apartado.

En cuanto a los tipos de generadores se pueden distinguir básicamente dos, y son los siguientes:

- **Generador síncrono:** generador cuyo nombre es recibido debido a que trabaja a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo (N_s), la cual viene determinada por la frecuencia de trabajo (f) y por el número

de pares de polos del generador (p). La expresión utilizada para el cálculo de esta velocidad es la siguiente:

$$N_s = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (\text{Ec.1})$$

Esto se consigue haciendo circular una corriente eléctrica continua a través del bobinado del rotor para así crear el campo electromagnético que actuara sobre el estator. Esta corriente continua se creará mediante una excitatriz externa con un reóstato, excitación con diodos giratorios o por autoexcitación estática.

- **Generador asíncrono:** este generador al contrario que el anterior trabaja a una velocidad de giro mayor a la de sincronismo, siendo esta diferencia de velocidades pequeña para no generar grandes pérdidas. Es este exceso de velocidad el que produce el campo eléctrico excitador.

Las principales ventajas de este tipo de generador son su robustez, simplicidad, y su precio reducido entre otras. Además de que este modelo no necesita el uso de un regulador de velocidad, se arranca la turbina regulando el flujo de agua, hasta llegar a una velocidad un poco superior a la de sincronismo, instante en el cual se conecta a la red, debido a estas razones este tipo de generador se ha utilizado mucho en centrales hidroeléctricas de pequeño y medio tamaño. [10, 12, 18, 20]

5.9. Transformador de tensión

Es el elemento encargado de elevar la tensión de la energía eléctrica producida en el generador hasta el voltaje adecuado de la red de transporte de alta tensión a la cual se va inyectar esta electricidad.

Por lo general las centrales eléctricas generan a una tensión de entre 5 y 20 KV dependiendo del tamaño del generador. Pero surge el problema de que cuanto menor sea la tensión mayor será la intensidad siendo directamente proporcionales a esta las pérdidas de potencia, la sección de los conductores y por tanto el precio de los mismos. Debido a esto se eleva la tensión hasta 66, 72,

132, 220 o 440 KV en función de la tensión de transporte de la línea eléctrica más cercana.

Este último dato se debe tener muy en cuenta a la hora de elegir el transformador, ya que se debe inyectar a la línea a la tensión de transporte de la misma si se quiere aprovechar esta línea, sino se debería de construir una línea de transporte nueva hasta la subestación transformadora más cercana, algo que suele bastante más costoso que conectarse a la línea más cercana.

Por último a la hora de elegir el transformador estos se suelen clasificar por su refrigeración, siendo los más conocidos los refrigerados por baño de aceite, por convección de aire natural o forzada, o por silicona. [8, 10, 12, 18]



Imagen 26. Transformador eléctrico de alta potencia. [25]

5.10. Líneas de transporte eléctrico

Tal y como se ha nombrado en el apartado anterior la línea de transporte eléctrico de alta tensión como su nombre indica es la encargada de llevar la energía eléctrica generada en la central hasta la subestación reductora encargada de adaptar esta tensión hasta los centros de consumo o las redes de distribución.

En cuanto a los parámetros a conocer de la red a la que se va a conectar la central es importante saber por un lado la frecuencia a la que se trabaja bien sea 50 o 60 Hz en función del país y por otro lado la tensión de transporte de la línea, 66, 72, 132, 220 o 440 KV . [18, 20]



Imagen 27. Línea de transporte eléctrico. [26]

5.11. Tubo de aspiración

El tubo de aspiración es el elemento encargado de conectar la turbina con el canal de desagüe. Normalmente se fabrican de acero inoxidable o de hormigón armado, ya que deben de tener una importante capacidad de soportar la abrasión producida por la fuerza del agua a la salida y con una sección variable e intentando que sea lo más recto posible, siempre que las posibilidades de construcción lo permitan, lo que permite aprovechar al máximo la energía residual del agua en la salida de la turbina.

Este elemento juega un papel importante en la recuperación de la energía cinética que queda en el agua en las turbinas de reacción, ya que en este tipo de turbinas el agua sale del rodete a una velocidad de cierta importancia, por lo que si no se aprovechara esta energía cinética se perdería un cierto porcentaje del rendimiento el cual se puede aprovechar gracias a este dispositivo, minimizando de esta forma las pérdidas.

Sin embargo, en las turbinas de acción el agua sale del rodete con una velocidad prácticamente nula, y el salto de agua representa una altura mínima respecto de la del salto total, por lo que no se apreciara una diferencia importante en cuanto a este aprovechamiento energético, su función es únicamente la de evacuar el agua sin energía hacia el canal de desagüe. [8, 9, 14]

5.12. Canal de desagüe

La función de este canal es la de devolver el agua procedente de la turbina que ale por el tubo de aspiración de nuevo al cauce del río, reestableciendo así el ciclo normal del río. Es importante la construcción reforzada de este canal ya que debe soportar la fuerza que ejerce el agua sobre el debido a la energía con la que aun sale de la turbina a través del tubo de aspiración. [15]

6. ITEMS A REVISAR PARA EL MANTENIMIENTO Y POSIBLES INCIDENCIAS EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En este apartado se van a citar los principales ítems a revisar a la hora de realizar el mantenimiento de la central, discretizandolos en función de a que parte o partes de la misma vayan a afectar.

6.1. Embalse

- Acumulación de lodos y barros que modifiquen los esfuerzos de la presa
- Revisión de animales ahogados
- Control del nivel del embalse (Aparatos y equipos de medida de niveles, etc.)

6.2. Presa

- Revisión de los drenajes para evitar condensaciones.
- Pandeos debido al empuje sometido por el agua y sedimentos
- Obstrucción de las juntas de dilatación
- Depresión debido a las filtraciones de agua pajo la presa ya que el terreno no es impermeable y por el propio peso de la misma
- Filtraciones a través de la presa
- Péndulos de oscilación
- Perdida de verticalidad
- Grietas en la estructura de la presa

6.3. Rejilla y limpia rejías

- Acumulación de grandes obstáculos que el limpiarejas no pueda retirar.
- Abolladuras o daños
- Incrustación de objetos
- Fallos en el sistema mecánico del limpiarejas

6.4. Compuertas y válvulas

- Fugas de aceite del sistema oleo hidráulico (lubricación, botellas hidráulicas)
- Oxidación y Corrosión
- Limpieza del vástago de la válvula por posibles acumulaciones de arenas o barros y lubricación del mismo.
- Obstrucción de los aliviaderos de fondo.
- Fugas en las válvulas (por el vástago) o compuertas (fugas de agua en los puntos de soldadura)
- Revisar desajustes de válvulas y compuertas
- Desgaste de los rodamientos y del sistema de apertura y cierre

- Control de conectores, rodamientos, imanes del rotor, bobinados estator, de los servomotores de las compuertas y válvulas.

6.5. Conducciones y tubería forzada

- Revisar las aireaciones y ventosas
- Golpes de ariete (Expansiones y compresión)
- Desgaste, erosión
- Oxidación y Corrosión
- Fugas de tubería
- Roturas de los anclajes
- Abolladuras provocadas por agentes externos
- Atascos internos (desarenador)

6.6. Turbina hidráulica

- Revisión de todos los sistemas mecánicos de los inyectores (apertura correcta, etc.)
- Desajustes del eje debido a mala lubricación
- Daños en los alabes por cavitación
- Problemas en los alabes (Erosión y desgaste, Roturas por vibraciones)
- Desgaste de los deflectores de la turbina
- Revisión de todos los indicadores (sensores, detectores, alarmas)
- Revisión de los sistemas en busca de fugas de aceite y de agua (puntos soldadura)

6.7. Alternador

- Fugas de lubricante que puedan producir desgastes en los cojinetes
- Desgaste y acumulación de suciedad de las escobillas
- Holguras en los entrehierros
- Control de temperatura por calentamiento del rotor y de estator

- Fallo del sistema de refrigeración por aire
- Revisión del ajuste de conexiones y terminales (afloje por vibraciones)
- Inspección externa en busca de vibraciones o ruidos
- Limpieza de los devanados por posible ensuciamiento.
- Medición del aislamiento de los devanados
- Análisis de temperatura (Termografía)

6.8. Transformador

- Control e inspección visual y auditiva externa en busca de ruidos, vibraciones o fugas indeseadas de aceite y control del estado y nivel del mismo.
- Limpieza externa del transformador
- Análisis de temperatura (Termografía)
- Pruebas eléctricas (aislamiento, derivaciones, puestas a tierra, corriente excitación, resistencia eléctrica)
- Ensayo de presión del tanque
- Control e inspección de seccionadores y circuitos eléctricos de conexión a red
- Ensayos de aislamiento

6.9. Canal de desagüe

- Fuerza de salida del agua que pueda crear desgaste y erosión.
- Revisión del cuenco amortiguador
- Revisión de resalte hidráulico

6.10. Líneas de transporte eléctrico

- Rotura de los anclajes torres por esfuerzos producidos por agentes externos e inclemencias.
- Oxidación y corrosión

- Revisión de daños en los aisladores y control e inspección de seccionadores y circuitos eléctricos de conexión a red
- Limpiezas y desbroces perimetrales bajo las líneas eléctricas.
- Hundimientos del terreno por el peso de las mismas.

[9, 12]

7. JUSTIFICACION DE PROBLEMAS POR LOS QUE SE DEBEN REVISAR LOS DIFERENTES ÍTEMS PROPUESTOS

En este apartado se va a realizar una descripción de los ítems citados en el apartado anterior, con la finalidad de realizar una justificación y explicación de porqué sobre estos ítems se debe de actuar realizando una vigilancia o un mantenimiento de cierta periodicidad.

7.1. Embalse

Acumulación de lodos y barro que modifiquen los esfuerzos de la presa

La acumulación de lodos y barro en los embalses es un factor a tener en cuenta, ya que en algunos embalses dicha acumulación ha llegado a mermar entre el 10 % y el 40% de la capacidad de agua disponible, a un ritmo de entre el 0,1 y el 0,6% anual en función de la cuenca hidrográfica en la que se encuentre dicho embalse.

Se puede destacar a modo de ejemplo el caso del embalse de Mequinenza, cuya capacidad se ha visto mermada en torno a un 10% debido a este motivo, lo que equivale a unos 200 hectómetros cúbicos de agua, es decir el consumo cuatrimestral de la capital del país.

Este fenómeno de acumulación de sedimentos se produce debido a que cuando una corriente de agua fluyente entra en contacto con otra cantidad de agua estacionaria (agua embalsada) la velocidad de la corriente disminuye, lo que provoca una pérdida de la capacidad del agua para transportar sedimentos, por

lo que estos se tienden a depositar en el embalse. En primer lugar, se depositan los más gruesos al comienzo del embalse, formándose lo que se conoce como delta de cola. A medida que esta agua sigue avanzando los sólidos de tamaño intermedio se van depositando a lo largo del embalse en función de las corrientes internas del mismo.

Y por último cuando el agua se encuentra acercándose a las inmediaciones de la presa el resto de los sedimentos más finos se van depositando también, formando lo que se conoce como un delta de presa.

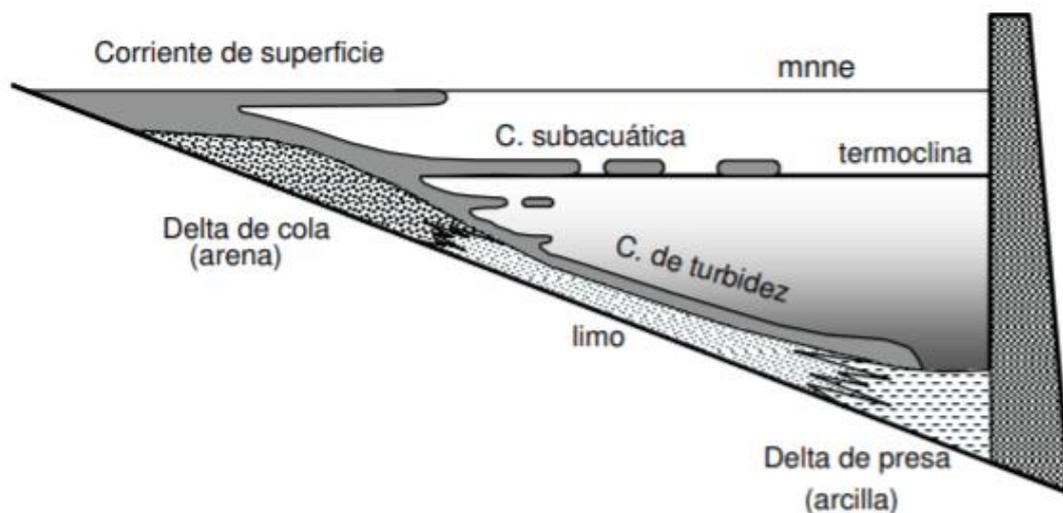


Imagen 28. Deposición de sedimentos en un embalse. [27]

Esta acumulación de sedimentos también se debe tener en cuenta debido a que a medida que alcanzan un cierto nivel en las inmediaciones de la presa pueden llegar a realizar un empuje de cierta relevancia sobre la estructura de la presa, empuje que se debe sumar al realizado por el agua y que si aumenta demasiado puede llegar a causar problemas. [27, 28, 29, 30]

Revisión de animales ahogados

Los embalses, así como canales abiertos son un elemento potencialmente peligroso para el ahogamiento de animales, bien sean mamíferos silvestres de pequeño, mediano o gran tamaño o animales domésticos.

Por lo que se debe tener en cuenta este factor a la hora de realizar el mantenimiento de la central, ya que un atasco por ahogamiento de un animal de gran tamaño puede suponer la reducción del caudal de turbinación si este se queda atascado en la rejilla, o daños mayores si afecta a otros componentes.

Ejemplo claro del ahogamiento de animales es el embalse de Alsa, perteneciente a la Central de bombeo de Aguayo (Cantabria) en la que muchos animales que se encontraban en las inmediaciones del embalse se han visto sorprendidas por el incremento del nivel del mismo debido al bombeo. Nivel que puede ascender a una velocidad de subida vertical de entre 0,3 y 1,8 mm/s sorprendiendo de este modo a los animales y costándoles la vida en numerosas ocasiones. [31]

Control del nivel del embalse (Aparatos y equipos de medida de niveles, etc.)

Es necesario realizar un control del nivel de agua del embalse, el cual será marcado por los equipos de medida tales como los transmisores de nivel colocados en el embalse, los cuales transmitirán electrónicamente el nivel de agua del mismo.

Se deben revisar periódicamente estos niveles ya que lecturas incorrectas o falta de las mismas pueden dar señales falsas al sistema y producir por un lado alivio o descargas del embalse indeseados o por el otro, desbordamientos o inundaciones.

7.2. Presa

Previamente a realizar la justificación y explicación de los ítems a los que se somete una presa se va a realizar una explicación sobre las fuerzas que actúan sobre una presa de gravedad, para posteriormente poder entender mejor cada uno de los ítems o problemas que puedan producirse en la misma. Por lo tanto, las fuerzas a las que se encuentra sometida una presa son las siguientes:

- Peso propio de la presa (P_2): es el parámetro sobre el cual se fundamenta la estabilidad de la presa, se basa en la sección transversal de la misma y en el peso específico del material del que está construida. Su acción es paralela al eje de la presa.
- Empuje hidrostático (P_1): es la fuerza que más efecto de desestabilización puede crearle a la presa, se debe al empuje de la cantidad de agua aguas arriba de la presa, por tanto, depende del peso específico del agua y de la altura de agua que haya en la presa.
Este empuje es perpendicular al eje de la presa, a excepción de si la presa es inclinada, caso en el que el empuje se divide en una componente perpendicular y otra vertical, esta última es estabilizadora y se suma al peso de la presa.
- Presión intersticial o subpresión (P_3, P_4): esta fuerza de desestabilización se debe a la filtración del agua por los poros de la presa (P_3) o a través del terreno (P_4), ya que ni la presa ni el terreno son impermeables. Estas filtraciones pueden producir a su vez presiones hidrostáticas de desestabilización debido al empuje del agua filtrada en dirección contraria al peso.
En la fuerza de subpresión se caracterizan 3 zonas, la primera: aguas arriba, donde es igual a la profundidad del embalse, la segunda: abajo donde es igual a la profundidad del canal de desagüe, y la última: un punto intermedio en donde la fuerza depende en gran medida del buen o mal funcionamiento de los drenajes instalados en la presa, encargados de reducir el agua filtrado en la misma y por tanto reducir la acción de la fuerza de subpresión.
- Fuerzas provocadas por acciones sísmicas (P_8, P_9): esta fuerza desestabilizadora es un factor accidental, pero se deberá tener en cuenta igualmente, realizando una clasificación según la aceleración sísmica, clasificando las fuerzas en baja sismicidad, donde no se realiza

comprobación sísmica; media sísmica donde se debe tener en cuenta las fuerzas desestabilizantes (P_9), el empuje de Westergaard (P_8) y la resonancia de la estructura de la presa; y por último la alta sísmica para la cual se debe realizar un estudio técnico de la sísmica y las placas tectónicas de la zona.

- Empuje de las olas (P_6): se deberá tener en cuenta también el empuje desestabilizante producido por el oleaje del embalse debido al viento, a seísmos o a argayos de tierra que puedan producir olas. Este empuje suele ser muy pequeño en comparación con el hidrostático, por lo que en ocasiones no se contempla.
- Empuje de los sedimentos (P_5): este empuje se produce debido a la acumulación de los sedimentos en la base de la presa, los cuales realizan una fuerza desestabilizadora sobre la presa, este empuje se suma al hidrostático.
- Empuje debido a la acción del hielo (P_7): este empuje se debe a la fuerza horizontal causada sobre la presa debido al hielo, cuando se congela el agua del embalse. Se debe destacar que este empuje solo se considera cuando los centímetros congelados son más de 20, sino es despreciable su efecto.

A continuación, en la siguiente imagen se muestra la acción de cada una de estas fuerzas sobre el perfil de una presa de gravedad. [30, 32]

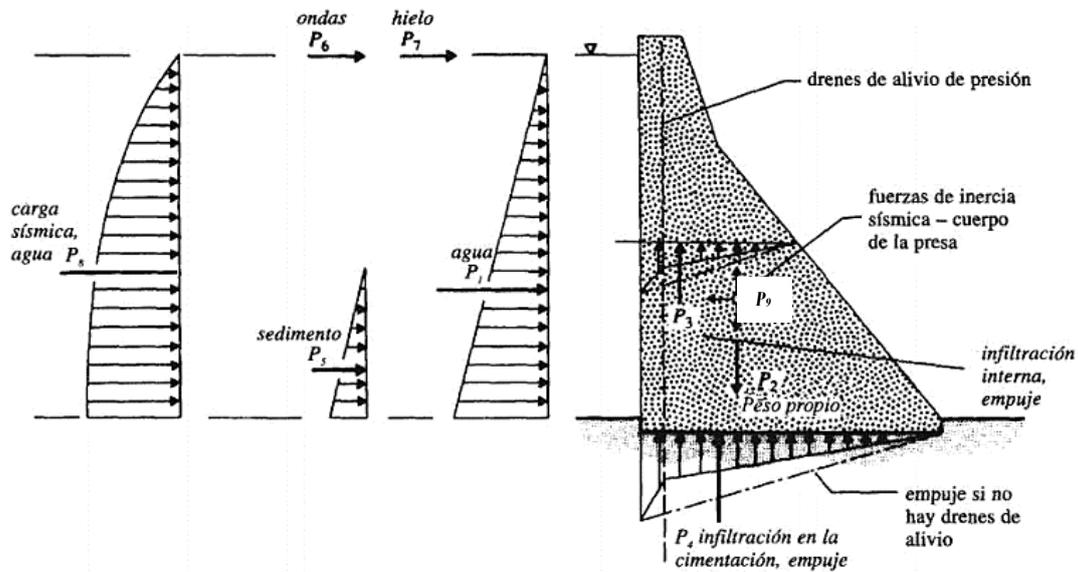


Imagen 29. Principales cargas sobre una presa de gravedad. [33]

Revisión de los drenajes para evitar condensaciones.

La importancia del buen funcionamiento de los drenajes es ciertamente elevada, debido a que si estos drenajes no funcionan correctamente se aumenta la acción de la fuerza de empuje por infiltración tal y como se puede ver en la imagen anterior, en la cual se diferencia el efecto de la fuerza tanto en la infiltración del terreno por la base de la presa, tanto como por la porosidad de la misma.

Si estos drenajes no funcionan correctamente, este aumento de la fuerza puede llegar a crear desestabilizaciones e incluso grietas en la presa, ya que habrá zonas en las que las fuerzas en vez de ser de compresión serán de tracción, algo que se debe evitar a toda costa.

Por tanto se debe realizar una comprobación y limpieza mediante agua a presión, periódicamente, para garantizar así el buen funcionamiento de los drenajes. [30, 34]

Pandeos debido al empuje sometido por el agua y sedimentos

Se debe realizar un seguimiento exhaustivo de los posibles pandeos de la presa, ya que la fuerza creada por el empuje del agua embalsada, así como por la acumulación de sedimentos es muy difícil de calcular con exactitud. Esto se debe a que no se pueden predecir las crecidas del agua, ni el ritmo exacto de acumulación de los sedimentos, ni el nivel exacto de agua en cada momento, por lo que se debe realizar una buena vigilancia de los pandeos. [30]

Obstrucción de las juntas de dilatación

El hormigón mediante el cual están construidas las presas tiende a expandirse y dilatarse en función de las temperaturas y otros agentes, por lo que se suelen instalar juntas de dilatación en las presas para absorber estas expansiones.

Pero si se diera el caso de que estas juntas se encuentran atascadas o en mal estado y no realizasen su función correctamente se podría realizar un movimiento en los bloques estructurales de la presa, pudiendo llegar a causar grietas o problemas mayores, es por ello que se debe realizar un mantenimiento para asegurar el buen funcionamiento de estas juntas. [35]

Depresión debido a las filtraciones de agua bajo la presa ya que el terreno no es impermeable y por el propio peso de la misma

Se debe realizar un seguimiento exhaustivo de posibles hundimientos o depresiones de la presa debido a una sobrecarga del peso que es capaz de soportar el terreno, lo que podría desencadenar en hundimientos pudiendo producir la desestabilización de los bloques estructurales de la presa causando grietas en la misma.

Estos hundimientos también pueden provocarse por el mal funcionamiento de los drenajes instalados en la base de presa, de tal modo que una sobrecarga de

agua en la base podría humedecer demasiado el terreno y la base de roca pudiendo crear dilataciones del mismo y por tanto hundimientos. [36]

Filtraciones a través de la presa

Se debe realizar una inspección visual de la superficie de la presa y de la base de la misma en busca de filtraciones a través de ella, lo cual denotara que o bien los drenajes no están realizando su trabajo de manera adecuada o que se han producido grietas en ella o problemas derivados.

En las presas de hormigón son normales las pequeñas filtraciones debido a que el material no es impermeable, pero si estas filtraciones atraviesan todo el cuerpo de la presa o son altamente visibles ya no son de grado normal, por lo que se deberá atajar un problema mayor. [37]

Péndulos de oscilación

Generalmente en las presas construidas por hormigón se suele instalar un sistema basado en un péndulo para medir de esta manera los desplazamientos horizontales producidos en la estructura de la presa.

Este sistema se basa en la realización de un pozo cilíndrico vertical en la estructura de la presa, en el cual se cuelga un alambre de acero de la parte superior del pozo con una pesa en su extremo inferior. La pesa se encuentra en un tanque cubierta con aceite con un único orificio en la parte superior del tanque para permitir el movimiento del alambre de acero.

A una cierta altura del pozo se coloca una plancheta atravesada por el cable acerado, la cual dispone de una serie de equipos de medida, de tal manera que estos detectan los movimientos del cable de acero tanto en el eje X como en el Y, ya que el péndulo originalmente siempre se haya colocado en la vertical absoluta.

Por tanto se debe realizar un buen mantenimiento de este sistema pendular cada cierto periodo de tiempo para asegurar su correcto funcionamiento y poder ser capaces de detectar las oscilaciones de la presa, con el fin de evitar cualquier problema en la misma. [38]

Perdida de verticalidad

En cuanto a la perdida de la verticalidad de la presa, se debe comenzar indicando que las presas se deben medir longitudinalmente, midiendo las presiones en varios puntos a lo largo de la longitud de la misma, y por otro lado verticalmente a través de péndulos colocados en la presa.

El funcionamiento y la colocación de los péndulos ha sido tratado en el apartado anterior. Conocido esto, lo que se debe observar es los grados de oscilación de los péndulos, ya que en función de cada presa el valor máximo de oscilación estará prefijado.

Si se sobrepasase este valor en algún momento, se deberá realizar un seguimiento exhaustivo de tales variaciones.

Por todo lo anterior, se deberá realizar un seguimiento cada cierto periodo de tiempo de las variaciones de los péndulos para asegurar la verticalidad de la presa en cuestión. [38]

Grietas en la estructura de la presa

Se debe realizar un seguimiento de la aparición de grietas en la estructura de la presa. Ya que si estas son de cierta importancia no ocurren de manera aleatoria, sino que su aparición es un indicador de que algún otro problema se está dando en la presa.

Bien sea un mal funcionamiento de los drenes, una sobreacumulación de sedimentos y por tanto un mayor empuje, un mal funcionamiento de las juntas de dilatación, etc. Problemas que si no se atajan a tiempo pueden acarrear un aumento de estas grietas y un mayor problema.

7.3. Rejilla y limpia rejas

Acumulación de grandes obstáculos que el limpiarejas no pueda retirar.

Se debe de realizar una vigilancia periódica para evitar la acumulación y en su caso la retirada de grandes obstáculos que se puedan acumular frente a la rejilla y que el sistema de limpiarejas no sea capaz de retirar por sí solo, así como una revisión del correcto funcionamiento del sistema mecánico del limpia rejas, el cual se tratara en particular más adelante. La acumulación de estos elementos puede obstaculizar el paso del agua pudiendo llegar a reducir el caudal de turbinación de manera importante o incluso romper alguno de los componentes de rejilla y limpiarejas.

Los objetos de los que se están hablando pueden ser animales ahogados de gran tamaño, desechos derivados de la ganadería o la agricultura, elementos de origen vegetal, derivados de la vida humana, etc. (pacas, forrajes enrollados, chapas de tejados, árboles o tronco de árboles de gran tamaño).

Abolladuras o daños

Debe realizarse un seguimiento de estado tanto de la rejilla como del limpiarejas, ya que ambos pueden verse dañados por alguno de los elementos que sean retenidos frente a ambos dos. Pudiendo dañar en primer lugar a la rejilla y en segundo al limpiarejas en su retirada.

Incrustación de objetos

Se debe de revisar también no solo la acumulación de grandes objetos como ya se ha indicado, sino también la incursión de objetos más pequeños entre los huecos de la rejilla, tales como piedras, plásticos, latas, botellas, tronquitos, etc. Ya que si no se percatan los operarios de las plantas de la obstaculización de la

rejilla debido a estas incrustaciones, el caudal de turbinación también se verá reducido en gran medida.

Por lo que será necesario realizar un mantenimiento y una limpieza de la rejilla con cierta periodicidad.

Fallos en el sistema mecánico del limpiarejas

El sistema auto-mecánico del limpiarejas, tal y como ya se ha explicado cuenta con un motor eléctrico que se activara automáticamente cada cierto tiempo mediante una serie de sensores, por lo que se deberá realizar un mantenimiento tanto del motor eléctrico como un control del funcionamiento de los sensores encargados de darle la orden de puesta en marcha, con la finalidad de evitar fallos en este sistema que luego deban ser reparados a posteriori.

O en supuesto caso de que estos fallos ocurran se deberá de realizar el correcto mantenimiento de las partes averiadas y su reparación.

7.4. Compuertas y válvulas

Fugas de aceite del sistema oleo hidráulico (lubricación, botellas hidráulicas)

Dado que debido tanto al uso como al paso del tiempo se pueden producir fugas en el sistema oleo-hidraulico de las compuertas, debido al desgaste de las juntas de presión tanto por calentamiento como por deterioro con el paso del tiempo, a poros a través de soldaduras, a la rotura de latiguillos y racores y a otros supuestos fallos debido a uso y desgaste tal y como ya se ha nombrado.

Por tanto, se debe realizar un seguimiento y una supervisión o vigilancia de las posibles fugas, perdidas de presión, y buen funcionamiento de los medidores electrónicos tales como niveles, sensores, presostatos. Así como la realización de pruebas de estanqueidad del circuito, mediciones y análisis de la calidad del

aceite para detectar posibles contaminantes producidos por fugas al entrar en contacto con el exterior. [39]

Oxidación y Corrosión

La corrosión tanto en las válvulas como en todo el sistema de railes de las compuertas así como en la propia estructura de la compuerta es un factor a tener en cuenta a la hora de realizar un mantenimiento, ya que al tratarse de elementos que aunque se suelen construir de materiales inoxidables o estar recubiertos con tratamientos frente a la oxidación, pueden sufrir corrosión en algunos puntos, debido a pérdida de las propiedades antioxidantes, puntos ciegos de los tratamientos antioxidantes, golpes donde ataque la oxidación, etc.

Por lo tanto, se debe realizar una inspección y revisión periódica de estos elementos en busca de posibles puntos donde la oxidación y corrosión se esté produciendo. [9]

Limpieza del vástago de la válvula por posibles acumulaciones de arenas o barros y lubricación del mismo.

A la hora de realizar el mantenimiento en las válvulas es importante tener en cuenta que, por un lado, debe realizar una limpieza del vástago retirando la acumulación de lodos y arenas adheridos a este, los cuales son arrastrados por el agua.

Por otro lado, se debe realizar una revisión de posibles fugas a través del vástago derivadas del desgaste de las juntas, y a su vez de realizar esta inspección en busca de fugas se debe también realizar una lubricación y engrase del mismo para de esta manera evitar la oxidación. [9, 40]

Obstrucción de los aliviaderos de fondo.

Se debe realizar una limpieza periódica de los aliviaderos de fondo, ya que con el paso del tiempo estos pueden verse atascados u obstruidos debido a la acumulación de elementos arrastrados por el agua, tales como ramas, troncos de árboles, plásticos, lodos y arena, etc.

Fugas en las válvulas (por el vástago) o compuertas (fugas de agua en los puntos de soldadura)

Las fugas de agua en los elementos de apertura y cierre es algo que se debe de contemplar a la hora de realizar un mantenimiento de centrales hidroeléctricas, ya que se pueden producir tanto en compuertas a través de las posibles juntas, guías de movimiento, puntos de soldadura debido a poros o en las válvulas a través del vástago por ejemplo.

Debido a ello se debe realizar una supervisión e inspección en busca de estas posibles fugas en ambos componentes. [9, 40]

Revisar desajustes de válvulas y compuertas

Debido tanto al desgaste de los cojinetes, como de las guías y rodamientos o a golpes sobre ellas, tanto las válvulas como las compuertas pueden sufrir pequeños desajustes a la hora de moverse. Desajustes que si no se atajan a su debido momento pueden desembocar en problemas mayores tales como roturas o fisuras de estos componentes.

Es por ello que se debe realizar un mantenimiento periódico en busca de vibraciones, ruidos o ruidos ajenos al funcionamiento normal, los cuales puedan denotar un posible desajuste. [9, 40]

Desgaste de los rodamientos y del sistema de apertura y cierre

Tal y como se ha indicado en el punto anterior, el desgaste de los rodamientos del sistema de apertura y cierre de compuertas y válvulas se debe de vigilar para poder realizar un mantenimiento a su debido tiempo, cambiando estos rodamientos antes del final de su vida útil, pudiendo evitar de esta manera su rotura y por tanto la producción de desajustes tanto en las compuertas como en las válvulas. [9, 40]

Control de conectores, rodamientos, imanes del rotor, bobinados estator, de los servomotores de las compuertas y válvulas.

A lo largo del funcionamiento de la central se debe realizar también un mantenimiento sobre los servomotores asociados a los elementos de apertura y cierre, realizando un control de los conectores, ya que estos pueden aflojarse debido a vibraciones, cambio de rodamientos por desgaste de los mismo, control y verificación de los bobinados del estator y los imanes del rotor, así como una inspección de los borneros eléctricos de los mismos. [9, 40]

7.5. Conducciones y tubería forzada

Revisar las aireaciones y ventosas

Se debe realizar cada cierto periodo de tiempo una revisión de las aireaciones y ventosas ubicadas a lo largo de las tuberías, con el fin de asegurar el buen funcionamiento de las mismas, o el de la retirada de elementos que puedan estar obstruyéndolas, ya que estas se encuentran en lugares remotos al aire libre. [41]

Golpes de ariete (Expansiones y compresión)

Debido a la posible aparición de golpes de ariete la tubería sufrirá en algunos casos un movimiento de expansión y compresión que si no es muy grande

podrá ser capaz de soportar, debido a las juntas de expansión que tendrá ubicadas a lo largo de la misma.

Estas juntas se deberán inspeccionar también cada cierto periodo de tiempo, para asegurar de este modo la absorción de dichas expansiones y compresiones, así como las dilataciones de la tubería debidas al calor. [41]

Desgaste, erosión

Debido al desgaste y erosión producidos en la tubería se deberá realizar cada cierto periodo de tiempo una evolución del espesor de la tubería a lo largo de la misma mediante ciertas técnicas que utilizan los ultrasonidos con la finalidad de obtener el espesor actual de la misma e ir comparándole con el espesor original de la tubería.

De tal manera que se valla haciendo un seguimiento del desgaste de la misma, para así reparar las zonas con más deterioro previamente a la aparición de una fuga en dicho punto. [41]

Oxidación y Corrosión

Se debe realizar un seguimiento de la aparición de oxidación y corrosión a lo largo de la tubería y aplicar cada cierto periodo de tiempo una pintura especial a toda la tubería para protegerla de la corrosión y la oxidación, debido a que esta se encuentra la intemperie y en muchas ocasiones en zonas de cierta altitud, en las que la climatología se agrava.

Esta pintura constara con una base asfáltica y una imprimación anticorrosiva especial protectora de la misma. [41]

Fugas de tubería

Se debe realizar una inspección a lo largo de la tubería con la finalidad de encontrar cualquier fuga o filtración a través de la misma, bien sea a través de una junta, una soldadura, por desgaste o por una rotura debido a otros agentes.

En el caso de encontrarla esta debe de repararse con rapidez mediante soldadura o la colocación de un refuerzo, debido a que podría ocasionar un mal mayor tal como la rotura o destrucción de parte de la tubería debido a la presión del agua. [41]

Roturas de los anclajes

Se debe realizar una inspección periódica de los anclajes de las tuberías al suelo, en busca de posibles daños en estos, producidos bien por agente externos, tales como golpes, por desprendimientos o corrimientos del terreno, o por su deterioro con el paso del tiempo.

Se deberán colocar refuerzos o modificar las zapatas en aquellos en los que se pueda detectar algún tipo de anomalía. [41]

Abolladuras provocadas por agentes externos

Debido a que como ya se ha nombrado, normalmente las tuberías se encuentran a lo largo de laderas de las montañas, o en zonas más inaccesibles y colocadas a la intemperie, estas están expuestas a los golpes por agentes externos, tales como caídas de árboles, desprendimientos de rocas de menor o mayor tamaño.

Es por ello, por lo que se deberá realizar una inspección y revisión cada cierto periodo de tiempo a lo largo de la misma, en busca de abolladuras o daños sobre la superficie de esta. [41]

Atascos internos (desarenador)

Se debe realizar una limpieza interior de las tuberías forzadas con la finalidad de prevenir acumulaciones de costras y sedimentos, así como una extracción de la carga de los desarenadores de la tubería para evitar el colapso de los mismos y por lo tanto un atasco.

Esta limpieza interna puede realizarse lanzando por el interior de la tubería desde el principio hasta el final de la misma unos cepillos, para que a medida que estos avanzan vayan limpiando la tubería por dentro y retirando los sedimentos adheridos a la pared de esta. También se puede utilizar el martilleo en la superficie exterior de la misma mediante un sistema de martillos especialmente diseñado para ello, con el fin de des adherir los sedimentos por la vibración de la tubería mediante los golpes. [41]

7.6. Turbina hidráulica

Revisión de todos los sistemas mecánicos de los inyectores (apertura correcta, etc.)

A medida que va transcurriendo el tiempo los inyectores y sus sistemas mecánicos internos (agujas, distribuidores, pistón, etc.). Se van deteriorando, debido a que estos están fabricados de un material especial, por lo que transcurrido un tiempo tendrán que ser desmontados y cambiados.

Pero, sin embargo, el engrase y la lubricación de estos componentes cada cierto periodo de tiempo si consigue alargar su vida útil y conseguir que este deterioro sea más longevo en el tiempo.

Es por ello que cada cierto periodo de tiempo se debe realizar un mantenimiento basado por un lado en el engrase y la lubricación de los inyectores y todas sus partes mecánicas, y por otro en una inspección en busca de ruidos o sonidos ajenos a los producidos en el funcionamiento normal de operación, ya que se ha detectado que cuando alguna parte se rompe y se atasca en la tobera este desvía el chorro de agua produciendo un sonido

extraño que llama bastante la atención, lo que denota que se debe realizar un cambio de algún componente de los inyectores.

Destacar también que cuando se cambia alguno de los componentes del inyector tal como las agujas, ya que se debe desmontar todo el componente y cambiarlo en un lugar adecuado se aprovecha para cambiar algunas otras partes del inyector tales como el pistón, debido a la complejidad del sistema y de su montaje y desmontaje. [41]



Imagen 30. Inyector y aguja. [41]

Desajustes del eje debido a mala lubricación

Los cojinetes son los elementos cuya función es la de alinear el eje de la turbina con el eje del alternador, manteniéndolos correctamente asentados. En estos componentes es muy importante la lubricación de las conchas, parte que reviste al eje, y encargada de estar en contacto con el cojinete, esto se debe a que si el cojinete no se encuentra perfectamente lubricado el calentamiento produciría un desgaste sobre la concha, desembocando en un desajuste del eje.

Por lo tanto, se debe realizar una revisión periódica del buen funcionamiento de los sistemas de lubricación de los cojinetes así como del circuito de refrigeración para el enfriamiento del aceite de lubricación. Además, se debe prestar especial atención a los sobrecalentamientos de las conchas, debido a

que estos son indicadores directos asociados a problemas de lubricación (lubricación errónea, falta de aceite, aceite sucio, aceite de mala calidad, etc. [41,42]

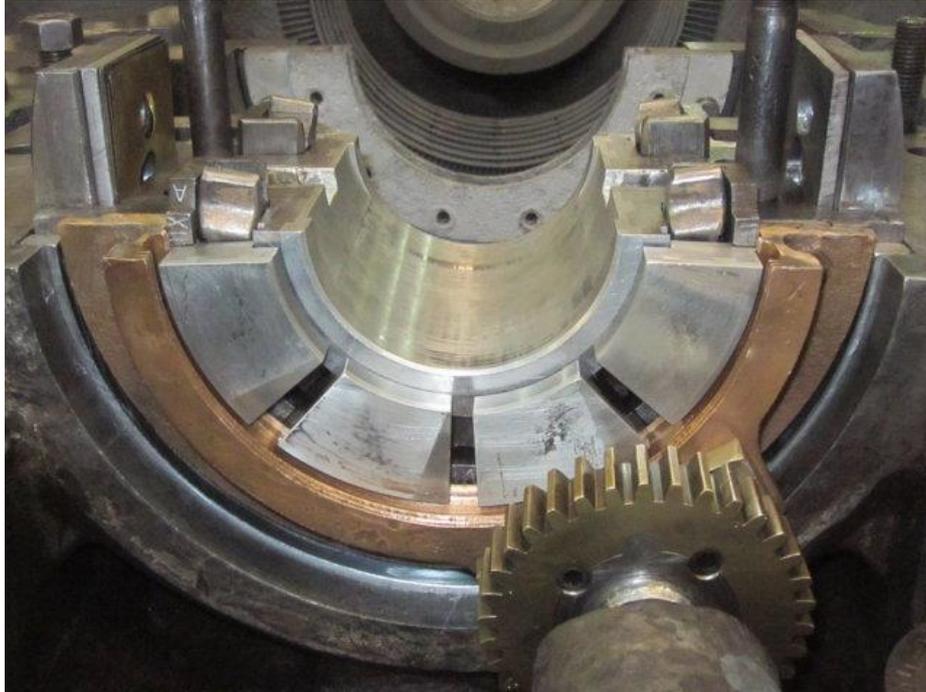


Imagen 31. Cojinete de una turbina. [43]

Daños en los alabes por cavitación

Uno de los principales problemas producidos sobre los alabes de las turbinas son las picaduras o grietas producidas sobre los mismos debido al fenómeno de cavitación el cual se podría definir como la formación y posteriormente la implosión de burbujitas de vapor de agua. Esto se produce en el momento en el que la presión estática del agua alcanza la presión de vapor del agua, momento en el que el agua se vaporiza formando burbujas y continuación estas implosionan, creando serios problemas en los alabes de la turbina.

Generalmente, el mantenimiento a realizar sobre los alabes, a no ser que el daño se denote previamente y se deba actuar con brevedad, se realiza al desmontar la rueda de la turbina cada cierto periodo de tiempo, periodo que suele ser de años, debido a que es un proceso complejo y costoso de realizar.

Cuando se desmonta la rueda de la turbina se debe realizar una inspección de los alabes en busca de picaduras, gritas o erosión en las aristas o cucharas. [41, 42, 44]



Imagen 32. Erosión por cavitación en los alabes de turbina. [45]

Problemas en los alabes (Erosión y desgaste, Roturas por vibraciones)

Añadidos a los daños producidos por la cavitación en los alabes de la turbina, explicados en el apartado anterior también se producen daños sobre los alabes por otros motivos que se van a explicar a continuación, y los cuales también se debe prestar especial atención.

Uno de estos, son los daños producidos por la erosión sobre los alabes debida a la arena o cuerpos muy pequeños transportados por el agua y que no han podido ser filtrados previamente, la presencia de estos cuerpos proyectados por el inyector sobre la turbina puede causar erosión sobre los alabes.

Por otro lado, están los daños provocados sobre estos por la entrada de objetos de mayor diámetro en la turbina, tales como piedritas etc. Que no se hayan conseguido filtrar previamente por algún motivo, estos cuerpos pueden llegar a crear bloqueos en la turbina o la destrucción de los alabes.

A su vez, también se pueden producir daños sobre los alabes debido a vibraciones de los mismos, vibraciones provocadas por mal estado de los cojinetes, desajustes del eje, desequilibrios del rotor u otros motivos.

Por tanto, se deberá realizar un mantenimiento basado en la inspección auditiva en busca de sonidos extraños, que puedan denotar la presencia de algún problema en los alabes, además de la inspección visual a realizar una vez desmontada la rueda de alabes de la turbina para un mantenimiento o revisión más exhaustiva, tarea que se realizará en un periodo de tiempo más longevo. [41, 42, 44]

Desgaste de los deflectores de la turbina

Al mismo tiempo que se realice la inspección de la rueda de alabes de la turbina se deberá aprovechar para realizar el mantenimiento de los deflectores de chorro. Se deberá hacer una inspección de los mismos en busca de indicios de desgaste, erosión o grietas producidas por cavitación; en busca de una perfecta alineación con el chorro proyectado por la aguja del inyector; y en busca de un buen funcionamiento del sistema completo a la hora del paro de la turbina.

Además, se deberá realizar también al mismo tiempo de esta inspección el correcto engrasado de todas las partes mecánicas móviles que componen el sistema de deflexión. [41, 42]

Revisión de todos los indicadores (sensores, detectores, alarmas)

En función de su uso y a lo largo del tiempo, cualquiera de los componentes de medición tales como detectores, sensores de temperatura o presión, alarmas etc. Pueden dejar de funcionar, incluso fallar reportando mediciones incorrectas.

Es por ello que se debe realizar una inspección y comprobación del buen funcionamiento de todos los sistemas de indicación de la turbina, en busca de falsas medidas, medidas erróneas, falta de mediciones, etc.

Revisión de los sistemas en busca de fugas de aceite y de agua (puntos soldadura)

A lo largo del funcionamiento y vida útil de la central en ocasiones se producen fugas tanto de agua del sistema de refrigeración, como del agua que mueve la turbina; así como fugas de aceite perteneciente a la lubricación. Estas fugas pueden producirse por numerosos motivos, tales como rotura de manguitos, desgaste de juntas, grietas en los puntos de soldadura o incluso problemas mayores.

Es por ello que se debe realizar continuamente un mantenimiento basado en una revisión en busca de fugas o goteos tanto de agua como de aceite, para poder identificar de donde proviene y arreglarlo antes de que desemboque en un problema mayor.

7.7. Alternador

Fugas de lubricante que puedan producir desgastes en los cojinetes

La lubricación de los cojinetes del alternador tanto el superior como el inferior es un factor a controlar, ya que estos deben estar correctamente lubricados para evitar el desgaste agresivo que se produciría por la falta de lubricación y la elevada temperatura que se produciría por la falta de esta.

Es por ello que se debe realizar un control de la lubricación de los cojinetes, control que será tanto visual, en busca de fugas en el sistema de lubricación; como electrónica a través de sensores encarados de medir la temperatura de los cojinetes, del aceite de lubricación y de los niveles de aceite de lubricación (nivel bajo y nivel alto). [9]

Desgaste y acumulación de suciedad de las escobillas

Las escobillas o anillos rozantes están fabricados de carbón, es por ello que se desgastan y se ensucian debido al mismo desgaste de estas, lo que podría desembocar en una mala conducción de la electricidad.

Es por ello por lo que se debe realizar un mantenimiento cada cierto periodo de tiempo sobre las escobillas, en este mantenimiento se debe cambiar la polaridad de las escobillas cada cierto tiempo para que así tengan un desgaste uniforme, se debe realizar una limpieza de la suciedad acumulada de las mismas, se debe revisar su desgaste y cambiarlas antes de que se desgasten por completo para evitar el deterioro del anillo rozante y también se debe observar su correcta colocación y ajuste en el porta escobillas. [41]

Holguras en los entre hierros

Primero se debe explicar que el entrehierro es el espacio de aire entre el núcleo del estator y el núcleo del rotor del alternador. En este espacio es en el cual se genera el campo magnético creado por el rotor y el estator durante el funcionamiento de la máquina, y por el cual circula el flujo magnético, cruzándolo el doble de veces como polos tenga la máquina en cada fase.

Una vez explicada la función del mismo, el mantenimiento a realizar en el entre hierro se basa en medir la distancia del entrehierro y compararla con la medida en mantenimientos anteriores, realizando así una trazabilidad de esta distancia. Para así poder detectar si se aumenta esta, lo cual significaría un desajuste entre el rotor y el estator, algo que afectaría perjudicialmente sobre el funcionamiento del alternador. [42, 46]

Control de temperatura por calentamiento del rotor y el estator

Se deberá realizar un control de las temperaturas tanto del rotor como del estator del alternador, a que un sobrecalentamiento tanto de uno como del otro pueden ser excesivamente nocivos para la máquina si esta trabaja a elevadas

temperaturas durante mucho tiempo, pudiendo llegar a producir deformaciones en diversas partes de la máquina. [47]

Fallo del sistema de refrigeración por aire

Uno de los factores a los que más atención se le debe prestar a la hora de realizar el mantenimiento de generador es al sistema de refrigeración por aire mediante ventiladores, lo que permite mantener los devanados del generador a la temperatura adecuada.

Se debe destacar que uno de los factores que más limita la potencia y la vida útil del generador son las temperaturas demasiado elevadas que puedan llegar a alcanzar sus partes. Esto se debe a los roces mecánicos, las corrientes de los conductores, que generan pérdidas en forma de calor (efecto joule), y a las pérdidas debidas a la histéresis del entrehierro.

Debido a esto se deberá realizar un mantenimiento periódico del buen funcionamiento del sistema de refrigeración por aire del alternador, asegurándose de que todos los ventiladores encargados de proyectar el aire sobre este mismo trabajan adecuadamente.

Además habrá que cambiar y limpiar a su vez todos los filtros colocados a la boca de la toma de aire de los ventiladores, los cuales se encargaran de filtrar el aire y evitar la entrada de aire sucio al alternador. [42]

Revisión del ajuste de conexiones y terminales (afloje por vibraciones)

Debido a las vibraciones producidas durante el funcionamiento del alternador se podría dar el caso de que tras un periodo de tiempo se fueran aflojando las conexiones del alternador, algo que sería perjudicial para su funcionamiento, ya que podrían llegar a tocarse entre ellas o con otras partes del propio alternador y provocar un cortocircuito.

Es por esta razón, por la cual se debe realizar una supervisión y un reapriete con llave dinamométrica de los terminales de conexión cada cierto periodo de tiempo. [48]

Inspección externa en busca de vibraciones o ruidos extraños

Tal y como ya se ha indicado con anterioridad se deberá realizar también una inspección visual y auditiva del generador en busca de vibraciones o ruidos ajenos a los producidos durante el funcionamiento en condiciones normales.

Ya que aunque esta tarea parezca insignificante en el mantenimiento, será una de las más importantes debido a que el operador conoce perfectamente los ruidos y vibraciones realizados por la máquina, y este será capaz de percatarse rápidamente cuando algo va mal, pudiendo atajar el problema con rapidez evitando así problemas mayores.

Limpieza de los devanados por posible ensuciamiento.

Cada cierto periodo de tiempo se debe realizar una limpieza minuciosamente de los devanados del rotor y del estator, debido a que estos sufren un ensuciamiento debido al polvo durante su funcionamiento.

Dicha limpieza se debe realizar de una forma exhaustiva aspirando el polvo más superficial, soplando el más interior con compresores e incluso limpiando con cepillos los lugares más pequeño y recónditos, hasta cerciorarse de haber eliminado toda la suciedad acumulada.

Este proceso es muy importante en el mantenimiento del generador, ya que a medida que pasa el tiempo esta suciedad reduce la vida útil de los aislamientos. [42]

Medición del aislamiento de los devanados

A la hora de realizar el mantenimiento del alternador se deberá realizar una medición del aislamiento de los devanados del mismo, para ello se utilizará un mega óhmetro o megger.

Se deberán tomar medidas del aislamiento cada 24h desde el inmediato apagado de la misma, y previamente a limpiar la máquina, para posteriormente compararlos con los valores post-limpieza.

Si tras la limpieza los valores obtenidos de aislamiento siguen siendo bajos esto quiere decir que la máquina ha adquirido humedad, y por tanto a disminuido los valores de aislamiento, algo que se deberá solucionar sometiéndola a un proceso de secado.

Este proceso de secado se basa en poner en funcionamiento la máquina aislándola del sistema y haciéndola girar a su velocidad nominal y aumentando el voltaje progresivamente hasta llegar a la intensidad nominal, pero con las bobinas en situación de cortocircuito. [41]

Análisis de temperatura (Termografía)

EL análisis de temperatura se realizará mediante la técnica de la Termografía Infrarroja, la cual es capaz de reproducir una imagen visible, al ser capaz de captar la radiación infrarroja emitida por cualquier objeto en función de la temperatura superficial del mismo, mediante una cámara termografía capaz de reproducir una imagen (termograma) con una gama de colores en la que se representan las temperaturas.

Esta técnica se ha convertido en imprescindible en el mantenimiento, ya que permite conocer cualquier fallo que se manifieste con un cambio en la temperatura de su superficie, midiendo los cambios de temperatura en el espectro, por lo que permite predecir el fallo electromecánico antes de que se produzca y anticiparse a él antes de que ocurra una avería de gran tamaño

siempre y cuando esa variación de temperatura pueda ser detectada y por tanto comparada en el espectro.

Por lo tanto, el uso de esta técnica permite predecir los fallos en el futuro cercano o a mediano plazo y asociado a ello predice por lo tanto una parada de planta un siniestro, lo cual permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de paradas imprevistas o no programadas gracias a su capacidad de predicción. [48]

7.8. Transformador

Control e inspección visual y auditiva externa en busca de ruidos, vibraciones o fugas indeseadas de aceite y control del estado y nivel del mismo.

Se debe realizar periódicamente una inspección tanto visual como auditiva de todo el generador en busca de ruidos, vibraciones extrañas o fugas de aceite indeseadas e inusuales, prestando especial atención a juntas, soldaduras, uniones de tuberías, etc.

En el caso de detectar alguno de los problemas citados anteriormente este será un detonante de que se está produciendo algún fallo sobre el que se debe actuar.

Además, se deberá de revisar y controlar el estado y nivel de aceite del transformador en el caso de que este sea un transformador en baño de aceite. [9]

Limpieza externa del transformador

Se debe realizar una limpieza periódica de todas las partes del transformador, limpiándole con una dilución neutra de agua y jabón o con un paño seco en las partes más delicadas, para retirar todos los restos de polvo acumulado, suciedad o restos de aceite del generador.

A su vez, se deberá realizar una inspección cada cierto periodo de tiempo de la pintura del generador en busca de zonas en las que esta se esté deteriorando o descascarillando, con la finalidad de reaar esas zonas y restaurar la pintura del mismo. [9, 49]

Análisis de temperatura (Termografía)

El análisis de temperatura mediante la técnica de la Termografía Infrarroja se realizara de la misma manera que para el alternador, explicada previamente en este trabajo.

A continuación, se muestra una imagen de cómo sería una termografía para un transformador.

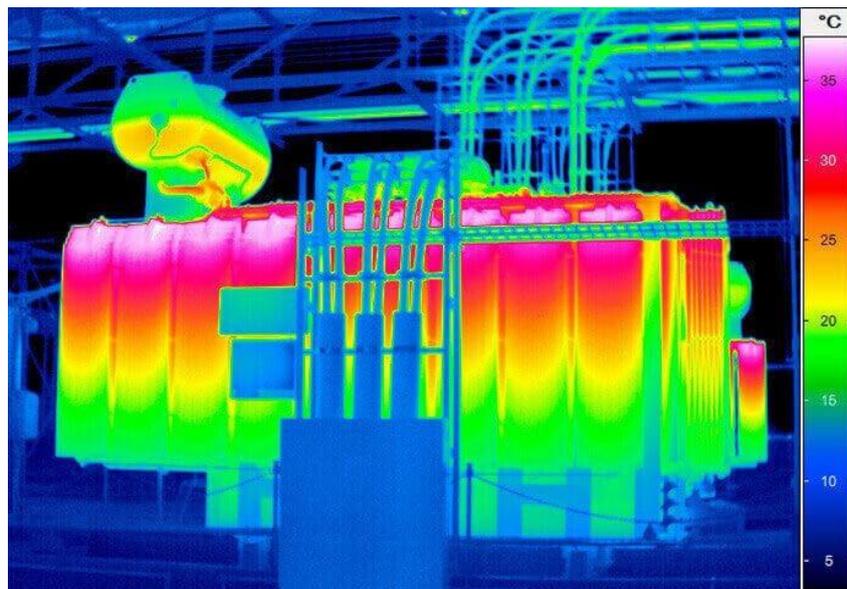


Imagen 33. Termografía de un transformador. [50]

Pruebas eléctricas (aislamiento, derivaciones, puestas a tierra, corriente excitación, resistencia eléctrica)

Cada cierto tiempo se debe realizar una serie de pruebas eléctricas del generador, en las que se debe medir

- La resistencia de aislamiento entre devanados, es decir entre las fases del transformador
- El aislamiento entre fases y tierra
- La resistencia de puesta a tierra, la cual deberá ser menor de 5 ohmios;
- La corriente de excitación
- La resistencia eléctrica
- Las derivaciones del transformador

Se deberá realizar también un control de carga del generador con la finalidad de que la carga suministrada por el transformador es para la que fue diseñado, y que no está trabajando por encima de ella, y por tanto estaría trabajando por encima de su nivel normal deteriorándolo. [9, 49, 51]

Ensayo de presión del tanque

Cada cierto periodo de tiempo se debe de someter al tanque de aceite del transformador, en caso de que este sea un transformador en baño de aceite, a un ensayo de presión, para de esta manera medir la hermeticidad del tanque, ya que si hay una pequeña fuga o poro el aceite tendera a escapar por este debido a la diferencia de presiones. [9]

Control e inspección de seccionadores y circuitos eléctricos de conexión a red

Debido tanto al paso del tiempo, y por tanto las maniobras de apertura y cierre realizadas en ese tiempo, como de las fallas o problemas que el seccionador deba despejar este se deteriorara.

Es por esto que se debe de realizar un mantenimiento de los seccionadores y elementos de protección cada cierto periodo de tiempo, en este mantenimiento se deberá tener en cuenta o realizar las siguientes acciones [9]:

- Inspección de puestas a tierra, oxidación y corrosión

- Medición de aislamiento total o factor de potencia
- Control de tiempos de maniobra
- Grado de ensuciamiento y lubricación
- Número de actuaciones del aparato
- Verificación de conexiones y cableado de control
- Medición de la resistencia de aislamiento

Ensayos de aislamiento

Mediante el ensayo de aislamiento se puede medir el grado de aislamiento entre dos elementos conductores, tal y como su nombre indica. Este ensayo se realiza inyectando una tensión continua entre los 2 puntos sobre los que se quiere medir el aislamiento y aporta la medida de la resistencia de aislamiento. La cual permite obtener la calidad del aislamiento entre ambos elementos conductores y además aporta una gran información acerca del riesgo de circulación de corrientes de fuga.

Esa medición se realiza con un equipo de medida que recibe el nombre de mega óhmetro. [52]

7.9. Canal de desagüe

Fuerza de salida del agua que pueda crear desgaste y erosión.

Aunque al realizar el canal se haya tenido en cuenta la fuerza del agua a la que vaya a estar sometido construyéndolo así con materiales más resistentes se debe de realizar una supervisión y en su caso un mantenimiento del canal de desagüe.

Esto es debido a que la fuerza de salida del agua y la continuidad de salida de la misma son difíciles de predecir, por lo que este deterioro puede verse agravado. [53]

Revisión del cuenco amortiguador

Se debe de realizar una revisión del estado del cuenco amortiguador colocado a la salida del canal para devolver el agua al cauce del río con una velocidad y una fuerza normal. Es posible que debido a esta fuerza el cuenco se deteriore o se deforme, por lo que se debe de revisar y rearmar en su defecto. [54]

Revisión de resalte hidráulico

Hay que comenzar indicando que el fenómeno de resalto hidráulico se produce en la transición del movimiento del agua de régimen rápido a régimen lento, debido al cual el flujo se vuelve turbulento y abrupto, disipando gran parte de la energía aun contenida en el agua a la salida de la turbina.

Debido al resalto hidráulico el calado del agua aumenta de manera importante. Experimentalmente se ha podido conocer que las mejores condiciones para el resalto son cuando el régimen de este es ondulado y el resalto es estable, condiciones en las que presenta el mejor comportamiento y la energía disipada es del 50-70%.

Por lo tanto, se deberá controlar el resalto hidráulico con la finalidad de mantener el resalto en sus condiciones de estabilidad. [55]

7.10. Líneas de transporte eléctrico

Rotura de los anclajes torres por esfuerzos producidos por agentes externos e inclemencias.

Se debe de realizar un mantenimiento y revisión de los anclajes que conforman las torres de transporte eléctrico debido a que los pernos que las sujetan pueden aflojarse o deteriorarse pudiendo llegar a producir la rotura o volcado de la torre cuando las inclemencias meteorológicas son extremas o más desfavorables de lo normal. [56, 57]



Imagen 34. Torre de alta tensión derribada debido a las inclemencias meteorológicas. [58]

Oxidación y corrosión.

Las torres eléctricas construidas para el transporte de la energía eléctrica generada en la central suelen construirse de hierro o acero galvanizado. A lo largo de los años este galvanizado se va deteriorando debido a las inclemencias meteorológicas, y tanto los propios ángulos que forman la torre como los tornillos que les sujetan se van oxidando y corroyendo.

Por lo tanto, es necesario realizar un mantenimiento en el que se sustituyan las partes o elementos corroídos o en su caso se realicen tareas de lijado y pintado con pintura anticorrosión para alargar su vida útil si es posible. [57, 58]

Revisión de daños en los aisladores y control e inspección de seccionadores y circuitos eléctricos de conexión a red

Se debe realizar un mantenimiento sobre todo de limpieza sobre los aisladores con la finalidad de evitar el deterioro de los mismos por acumulación de suciedad, así como la desconexión de la red por este motivo.

Generalmente se realiza un mantenimiento mediante lavado a presión con camión o helicóptero, retirando así dicha suciedad o salinidad en las zonas más

próximas a las costas. A su vez, si se detectase algún aislador dañado se debería realizar la tarea de su reparación.

Al mismo tiempo se deberá realizar una inspección y control de todos los seccionadores y circuitos de conexión a red asegurándose de que todos ellos funcionan adecuadamente. [57, 58]

Limpiezas y desbroces perimetrales bajo las líneas eléctricas.

Bajo las líneas eléctricas tal y como es lógico crece la maleza y los árboles, por lo que se deben realizar tareas de desbroce (tala, poda y limpieza) cada cierto tiempo

Esta limpieza se realiza, por un lado, a modo de cortafuegos, para reducir el riesgo de que se produzca un fuego bajo ellas y en caso de que se produzca evitar que este se propague y pueda llegar a dañar las estructuras. Y por el otro, con la finalidad de evitar fallos y desconexiones producidos por la caída de árboles sobre la red. [57, 58]

Hundimientos del terreno por el peso de las mismas.

Sera necesario realizar también un mantenimiento periódico del estado de la superficie bajo la base de la torre eléctrica, debido a que aunque se realice una buena cimentación se puede dar el caso de que debido a grandes lluvias y avenidas el terreno bajo la torre se humedezca demasiado pueda llegar a sufrir hundimientos o corrimientos de tierra.

Pudiendo causarle este motivo un daño a la estructura de la torre o un fallo en la línea si esto provoca una rotura de alguno de los conductores debido a un sobreesfuerzo de tracción. [57, 58]

8. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Una vez definidos los trabajos a realizar para cada una de las partes de la central, se va a realizar el plan de mantenimiento preventivo, en el cual se basa este proyecto. Para ello, se asignará la periodicidad de realización y un código de identificación a cada uno de los ítems a revisar a la hora de realizar el mantenimiento de la central, para posteriormente configurar el plan de mantenimiento preventivo a lo largo del año.

Los periodos de tiempo seleccionados van a ser: diario, semanal, quincenal, mensual, trimestral, semestral, y anual.

El código se va a basar en la inicial o iniciales de la parte de la central sobre la que se va a realizar ese mantenimiento, seguido de un número en función del orden de citación de la tarea. Siendo las iniciales a utilizar las siguientes:

- Embalse: E
- Presa: P
- Rejilla y limpia rejillas: RLR
- Compuertas y válvulas: CV
- Conducciones y tubería forzada: CTF
- Turbina hidráulica: TH
- Alternador: A
- Transformador: TR
- Canal de desagüe: CD
- Líneas de transporte eléctrico: LTE

Por lo tanto el periodo y el código para cada uno de los trabajos a realizar en cada parte de la central a la que afectan serán los definidos a continuación.

8.1. Embalse

- Acumulación de lodos y barros que modifiquen los esfuerzos de la presa –
(E1) Anual

- Revisión de animales ahogados – (E2) **Diaria**
- Control del nivel del embalse (Aparatos y equipos de medida de niveles, etc.) – (E3) **Semanal**

8.2. Presa

- Revisión de los drenajes para evitar condensaciones – (P1) **Trimestral**
- Pandeos debido al empuje sometido por el agua y sedimentos – (P2) **Quincenal**
- Obstrucción de las juntas de dilatación – (P3) **Trimestral**
- Depresión debido a las filtraciones de agua pajo la presa ya que el terreno no es impermeable y por el propio peso de la misma – (P4) **Semestral**
- Filtraciones a través de la presa – (P5) **Quincenal**
- Péndulos de oscilación – (P6) **Quincenal**
- Pérdida de verticalidad – (P7) **Semanal**
- Grietas en la estructura de la presa – (P8) **Semanal**

8.3. Rejilla y limpia rejas

- Acumulación de grandes obstáculos que el limpiarejas no pueda retirar – (RLR1) **Diario**
- Abolladuras o daños – (RLR2) **Quincenal**
- Incrustación de objetos – (RLR3) **Semanal**
- Fallos en el sistema mecánico del limpiarejas – (RLR4) **Mensual**

8.4. Compuertas y válvulas

- Fugas de aceite del sistema oleo hidráulico (lubricación, botellas hidráulicas) – (CV1) **Mensual**
- Oxidación y Corrosión – (CV2) **Trimestral**

- Limpieza del vástago de la válvula por posibles acumulaciones de arenas o barros y lubricación del mismo. – **(CV3) Semestral**
- Obstrucción de los aliviaderos de fondo. – **(CV4) Mensual**
- Fugas en las válvulas (por el vástago) o compuertas (fugas de agua en los puntos de soldadura – **(CV5) Semanal**
- Revisar desajustes de válvulas y compuertas – **(CV6) Trimestral**
- Desgaste de los rodamientos y del sistema de apertura y cierre – **(CV7) Anual**
- Control de conectores, rodamientos, imanes del rotor, bobinados estator, de los servomotores de las compuertas y válvulas. – **(CV8) Semestral**

8.5. Conducciones y tubería forzada

- Revisar las aireaciones y ventosas – **(CTF1) Diario**
- Golpes de ariete (Expansiones y compresión) – **(CTF2) Mensual**
- Desgaste, erosión– **(CTF3) Semestral**
- Oxidación y Corrosión– **(CTF4) Trimestral**
- Fugas de tubería– **(CTF5) Diario**
- Roturas de los anclajes– **(CTF6) Semestral**
- Abolladuras provocadas por agentes externos – **(CTF7) Diario**
- Atascos internos (desarenador) – **(CTF8) Anual**

8.6. Turbina hidráulica

- Revisión de todos los sistemas mecánicos de los inyectores (apertura correcta, etc.) – **(TH1) Semanal**
- Desajustes del eje debido a mala lubricación – **(TH2) Quincenal**
- Daños en los alabes por cavitación – **(TH3) Anual**
- Problemas en los alabes (Erosión y desgaste, Roturas por vibraciones) – **(TH4) Semestral**
- Desgaste de los deflectores de la turbina – **(TH5) Anual**

- Revisión de todos los indicadores (sensores, detectores, alarmas) – **(TH6) Semanal**
- Revisión de los sistemas en busca de fugas de aceite y de agua (puntos soldadura) – **(TH7) Diario**

8.7. Alternador

- Fugas de lubricante que puedan producir desgastes en los cojinetes – **(A1) Diario**
- Desgaste y acumulación de suciedad de las escobillas – **(A2) Mensual**
- Holguras en los entrehierros – **(A3) Trimestral**
- Control de temperatura por calentamiento del rotor y de estator – **(A4) Diario**
- Fallo del sistema de refrigeración por aire – **(A5) Diario**
- Revisión del ajuste de conexiones y terminales (afloje por vibraciones) – **(A6) Semestral**
- Inspección externa en busca de vibraciones o ruidos – **(A7) Diario**
- Limpieza de los devanados por posible ensuciamiento – **(A8) Anual**
- Medición del aislamiento de los devanados – **(A9) Anual**
- Análisis de temperatura (Termografía) – **(A10) Trimestral**

8.8. Transformador

- Control e inspección visual y auditiva externa en busca de ruidos, vibraciones o fugas indeseadas de aceite y control del estado y nivel del mismo – **(TR1) Diario**
- Limpieza externa del transformador – **(TR2) Semanal**
- Análisis de temperatura (Termografía) – **(TR3) Trimestral**
- Pruebas eléctricas (aislamiento, derivaciones, puestas a tierra, corriente excitación, resistencia eléctrica) – **(TR4) Anual**
- Ensayo de presión del tanque – **(TR5) Anual**

- Control e inspección de seccionadores y circuitos eléctricos de conexión a red – **(TR6) Semestral**
- Ensayos de aislamiento – **(TR7) Anual**

8.9. Canal de desagüe

- Fuerza de salida del agua que pueda crear desgaste y erosión. – **(CD1) Semestral**
- Revisión del cuenco amortiguador – **(CD2) Semestral**
- Revisión de resalte hidráulico – **(CD3) Mensual**

8.10. Líneas de transporte eléctrico

- Rotura de los anclajes torres por esfuerzos producidos por agentes externos e inclemencias. – **(LTE1) Anual**
- Oxidación y corrosión – **(LTE2) Anual**
- Revisión de daños en los aisladores y control e inspección de seccionadores y circuitos eléctricos de conexión a red – **(LTE3) Semestral**
- Limpiezas y desbroces perimetrales bajo las líneas eléctricas – **(LTE4) Anual**
- Hundimientos del terreno por el peso de las mismas – **(LTE5) Anual**

Una vez asignado el código y el periodo de realización de cada trabajo se va realizar un calendario anual dividido por semanas, en el cual se distribuirán los trabajos en función de su periodo. El objetivo de este calendario será la correcta organización de todos los trabajos para no hacerlos coincidir en exceso en las mismas semanas, sino repartirlos a lo largo del año de manera equitativa.

En dicho calendario se han incluido también los trabajos con periodicidad diaria sombreando estos con color verde, para diferenciarles de los de periodo semanal.

A partir de este calendario el encargado deberá sacar cada semana a los operarios de mantenimiento una hoja de trabajo con las tareas a realizar en esa semana, añadidas a las de realización diaria. A continuación se adjuntara tanto el parte de trabajo semanal como el calendario realizado para el plan de mantenimiento preventivo.

Tanto el calendario anual de trabajos como un ejemplo del parte de trabajo para la primera semana del año se encuentran adjuntos en el **Anexo Informático 1**.

9. ADAPTACIÓN DEL PLAN A UN CASO REAL (Central hidroeléctrica de Sollano)

En este apartado, una vez se ha definido un plan de mantenimiento general para las centrales hidroeléctricas, se va a proceder a adaptarlo a la Central Hidroeléctrica de Sollano, ubicada a pie de presa del embalse de Ordunte.

Para ello, lo primero de todo se va realizar una descripción de la instalación, para una vez conocida la conformación de la central adaptar el plan a la misma.

9.1. Descripción de la Central de Sollano

En este apartado, primero se va a proceder a ubicar geográficamente la central, para posteriormente realizar una descripción de los principales elementos que la componen.

9.1.1. Situación geográfica de la central

La central hidroeléctrica de Sollano se encuentra ubicada a los pies de la presa de Ordunte, situada en el embalse de Ordunte. Este embalse como su propio

nombre indica se encuentra ubicado en el tramo final del río Ordunte, previamente a que este se anexe al río Cadagua.

Todo el conjunto de embalse, presa así como la central se encuentra ubicado a unos 3 km del entorno del pueblo de Villasana de Mena, municipio perteneciente al Valle de Mena, situado en la Comunidad autónoma de Burgos, pero a su vez colindante al noroeste con Cantabria y al norte/noreste con Vizcaya, haciendo las veces de divisoria las cordilleras montañosas que rodean al embalse. [3, 59, 60]



Imagen 35. Ubicación del embalse y presa de Ordunte. [60]

9.1.2. Descripción de los elementos de la central

A continuación, se va a realizar una descripción de los elementos fundamentales que componen la central, aportando los datos más significativos de cada uno de ellos.

Embalse

El embalse de Ordunte pertenece a la cuenca hidrográfica del Cadagua, cuenca que ocupa unos 48 km², este embalse recoge las aguas del río Ordunte y

Cernejá, y es concesión del ayuntamiento de Bilbao al cual satisface hidrológicamente en su mayoría, siendo su principal fuente de abastecimiento.

Las principales características del embalse son las siguientes: [3, 59, 60]

- Pluviometría anual de la zona: 1300 mm
- Aportación media anual: 63,9 hm³
- Cota máxima a nivel normal: 308 m.s.n.m.
- Cota mínima nivel extraordinario: 284 m.s.n.m.
- Superficie ocupada por el embalse: 139 ha
- Volumen útil del embalse: 22 hm³



Imagen 36. Embalse de Ordunte. [62]

Presa

La presa del embalse de Ordunte se construyó en el año 1934, es una presa de gravedad en forma de arco de radio 300 m y sección transversal triangular construida en hormigón.

Dicha presa, la cual es titularidad del ayuntamiento de Bilbao, al igual que el embalse, se encuentra en estado de explotación, cuyo principal uso es el de abastecimiento, aunque también se utiliza para la producción de energía.

Los principales datos de la presa se aportaran a continuación: [3, 60, 61]

- Cota de coronación: 310 m.s.n.m.
- Cota máxima del agua: 308 m.s.n.m.
- Altura desde los cimientos: 56 m
- Longitud de la coronación: 376 m
- Anchura de la coronación: 4,5 m
- Cota de la cimentación: 255 m
- Cota del cauce en la presa: 262 m
- Volumen del cuerpo de la presa: 220.000 m³
- Tipo de evacuación: 4 aliviaderos de labio fijo
- Cota de los aliviaderos: 308 m.s.n.m.
- Capacidad de evacuación por aliviadero: 80 m³/s

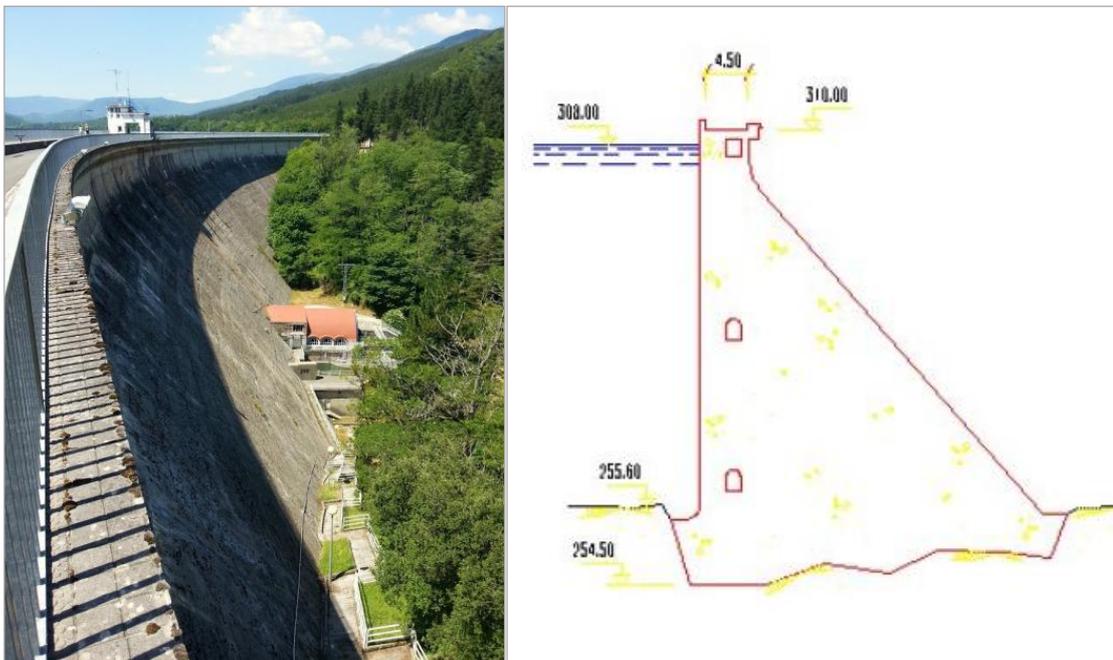


Imagen 37. (Izq.) Presa de Ordunte. (Dcha.) Principales datos de la presa. [59, 64]

Rejilla y limpia rejas

La central de Sollano cuenta con una rejilla de acero inoxidable con un paso de agujero de 30 mm y un sistema de limpia rejas accionado automáticamente. [3, 59, 60]

Compuertas y válvulas

Tanto en la tubería forzada de abastecimiento a la central hidroeléctrica como en la regulación de la turbina hay una serie de válvulas las cuales cuentan con las siguientes características: [3, 59, 60]

- Válvulas de mariposa tubería forzada: 2 uds de DN 700 y PN 10, 2 uds DN 500 y PN 10
- Válvulas de chorro hueco tubería forzada: 2 uds de DN 400 y PN 10
- Válvulas de mariposa regulación de la turbina: 2 uds de DN 700 y PN 10

Conducciones y tubería forzada

La central de Sollano cuenta con 2 tuberías de abastecimiento de agua a la central. La primera de ellas cuenta con una longitud de 9,5 m y un diámetro nominal (DN) de 700 mm, mientras que la segunda de las tuberías cuenta con una longitud de 7,6 m y un diámetro nominal de 500mm.

Ambas tuberías son de acero al carbono y cuentan con un espesor de pared de 7mm. [3, 59, 60]

Turbina

Recientemente la empresa Tecuni Bilbao ha realizado el cambio de la turbina en la central de Sollano debido a que la anterior turbina estaba sobredimensionada. La turbina que se ha colocado es una turbina Francis de eje vertical y de caudal máximo 1200 m³/s.

Los principales datos de esta turbina se aportaran a continuación: [3, 64]

- Caudal nominal: 1200 m³/s
- Salto bruto máximo: 47,1 m
- Salto bruto mínimo: 30,1 m
- Salto neto máximo: 45 m
- Salto neto mínimo: 28 m

- Potencia nominal de la turbina: 1 MW
- Velocidad nominal turbina: 750 rpm

Alternador

El alternador con el que cuenta la central es un alternador asíncrono de 600 kW cuyas principales características son: [3]

- Tensión: 380 V
- Frecuencia: 50 Hz
- $\cos \phi$: 0,856
- Velocidad: 750 rpm
- Forma constructiva: B-3 (especial)
- Protección: IP-23
- Factor de servicio: S1
- Aislamiento: Clase F
- Calentamiento: Clase B
- Refrigeración: IC-01
- Funcionamiento: Paralelo con la red

Transformador

La central de Sollano cuenta con un transformador trifásico de refrigeración natural por silicona sintética. Cuyas principales características son:

- Potencia del transformador: 800 kVA
- Relación de transformación: 13200/380 V
- Frecuencia: 50 Hz
- Grupo de conexión: Dyn 11
- Regulación: ± 5 ; $\pm 7,5$; $\pm 10\%$
- Vcc: 6%

Canal de desagüe

La central cuenta con un canal de desagüe construido de hormigón armado cuya sección es de $5,4 \text{ m}^2$ y cuya longitud es de 20m. [3]

Líneas de transporte eléctrico

La central cuenta con una línea aérea de transporte eléctrico de alta tensión construida sobre postes metálicos de 1,1 Km de longitud. Esta línea de transporte eléctrico trabaja a 13,2 kV y está formada por 3 conductores aéreos de aluminio-acero tipo LA-56 de $54,6 \text{ mm}^2$. [3]

9.2. Adaptación del plan de mantenimiento a la central de Sollano

En este apartado se va a realizar la adaptación del plan de mantenimiento preventivo realizado de forma genérica en el apartado 7 del presente trabajo, a la central hidroeléctrica de Sollano definida previamente.

Tras realizar el análisis de la central se ha comprobado que el plan de mantenimiento se podría acoplar perfectamente a dicha central, ya que la central tipo para que se ha desarrollado el plan tiene unas características muy similares a la central tipo que se acaba de nombrar y para la cual se ha realizado el plan.

Encontrando únicamente diferencias por un lado, en el apartado de conducciones y tubería forzada, ya que la central de Sollano es una central a pie de presa, y por tanto la tubería forzada no transcurre a la intemperie, por lo que en este apartado se van a modificar algunas acciones.

Y por otro lado, destacar que debido a que la presa se construyó en 1934, lo cual hace indicar que se puedan producir fallos o problemas con más probabilidad que en presas más modernas, por lo tanto, se van a variar los periodos de las acciones que mantienen la misma, con la finalidad de realizar un seguimiento más exhaustivo.

Los cambios indicados serán los mostrados a continuación:

Presa

- Revisión de los drenajes para evitar condensaciones – **(P1) Trimestral**
- Pandeos debido al empuje sometido por el agua y sedimentos – **(P2) Semanal**
- Obstrucción de las juntas de dilatación – **(P3) Mensual**
- Depresión debido a las filtraciones de agua bajo la presa ya que el terreno no es impermeable y por el propio peso de la misma – **(P4) Trimestral**
- Filtraciones a través de la presa – **(P5) Semanal**
- Péndulos de oscilación – **(P6) Quincenal**
- Pérdida de verticalidad – **(P7) Semanal**
- Grietas en la estructura de la presa – **(P8) Diario**

En cuanto a los cambios realizados en la periodicidad de las tareas que afectan a la presa, considerando que esta debe llevar un mantenimiento y un seguimiento de los posibles problemas de manera más exhaustivamente debido a sus 87 años, se ha reducido el periodo en la mayor parte de los trabajos, quedando una vez adaptado este apartado tal y como se indica previamente.

Siendo estos cambios realizados los siguientes:

- Trabajo P1 pasa de trimestral a mensual.
- Trabajo P2 pasa de quincenal a semanal.
- Trabajo P3 pasa de trimestral a mensual.
- Trabajo P4 pasa de semestral a trimestral.
- Trabajo P5 pasa de quincenal a semanal.
- Trabajo P8 pasa de semanal a diario.

Conducciones y tubería forzada

- Golpes de ariete (Expansiones y compresión) – **(CTF2) Mensual**
- Desgaste, erosión – **(CTF3) Semestral**

- Oxidación y Corrosión– **(CTF4) Semestral**
- Fugas de tubería– **(CTF5) Diario**
- Roturas de los anclajes– **(CTF6) Semestral**
- Atascos internos (desarenador) – **(CTF8) Anual**

Del mismo modo en las tareas que afectan a las conducciones y tubería forzada también se han realizado algunos cambios debido a que las tuberías ya no transcurren al aire libre y que la longitud de entre 8 y 10 metros, por lo que se han variado algunos periodos de tiempo y eliminado otras tareas, quedando estas tal y como se ha indicado previamente.

Los cambios que se han realizado son los siguientes:

- Trabajo CTF1 se anula.
- Trabajo CTF4 pasa de trimestral a semestral.
- Trabajo CTF7 se anula.

Estos cambios se verán reflejados también en el calendario anual para la realización de dicho plan de mantenimiento preventivo ya aplicado a la central de Sollano, el cual se encuentra reflejado en el **Anexo Informático 2**.

9.3. Medios humanos y organigrama

En este apartado se va a determinar el personal necesario para realizar los trabajos requeridos en el plan de mantenimiento preventivo así como el organigrama de todos ellos.

Realizando la estimación oportuna en base a los trabajos que se deben realizar se ha estimado que será necesario contar con el siguiente personal:

- 1 Jefe de mantenimiento
- 1 Jefe de equipo
- 3 Oficiales de 1ª
- 3 Oficiales de 3ª

Todos ellos deberán contar con los conocimientos eléctricos y mecánicos requeridos por su categoría.

El organigrama de los trabajadores comenzara por el jefe de mantenimiento, siendo este el máximo responsable de las labores de mantenimiento, a este lo seguirá en orden jerárquico el jefe de equipo encargado de controlar el trabajo de oficiales de primera y oficiales de tercera, siendo estos últimos los de menor jerarquía.

Todos los trabajadores serán subcontratados a una contrata especializada en mantenimiento, excepto el jefe de mantenimiento el cual será miembro de la plantilla interna de la central.

Representando el organigrama de manera visual quedaría de la siguiente manera.

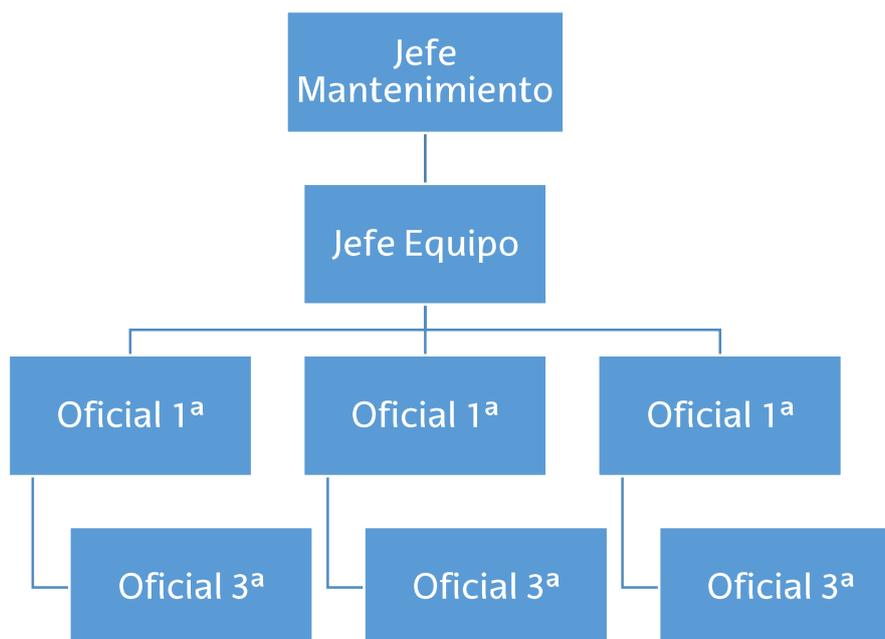


Figura 1. Organigrama del personal necesario para el mantenimiento.

9.4. Herramientas y repuestos

Por un lado, en cuanto a las herramientas de las que se dispone en la central hidroeléctrica para poder realizar el mantenimiento, la central cuenta con las herramientas básicas tales como:

- Juego de llaves mixtas hasta 42 m
- Llave de carraca con vasos hasta 42 mm
- Alicates planos y de puntas
- Juegos de destornilladores planos y de estrella
- Llaves inglesas hasta 42 mm y hasta 24mm
- Juego de llaves Allen
- Alicata pico loro
- Engrasadora y aceitera manuales
- Tijeras de electricista
- Máquina de soldar y guantes
- Escaleras metálicas
- Escuadra y regla metálicas
- Máquina de corte radial
- Juego de limas
- Polímetro
- Mega óhmetro

El resto de herramientas específicas necesarias para la realización de las labores de mantenimiento irán a cargo de la empresa subcontratada para la realización del mantenimiento, así como de la empresa la cual cuenta con la adjudicación del alquiler de maquinaria y herramienta.

Por otro lado, en cuanto a los repuestos a tener en el almacén de la central hidroeléctrica en este se contará con un stock de los repuestos de piezas tales como:

- Rodamientos
- Vástagos y juntas de válvulas,
- Tornillería en general,
- Anclajes para las tuberías,
- Escobillas de motores
- Rejilla
- Recambios para los servomotores
- Recambios para el limpia rejas

- Racores
- Componentes para los equipo de limpieza
- Cojinetes
- Fusibles eléctricos
- Bornes de conexión
- Filtros

El resto de recambios referentes a las turbinas o al alternador los aporta el fabricante por contrato, este deberá ser el encargado de tenerlos en stock en sus instalaciones y aportarlos de inmediato cuando la central hidroeléctrica los solicite. [65, 66]

9.5. Plan de seguridad y salud

En cuanto a lo referente al plan de seguridad y salud en el trabajo, este plan será obligatorio para poder realizar las labores de mantenimiento, por lo que se le exigirá a la contrata que lo presente, encargándose de evaluarlo y validarlo el responsable de prevención de la central. [66]

9.6. Controles de calidad y auditorias

En cuanto a los controles de calidad hace unos años surgió la idea de realizar auditorías de calidad tanto para la operación de la central como para el mantenimiento de la misma, por lo que se podría intentar plantear que los planes de mantenimiento estén amparados bajo las normas **ISO 9001 y 17025**, ambas referentes a la calidad. Asegurando de esta manera que la central solo estará condicionada por paradas por avería no contemplada o fenómenos atmosféricos adversos, es decir causas ajenas al mantenimiento. [67]

9.7. Plan de auscultación e inspección

En todo plan de mantenimiento existe la necesidad de recoger un plan paralelo de inspección y auscultación, para mediante el llevar un seguimiento más

exhaustivo de la evolución de la presa y ser capaces de detectar más rápidamente cualquier anomalía.

Este seguimiento se basa en la observación estructural de la presa y la interpretación de los resultados obtenidos. Esta observación se realiza en 2 partes, la primera de ellas realizada por personal no especializado, y serían las tareas de mantenimiento de la presa recogidas en el plan de mantenimiento preventivo elaborado para la central. Y la segunda, la cual se basa en la inspección auscultación, medición e interpretación de los resultados, y es elaborada por personal específico y cualificado para ello y generalmente externo a la planta.

Dicho análisis de la presa se debe realizar cada mes y todos los resultados obtenidos se deben plasmar en el Informe Anual de Explotación a enviar a la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Además de esto, cada 5 años se deberá realizar un Análisis General de la Seguridad de la presa y embalse, en el que se observaran todos los componentes, equipos, materiales y partes de ambos.

Por un lado, en cuanto a lo referente a la inspección la vigilancia es de gran importancia, ya que la mayor parte de las anomalías se consiguen detectar mediante visualizaciones directas antes que por el uso de los aparatos y equipos electrónicos. Estas inspecciones visuales del aprovechamiento deberán realizarse con carácter mensual por el equipo de auscultación e inspección y anualmente por el director de la explotación, a no ser que se reduzcan estos periodos si se detectase algún indicio de anomalía.

Por otro lado, por lo que respecta a la auscultación se realiza una serie de medidas tanto internas a la empresa, las cuales están recogidas ya en el plan de mantenimiento; como externas a la presa.

Para ellos se recaban y se analizan los datos aportados por la estación meteorológica, la sonda digital de presión, los aforadores interiores y exteriores, los piezómetros, los clinómetros, los pares medidores de juntas entre bloques, los extensómetros de varilla y la nivelación y alineación de bateolas y pantalla;

con la finalidad de recabar la suficiente información para mantener la seguridad de la presa.

La responsabilidad de realizar el programa de auscultación es del Ingeniero Director de la Explotación, bajo la supervisión del jefe de Servicio de Presas y a ayuda de un equipo experto en topografía para el estudio de la misma.

Finalmente se debe realizar la interpretación de los resultados tanto de la inspección como de la auscultación, lo que permite evaluar el comportamiento de la presa, a través de modelos matemáticos y estadísticos de comportamiento. Mediante los resultados obtenidos se puede encontrar en estado de situación normal o en estado de situación de emergencia pudiendo declarar la misma. [67]

10. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO (DIAGRAMA DE GANTT)

En este apartado se recoge la planificación del proyecto dividida por las diferentes acciones y el tiempo dedicado a cada una de ellas.

Por un lado se van a presentar las tareas realizadas junto con el periodo de tiempo dedicado a cada una de ellas, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tareas de la planificación del proyecto.

Tareas realizadas en el proyecto	Fecha inicio	Fecha fin
Búsqueda bibliográfica	16/04/2021	06/05/2021
Descripción de las partes de una central	06/05/2021	18/05/2021
Listado de ítems a revisar en cada parte	18/05/2021	05/06/2021
Descripción de cada ítem a revisar	05/06/2021	22/06/2021
Realización del plan de mantenimiento	22/06/2021	08/07/2021
Adaptación del plan a la central de Sollano	08/07/2021	19/07/2021
Realización de anexos	19/07/2021	22/07/2021
Conclusiones	22/07/2021	24/07/2021
Planificación del proyecto	24/07/2021	27/07/2021
Unión y ensamblaje de las partes del proyecto	27/07/2021	30/07/2021

Una vez definidas las tareas realizadas en el proyecto con el periodo de tiempo dedicado a cada una de ellas se van a representar estas en un diagrama de Gantt, quedando tal y como se muestra a continuación.

Tabla 2. Diagrama de Gantt del proyecto

Diagrama de Gantt				
Tareas	Abril	Mayo	Junio	Julio
Búsqueda bibliográfica	■			
Descripción de las partes de una central		■		
Listado de ítems a revisar en cada parte		■		
Descripción de cada ítem a revisar			■	
Realización del plan de mantenimiento			■	
Adaptación del plan a la central de Sollano				■
Realización de anexos				■
Conclusiones				■
Planificación del proyecto				■
Unión y ensamblaje de las partes del proyecto				■

11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En este apartado se va a realizar el presupuesto de la realización del presente proyecto, desglosando este en el coste horario del ingeniero y los tutores del proyecto y el coste de la amortización de los programas Microsoft Word y Excel, así como la aplicación de los costes indirectos los cuales suponen un 10% de la suma de los anteriormente citados.

Tabla 3. Coste horario del proyecto.

Coste horario			
Personal	Precio hora (€/h)	Nº horas (h)	Coste (€)
Ingeniero	16	315	5040
Tutores del proyecto	30	50	1500
Coste total (€)			6540

Tabla 4. Coste amortización de bienes del proyecto

Coste amortización de bienes				
Bien	Coste del bien (€)	Vida útil (h)	Utilización (h)	Coste (€)
Ordenador	450	43800	315	3,2
Microsoft Word	135	-	-	135
Microsoft Excel	135	-	-	135
Coste total (€)				273,2

Tabla 5. Costes totales del proyecto.

Coste total	
Coste horario (€)	6540
Coste amortización (€)	273,2
Costes indirectos 10% (€)	681,3
IVA 21% (€)	1573,9
Total (€)	9068,4

Tras la realización de la suma de todos los costes del proyecto y aplicarle el 21% de IVA el coste total resultante de la realización del proyecto es de 9068,4 euros.

12. CONCLUSIONES

Mediante la realización del presente trabajo de fin de master se han podido extraer las siguientes conclusiones ligadas al mantenimiento de las centrales hidroeléctricas:

Para comenzar, cabe destacar la importancia de la energía hidroeléctrica a nivel estatal, debido a que según los informes publicados por REE (Red Eléctrica de España) en el primer trimestre del año 2021 la generación hidroeléctrica representa casi un 20% del total del mix energético, siendo además la segunda fuente de energía renovable con mayor representación en el mix energético español. Por todo ello se la debe de tener muy en cuenta.

A continuación, una vez conocida la importancia de la energía hidroeléctrica, ligado a esto surge la necesidad de realizar un mantenimiento a todas las centrales, ya que la mayor parte de ellas fueron construidas hace más de 50, por lo que para alargar su vida útil se deben mantener a través de planes de mantenimiento como el elaborado en este trabajo.

Previo a la elaboración de este plan se ha realizado una descripción de todas y cada una de las partes de una central hidroeléctrica, desde el embalse y la presa, pasando por la turbina y el generador y acabando por el canal de desagüe, para así conocer perfectamente las mismas.

Una vez hecho esto, se ha realizado un estudio exhaustivo de cada una de las partes de la central estudiando en que puntos y elementos se debe incidir más a fondo para realizar un mantenimiento preventivo sobre ellos, para ello se han descrito los trabajos y tareas a realizar de una forma detallada.

Posteriormente, es cuando se ha elaborado el plan de mantenimiento preventivo previamente nombrado, se ha otorgado a cada una de las tareas a realizar una periodicidad en función de la necesidad, la frecuencia y la importancia de estos, para posteriormente cuadrarles en un calendario anual de forma ordenada y repartida.

Por último, surgió la idea de adaptar el plan elaborado de una forma más genérica a un caso real, utilizando como planta piloto a la central de Sollano ubicada en el embalse de Ordunte, para lo cual se acoplo dicho plan con la finalidad de poder aplicarlo líneas futuras.

En resumen, se ha elaborado un plan básico de mantenimiento preventivo de centrales eléctricas, realizando un análisis de los equipos y partes afectados por

dicho plan, para el cual se ha visto que los beneficios tanto sociales como económicos de realizarlo frente no hacerlo son ampliamente favorables.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1] M. F. Martins Nogueira y A. D. Alarcón, "Impacto de las paradas en la generación hidroeléctrica de Brasil", 2019. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Impacto_de_las_paradas_en_la_generaci%C3%B3n_hidroel%C3%A9ctrica_de_Brasil_es_es.pdf>

[Última consulta: Julio 2021]

[2] OMIE, Operador del Mercado Ibérico de Energía, "Mínimo, medio, y máximo precio del mercado diario". < <https://www.omie.es/es/market-results/monthly/daily-market/daily-market-price?scope=monthly&year=2021&month=7&system=1> > [Última consulta:

Julio 2021]

[3] G. Egiraun Verdejo, "Análisis de la viabilidad y propuesta de mejora de la central hidroeléctrica de Sollano", Universidad del País Vasco, 2018.

[4] REE, Red Eléctrica de España, Sala de prensa "La demanda de energía eléctrica de España aumenta un 4,8% en marzo", 2021. < <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/04/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-aumenta-4-8-por-ciento-marzo> >

[Última consulta: Mayo 2021]

[5] Ingeoexpert, Blog, "Como funciona una central hidroeléctrica y cuál es su estructura interna", 2018. < <https://ingeoexpert.com/2018/03/22/como-funciona-una-central-hidroelectrica/> > [Última consulta: Mayo 2021]

[6] Hotel Regio, Blog, "La presa de Aldedávila: la más espectacular de Castilla y León". < <https://blog.hotelregio.com/la-presa-de-aldeavila-la-mas-espectacular-de-castilla-y-leon/> > [Última consulta: Mayo 2021]

[7] IES Vega del Turia "Generación de energía hidráulica mediante bombeo" < <http://bilingue.iesvegadelturia.es/affi13/pallashi.htm> > [Última consulta: Mayo 2021]

- [8] I. Fernández Diego y A.R. Robles Díaz, "Centrales de Generación de Energía Eléctrica: Centrales Hidráulicas", Universidad de Cantabria. < <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1160/course/section/1407/bloque-energia-III.pdf> > [Última consulta: Junio 2021]
- [9] G. P. Gómez Muñoz y G. P. Méndez Peñazola, "Propuesta para la gestión de mantenimiento de la central hidroeléctrica de Ocaña", Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, 2011. < <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1099/20/UPS-CT002109.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]
- [10] "Centrales hidroeléctricas", Universidad Centro Americana José Simeón Cañas. < <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m200018/doc1.pdf> > [Última consulta: Junio 2021]
- [11] Fundación Endesa, Central hidroeléctrica, "¿Qué es una central hidroeléctrica?". < <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-hidroelectrica#:~:text=Seg%C3%BAAn%20la%20potencia%20instalada%2C%20la s,menos%20de%201MW%20de%20potencia> > [Última consulta: Mayo 2021]
- [12] L. M. Fernández Bravo, "Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de Alcalá del Río, aplicando criterios de confiabilidad (RCM)", Universidad de Sevilla, 2015. < <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90479/fichero/TFG+LUZ+MARIA+FERNANDEZ+BRAVO+2015%252FDESARROLLO+DEL+PROYECTO.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]
- [13] YouTube, "Partes de una central hidroeléctrica". < https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DcOeorxJ9qpQ&psig=AOvVaw3Mat4X-JqiwdM9vQO_L3c4&ust=1591961250473000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCMjz_ljU-ekCFQAAAAAdAAAAABAD > [Última consulta: Mayo 2021]

- [14] Bibing.us.es “2 Energía Hidroeléctrica” <
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3894/fichero/2+Energ%C3%ADa+hidroel%C3%A9ctrica.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]
- [15] De Ingenierías, “Partes y componentes de una central hidroeléctrica”, 2019.
< <https://deingenierias.com/hidroelectricas/partes-de-una-central-hidroelectrica/#Embalse> > [Última consulta: Mayo 2021]
- [16] Definición.De, “Definición de embalse”, 2014. <
<https://definicion.de/embalse/> > [Última consulta: Mayo 2021]
- [17] Ingeniero de Caminos, “Aliviaderos de presa”. < <https://ingeniero-de-caminos.com/aliviaderos-de-presas/> > [Última consulta: Mayo 2021]
- [18] IDAE, Instituto para la Diversidad y Ahorro de la Energía, “Minicentrales hidroeléctricas”, 2016. <
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf > [Última consulta: Mayo 2021]
- [19] Tecmoncade, “Compuertas mural”, 2018. <
<http://tecmoncade.com/default.asp?secc=162&plant=44&idpro=36&idsecc=30> > [Última consulta: Mayo 2021]
- [20] S. Zabala Izaguirre, “Proyecto habilitación de central hidroeléctrica en la ferrería de Bustasur de las Rozas de Valdearroyo”, Universidad de Cantabria, 2019.
- [21] ARIAE, Asociación Iberoamericana de Entidades Reguladoras de la Energía, Contenidos didácticos, “Centrales Eléctricas”. <
<https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/Centrales%20Electricas%20.pdf> > [Última consulta: Junio 2021]
- [22] Inhisa, Ingeniería Hidráulica, “Conducciones, Tuberías, Blindajes y Salidas aireadas”. < <http://grupo-inhisa.com/otros-equipos/tuberias-blindajes/> > [Última consulta: Junio 2021]

[23] Área Tecnología, “Turbinas Hidráulicas” <
<https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html> >

[Última consulta: Junio 2021]

[24] Direct Industry, Centrales eléctricas, “Central hidroeléctrica 10 – 20 Mw Bosco Corniglio” < <https://www.directindustry.es/prod/beltrame-cse/product-61812-655603.html> > [Última consulta: Junio 2021]

[25] Sector Electricidad, “¿Cuál de los siguientes parámetros no cambia en un transformador?”, 2015. < <http://www.sectorelectricidad.com/11303/cual-de-los-siguientes-no-cambia-en-un-transformador/> > [Última consulta: Junio 2021]

[26] REE, Red Eléctrica de España, “Gestor de la red y transportista”. < <https://www.ree.es/es/actividades/gestor-de-la-red-y-transportista> > [Última consulta: Junio 2021]

[27] R. Cobo, Fundación para el fomento de la Ingeniería del Agua, Volumen 15, Nº 4, 2008, “Los sedimentos de los embalses españoles”. < <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/download/15-4%5Carticle2.pdf> > [Última consulta: Junio 2021]

[28] El País, Sociedad, “Embalses de barro” < https://elpais.com/sociedad/2011/10/25/actualidad/1319493607_850215.html > [Última consulta: Junio 2021]

[29] S. Calle Velasco, “Estudio de las técnicas de descolmatación de embalses”, Universidad de Piura, 2018. < https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3311/ICI_250.pdf?sequence=1&isAllowed=y > [Última consulta: Junio 2021]

[30] P. Molina López, “Análisis de la estabilidad de presas de gravedad en condiciones de incertidumbre”, Universidad Politécnica de Cartagena, 2020. < <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8518/tfg-molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > [Última consulta: Junio 2021]

[31] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «BOE» núm. 168, de 16 de junio de 2020, páginas 40481 a 40535 (55 págs.), BOE-A-2020-6223, Resolución de 27 de mayo de 2020, de la Dirección General de

Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto "Ampliación de la central hidroeléctrica reversible de Aguayo-Aguayo II (Cantabria)". <

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-6223 > [Última consulta: Julio 2021]

[32] ConstruyeAprende, Tesis 3, Presas, "Fuerzas que actúan". <
<https://www.construyeaprende.com/docs/tesis/296-presas?start=33> > [Última consulta: Junio 2021]

[33] R Novak, A.I.B. Moffat y C. Nalluri, "Estructuras hidráulicas", 2001. <
https://www.academia.edu/5687280/estructuras_hidraulicas > [Última consulta: Junio 2021]

[34] L. García García y A. Gonzalo Carracedo, "Rehabilitación de la red de drenaje mediante agua a presión. Experiencia de los últimos cinco años en más de treinta presas españolas". <
https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP_043.pdf > [Última consulta: Junio 2021]

[35] J. Segarra Forada, A. Aguado de Cea y J. M. Buil Sanz, "Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en el hormigón, Capítulo 3, Reacciones expansivas en presas", Universidad Politécnica de Cataluña, 2007. <
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3315/558645.pdf?sequence=5&isAllowe> > [Última consulta: Junio 2021]

[36] Wikiwater, "La construcción de pequeñas presas superficiales" <
<https://wikiwater.fr/e7-la-construccion-de-pequenas> > [Última consulta: Junio 2021]

[37] V. Juan Campos, "Estudio de soluciones para resolver las filtraciones en la cerrada de la presa de Alloz (Navarra)", Universidad Politécnica de Valencia, 2018. <
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106022/Memoria.pdf?sequence=4> > [Última consulta: Junio 2021]

[38] Inesge / Geomatein, Auscultación de obras civiles, "Péndulo directo e inverso". <
<http://inesge->

[geomatein.com/.cm4all/uproc.php/0/Pendulos%20\(Directo%20e%20Inverso\).pdf?cldp=a&_=172179e0ef0](http://geomatein.com/.cm4all/uproc.php/0/Pendulos%20(Directo%20e%20Inverso).pdf?cldp=a&_=172179e0ef0) > [Última consulta: Junio 2021]

[39] Lanbide, Energía y agua, "Gestión de la operación en centrales hidroeléctricas". <
https://apps.lanbide.euskadi.net/descargas/egailancas/certificados/catalogo/ENAL0110_FIC.pdf > [Última consulta: Junio 2021]

[40] E. F. Castillo Constanzo y J. A. Hernandez Macaya , "Propuesta de plan de mantenimiento de válvulas manuales, automáticas y seguridad para el sistema de refrigeración de la central Hidroeléctrica Pangué", Universidad Bio – Bio, 2013. <
http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/796/1/Castillo_Constanzo_Eduardo_Felipe.pdf > [Última consulta: Junio 2021]

[41] Centrales eléctricas, Capítulo 11, "Mantenimiento de plantas hidroeléctricas". < <http://docentes.uto.edu.bo/alvargaso/wp-content/uploads/11MANTENIMIENTO.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]

[42] Y. V. Mamani Mamani, "Mantenimiento en la central hidroeléctrica Corani y Santa Isabel", Universidad Mayor de San Andrés. <
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/11933/P-1359-Mamani%20Mamani%2C%20Yanneth%20Veronica.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > [Última consulta: Julio 2021]

[43] Holding Industrial, "Chumaceras" <
<http://holdingindustrial.com/chumaceras.html> > [Última consulta: Julio 2021]

[44] P. Trigueros Moreno, "Estudio con CFD del comportamiento de una turbina Francis con daños a la entrada del rotor", Universidad Politécnica de Cataluña, 2019. <
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/178483/PabloTriguerosMoreno_TFG_06_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y > [Última consulta: Julio 2021]

[45] A. Soderberg y N. Soderberg, "Desgastes usuales en turbinas hidráulicas para pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH's)" < https://noticias.uca.edu.sv/uploads/texto_2616/file/PDF-356691-1393541414-530fc126d0bfa.pdf > [Última consulta: Julio 2021]

[46] Power-MI, "Monitorización del entrehierro en motores y generadores", 2020. < <https://power-mi.com/es/content/monitorizaci%C3%B3n-del-entrehierro-en-motores-y-generadores> > [Última consulta: Julio 2021]

[47] A. J. Romero Guarín y L. V. Soler Rodríguez, "Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica", Universidad Católica de Colombia, 2017. < <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14689/1/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PLAN%20DE%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO%20PARA%20LOS%20GENERADORES%20EL%C3%89CTRICOS%20DE%20UNA%20CENTRAL%20HIDR.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]

[48] Santiago García Garrido, Técnicas predictivas, "La termografía infrarroja y su aplicación en centrales de ciclo combinado". < <http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/88-tecnicas-predictivas-la-termografia-infrarroja-y-su-aplicacion-en-centrales-de-ciclo-combinado> > [Última consulta: Julio 2021]

[49] Ikastaroak, Operaciones a realizar en los CT, Mantenimiento, "Mantenimiento de los transformadores". < https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IDI/IDI03/es_IEA_IDI03_Contenidos/web_site_61_mantenimiento_preventivo_de_los_transformadores.html > [Última consulta: Julio 2021]

[50] Crushtymks, "Pruebas de precomisionamiento de transformadores y comprobaciones posteriores a la recepción que debes realizar". < <https://crushtymks.com/es/testing-and-commissioning/1508-transformer-pre-commissioning-tests-and-after-receipt-checks-you-must-perform.html> > [Última consulta: Julio 2021]

- [51] J. Núñez Forestieri y G. Bermúdez F., “Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia”. < <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/231/1/370.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]
- [52] Chauvin Arnoux Group, Edición 1, “Guía de la medición de aislamiento”, 2010. < https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_aislamiento.pdf > [Última consulta: Julio 2021]
- [53] Canasa, Canal de Navarra, “Proyecto de la central hidroeléctrica de toma del Canal de Navarra: Ficha técnica”. < https://www.canasa.es/sites/default/files/contratacion/ficheros/ficha_tecnica.pdf > [Última consulta: Julio 2021]
- [54] Es el agua, “Modelación hidráulica de un cuenco amortiguador”, 2018. < <http://eselagua.com/2018/07/31/modelacion-hidraulica-de-un-cuenco-amortiguador/> > [Última consulta: Julio 2021]
- [55] ATHA, Asociación española de fabricantes de Tubos de Hormigón Armado, “Manual: Resalto hidráulico”. < http://www.atha.es/atha_archivos/manual/c445.htm > [Última consulta: Julio 2021]
- [56] Endesa, Energía y más, “Mantenimiento de la red de distribución eléctrica”. < <https://www.endesa.com/es/conoce-la-energia/energia-y-mas/mantenimiento-de-la-red-de-distribucion-electrica> > [Última consulta: Julio 2021]
- [57] REE, Red Eléctrica de España, “Trabajos de mantenimiento en líneas y subestaciones de Red Eléctrica”, 2008. < <https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/mantenimiento.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]
- [58] El norte de Castilla, Temporal en Valladolid, “El vendaval derriba seis torretas de alta tensión, árboles y tejados en Valladolid”, 2021. < <https://www.elnortedecastilla.es/valladolid/provincia/arboles-derribados-viento-20210122091326-nt.html> > [Última consulta: Julio 2021]

- [59] Iagua, Infraestructuras, Presas, “Presa de Ordunte”. < <https://www.iagua.es/data/infraestructuras/presas/ordunte> > [Última consulta: Julio 2021]
- [60] Iagua, Infraestructuras, Embalses, “Embalse de Ordunte”. < <https://www.iagua.es/data/infraestructuras/embalses/ordunte> > [Última consulta: Julio 2021]
- [61] Mar cantábrico, “Los montes de Ordunte”. < <http://cantabrico2007.blogspot.com/2014/03/los-montes-de-ordunte.html> > [Última consulta: Julio 2021]
- [62] Zallabai, “Avances en el control de Ordunte”, 2016. < <https://blog.zallabai.net/2016/08/avances-en-el-control-de-ordunte.html> > [Última consulta: Julio 2021]
- [63] Ver pueblos, Pantano o embalse, “Nava de Ordunte”. < <https://www.verpueblos.com/castilla+y+leon/burgos/nava+de+ordunte/foto/1331779/> > [Última consulta: Julio 2021]
- [64] Vinci Energies, “Renovación de la turbina de la mini central hidroeléctrica de Sollano”. < <https://www.vinci-energies.es/es/renovacion-de-la-turbina-de-la-mini-central-hidroelectrica-de-sollano/> > [Última consulta: Julio 2021]
- [65] L. F. Sexto Cabrera y C. G. Vásquez Granda, “Elaboración de políticas de gestión de repuestos para mantenimiento de equipos críticos de la Central Hidroeléctrica Minas San Francisco”, Universidad del Azuay, 2020. < <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9720> > [Última consulta: Julio 2021]
- [66] E. Briceño, R. Escobar y S. Ramírez, “Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas”, 2008. < <http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/Mjg1.pdf> > [Última consulta: Julio 2021]
- [67] Manuscrito de la asignatura Mantenimiento y Seguridad (Máster ingeniería energética sostenible, UPV) con título “Normas de Conservación y mantenimiento”

ANEXOS

ANEXO INFORMÁTICO 1: PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL

Los documentos referentes a este anexo se hayan en el anexo informático 1 presentado junto al presente trabajo. En él se encuentra el calendario anual de trabajo y un ejemplo del parte de trabajo para la primera semana del año.

ANEXO INFORMÁTICO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL DE SOLLANO

Los documentos referentes a este anexo se hayan en el anexo informático 1 presentado junto al presente trabajo. En él se encuentra el calendario anual de trabajo y un ejemplo del parte de trabajo para la primera semana del año.

ANEXO 3: NORMATIVA DEL TRABAJO

La normativa utilizada para la realización del proyecto es la siguiente:

- Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas [66]
- Manuscrito de la asignatura Mantenimiento y Seguridad (Máster ingeniería energética sostenible, UPV) con título "Normas de Conservación y mantenimiento" [67], que se adjunta a continuación:

NORMAS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las Normas para la conservación y el mantenimiento, de acuerdo con el artículo 94.2 de la Instrucción, deben quedar reflejadas en el presente documento y elaboradas en función de las características concretas de la presa y de sus instalaciones, debiéndose distinguir aquellos aspectos que se integran en un mantenimiento preventivo de los que se encuentran sujetos a un mantenimiento correctivo.

Las Normas para la conservación y el mantenimiento deben quedar materializadas en un programa concreto cuyo objetivo sea garantizar en todo momento la operatividad de las instalaciones y su seguridad, para lo que se requiere de una planificación acertada y de un grado de ejecución total.

Ámbito del programa de mantenimiento y conservación

Deben tenerse en cuenta las necesidades de conservación y mantenimiento de los siguientes aspectos del aprovechamiento:

- Órganos de desagüe incluyendo rejillas, conducciones, mecanismos de actuación y elementos de mando
- Suministro de energía principal y de emergencia.
- Comunicaciones
- Elementos de auscultación
- Iluminación
- Obra civil, incluyendo paramentos, coronación, edificios anejos y accesos
- Embalse y cuenco amortiguador

La ubicación de cada uno de los elementos anteriores aparece descrita en el Capítulo II y reflejada en los planos del Apéndice 2

Tipos de mantenimiento

Dentro del programa de conservación y mantenimiento pueden distinguirse dos tipos de actuaciones:

Aquellas encaminadas a preservar las buenas condiciones de operatividad de las instalaciones y a impedir el deterioro de su estado actual, englobadas en el denominado mantenimiento preventivo.

Aquellas cuya finalidad es devolver a la normalidad elementos dañados total o parcialmente y recuperar las condiciones óptimas de funcionamiento, englobadas en el denominado mantenimiento correctivo.

El segundo tipo de mantenimiento no requiere de una descripción detallada, pues habitualmente conduce a la reparación o sustitución del elemento dañado en el menor tiempo posible desde el momento en que se constata su mal funcionamiento. Para ello el

Jefe del Servicio de Presas debe redactar la correspondiente orden de trabajo según el modelo incluido en el Apéndice 10, indicando al menos:

- Código
- Fecha
- Elemento a reparar
- Descripción de las anomalías observadas
- Condiciones de seguridad requeridas
- Solicitante
- Destinatario
- Autorización de explotación
- Prioridad

Tras su aprobación por parte del Ingeniero Directos de Explotación la reparación debe ser ejecutada con la mayor diligencia. Posteriormente, el personal de mantenimiento debe redactar un resumen de la orden de trabajo según modelo incluido en el Apéndice 10, indicando al menos:

- Código
- Fecha
- Elemento reparado
- Costes incurridos
- Materiales empelados
- Subcontratas requeridas
- Observaciones

En cambio, el mantenimiento preventivo supone la adopción de un programa de actuaciones independiente del estado actual de las instalaciones y es el que se trata en detalle a continuación. Como resultado de estas labores de comprobación operativa, se derivarán las acciones de mantenimiento correctivo requeridas.

Para el desarrollo del programa de conservación y mantenimiento, los equipos encargados de su ejecución deberán disponer en todo momento de las maquinarias necesarias para las actividades esperables, así como los repuestos susceptibles de ser empleados.

Planificación y descripción de las operaciones

Mantenimiento general

En este apartado se incluyen las labores de mantenimiento del aprovechamiento relativas a elementos diferentes de los equipos electromecánicos, que, por su importancia, se tratan en mayor detalle posteriormente.

Embalse:

Se retirarán del vaso los flotantes detectados en las inspecciones visuales del mismo, sobre todo los que puedan llegar al aliviadero de superficie y suponer una obstrucción para la circulación del agua. Para ello, se arrastrarán hasta la orilla mediante botes o se retirarán desde coronación mediante pértigas o, en caso necesario, grúas pluma.

A su vez, se deberán reponer los mojones de hormigón que delimitan el perímetro de la zona de embalse.

Iluminación:

Cada dos meses se efectuarán las siguientes actividades:

- Limpeza exterior de los soportes de lámparas, bombillas. Se hará manualmente con agua, soluciones jabonosas, disolventes, etc., que no sean lesivos para el elemento en cuestión.
- Engrasado de partes metálicas móviles (farolas).
- Comprobación cierres de cuadros.
- Comprobación de fusibles y sustitución si es necesaria.

Anualmente, se desarrollará lo siguiente:

- Revisión sujeciones cableado.
- Comprobación estado de manguitos y conexiones del cableado.
- Comprobación estanqueidad y aislamiento de cuadros.
- Repaso de interruptores y diferenciales.
- Limpeza interior de cuadros con aire a presión.
- Actualización del inventario de puntos de luz
- Medida de caídas de tensión en cuadros.
- Repintado de partes metálicas

Protecciones:

Se incluyen en este apartado las barandillas y el pretil de coronación. Anualmente se deberá aplicar pintura de protección antioxidación en zonas que lo necesiten (cuarteo, desmenuzamiento, etc.), así como comprobar la solidez de las uniones.

Firmes y drenajes:

Tanto de la coronación como de los caminos de acceso. Anualmente se efectuarán labores de retiradas de acopios, de limpieza de vegetación, de reparación de baches, sellado de grietas y conservación de los sistemas de drenaje: cunetas, arquetas y desagües.

Cerramientos:

Se incluyen en este apartado puertas, ventanas y vallas metálicas de cierre. Anualmente se repintarán las partes expuestas y se engrasarán los mecanismos de apertura y cierre.

Paramentos:

Incluyen tanto el talud aguas arriba como el de aguas abajo. Anualmente, se retirarán basuras y vegetación hidrófila. En la pantalla de hormigón se aplicará mastic de sellado de juntas en caso de deterioro.

Galería:

Anualmente se procederá a su limpieza general y al repintado de partes expuestas. Se repararán los peldaños defectuosos y se retirarán concreciones acumuladas en la medida de lo posible.

Edificios:

Incluyen tanto la caseta de coronación como la de desagüe intermedio, así como el edificio de control. Anualmente se limpiarán muros de vegetación, se repintarán las partes expuestas, se repondrán los elementos de evacuación de lluvia defectuosos y se repararán humedades y daños en los tejados.

Comunicaciones:

El mantenimiento de la línea telefónica convencional de la presa corresponde a Telefónica de España S.A., por lo que en caso de fallo, el Jefe del Servicio de Presas emitirá un aviso inmediato para que se subsane la anomalía. En cuanto a las terminales situadas en la caseta de maniobras, su deterioro dará lugar a su sustitución o reparación.

El mantenimiento de las comunicaciones por radio será responsabilidad del CABB, considerándose fundamental su operatividad en todo momento. Por último, las

comunicaciones por telefonía móvil, no requieren de un mantenimiento periódico y en los casos de avería, los terminales serán sustituidos por otros de características análogas.

Elementos de auscultación:

El personal del Equipo de Inspección y Auscultación respetará las instrucciones establecidas para cada tipo de medida encaminadas al buen uso y conservación de los elementos, tanto fijos como transportables. El mal funcionamiento o pérdida de efectividad de cualquier elemento conducirá a su reparación o sustitución si ello fuera factible. En general, se seguirán las consignas de mantenimiento del fabricante de cada equipo.

Mantenimiento mecánico

El mantenimiento mecánico de la presa de Undúrraga debe realizarse con una periodicidad de 2 meses, comprendiendo las compuertas, válvulas y los mecanismos de accionamiento asociados a cada una de ellas. Debe incluir además pruebas de operación periódica de los mismos. Los formularios a rellenar tras cada revisión se incluyen en el Apéndice 10.

Estos equipos tienen una importancia determinante en la seguridad de la presa, por lo que deben recibir un tratamiento diferenciado del resto de instalaciones. Las actuaciones a realizar en cada caso son:

a) Rejillas:

Las rejillas de tomas y desagües de fondo e intermedios no poseen un mantenimiento específico ya que permanecen normalmente sumergidas. Sin embargo, cuando sea posible se efectuará una inspección visual directa tanto del estado de las mismas como de la zona del cauce próxima en el caso de los desagües de fondo.

Si cada 5 años no se ha podido observar su estado de forma directa, se procederá a una inspección por medio del descenso de un buzo en la época más oportuna del año.

En caso necesario, se deberá realizar la reparación y/o sustitución de barras dañadas o rotas y la extracción de los áridos y aportaciones sólidas aguas arriba que puedan llegar a obstaculizar su normal funcionamiento en el futuro.

Embocadura, conductos y transiciones metálicas:

La estructura de las tomas y de los desagües de fondo e intermedios es metálica recubierta de hormigón. No se prevé ningún mantenimiento ya que por necesidades de explotación permanecen sumergidas la mayor parte del tiempo.

Además, se estima una duración mínima de las piezas metálicas de las conducciones de 20 a 30 años, plazo que una vez superado dará lugar a una inspección visual de las conducciones para determinar el estado de oxidación y, si llega el caso, realizar las reparaciones, sustituciones y limpieza oportunas.

b) Aliviadero de superficie:

Compuertas:

Comprobar estado de gomas de impermeabilización.
Revisión de rodillos laterales.
Engrase a fondo de ejes de giro.
Todo el equipo deberá estar bien protegido de pintura.

Mecanismos de cric:

Los cuidados de engrase son mínimos. Se vigilará el nivel de aceite del grupo motobomba pues éste no deberá estar nunca por debajo del mínimo.
Se comprobará el buen funcionamiento de las llaves de paso de aceite.
Si se notase anomalía en la maniobra, esto puede ser por dos causas:

Estrangulador averiado o sucio: se desmontará para su revisión,
Por desgaste o fugas de aceite en los anillos de cierre del pistón del cric, cuando la compuerta esté cerrada, se desmontará para su reparación.
Estos anillos son de buna.

Todo el equipo deberá estar perfectamente protegido por pintura.
Aceite cric: Hidráulico 150

c) Válvulas HOWELL de chorro hueco cónico:

Comprobar que tanto el depósito de engrase del mecanismo del cuerpo móvil, como el cárter del mecanismo de accionamiento, están correctos de aceite.
En caso de pérdida de aceite por algunas de las tapas del cardan o tubo portatuercas, se cambiará el anillo o junta correspondiente.
Con la válvula en vacío, se debe revisar la goma de cierre entre cuerpo móvil y cuerpo fijo ya que puede sufrir daños al ser golpeada por algún elemento extraño que pase por el conducto.
Limpieza de guías del cuerpo móvil.
El mecanismo debe estar convenientemente engrasado. En las superficies de fricción del embrague no debe caer grasa alguna.
Todo el equipo deberá estar bien protegido de pintura.

d) Válvulas HOWELL de chorro hueco cilíndrico:

Con la válvula en vacío se debe revisar el cierre de bronce, por si hubiese sufrido algún daño, en cuyo caso se debe restaurar o cambiar.
Limpieza interior de la válvula, evitando acumulación de arena o sedimento.

e) Mecanismo de cric de válvulas Howell:

Los cuidados de engrase no son necesarios. Se deberá vigilar el nivel de aceite del grupo motobomba ya que no deberá estar nunca por debajo del mínimo.

Se comprobará el buen funcionamiento de las llaves de paso de aceite.

Si se notase anormalidad en el desplazamiento del cuerpo móvil puede ser por desgaste o fugas de aceite en los anillos de cierre del pistón del cric (estos anillos son de buna). En tal caso, cuando la válvula esté cerrada, se desmontará el cric para su reparación.

Todo el equipo deberá estar perfectamente protegido por pintura.

Aceite mecanismo válvula Howell: EP-SAE 80

Aceite depósito de engrase válvula Howell: SAE 90

Aceite cric válvula chorro hueco: Hidráulico 150

f) Compuertas rectangulares del desagüe de fondo y tomas:

Compuertas rectangulares:

Se vigilará el estado de las guarniciones de bronce que sirven de cierre.

Se comprobará que no existen fugas de agua por la prensa de la cúpula. Caso de existir puede estar roto un anillo de cierre. Para efectuar su reposición y no tener que desmontar todo el mecanismo de cric, una vez quitado el averiado, al de repuesto se le da un corte transversal y una vez colocado en el vástago se une con pegamento LOCTITE-I.S. 12, deslizándolo a su alojamiento y volviendo a colocar la tapa (estos anillos son de buna). La misma operación para los anillos de cierre de la parte inferior del cric.

Por la parte de aguas abajo del tablero, se revisará la tuerca del vástago.

Mecanismo hidráulico:

Los cuidados de engrase del cric son mínimos. Sólo se deberán engrasar las ruedas de cadena del indicador, así como los rodillos guía del contrapeso y cadena de rodillos.

Si se observa que la compuerta desciende visiblemente, estando en régimen de trabajo, se puede deber a dos causas:

Mal funcionamiento de las llaves existentes entre distribuidor y cric.

Por fugas excesivas en los aros de buna del pistón, juntas entre cilindros o anillos de cierre de la prensa del cric.

En el caso primero verificar dichas llaves por si fuese necesaria su reposición.

En el caso segundo:

Si fuesen los aros de buna del pistón, cambiar cuando el cric no estuviese en servicio.

Si la pérdida se produce entre las juntas de los cilindros, apretar los tornillos de unión sucesivamente por igual.

Retén de prensa: actuar de la misma forma indicada en la cúpula de la compuerta.

El depósito del grupo motobomba, nunca debe tener el aceite por debajo del mínimo.

Todo el equipo deberá estar perfectamente protegido por pintura.

Aceite cric: Telex 3

Grasa: "0" 260 Campsa.

Mantenimiento eléctrico

El mantenimiento eléctrico de la presa de Undúrraga debe realizarse con una periodicidad de 2 meses, comprendiendo los siguientes cuadros:

- Cuadro general fuerza y alumbrado.
- Cuadro maniobras compuertas TAINTOR.
- Cuadro maniobras compuertas HOWELL.
- Cuadro maniobras compuertas DE CHORRO HUECO.
- Cuadro maniobras compuertas DESAGÜE DE FONDO I-II.
- Cuadro maniobras compuertas DESAGÜE DE FONDO III-IV.
- Cuadro maniobras compuertas DE TOMA I-II.
- Cuadro maniobras compuertas DE TOMA III-IV.

Los formularios a rellenar tras cada revisión se incluyen en el Apéndice 10.

En lo que respecta al centro de transformación, con periodicidad anual se encargará a una empresa externa la revisión de al menos lo siguiente:

Transformadores:

- Ensayo de rigidez dieléctrica
- Ensayos de aislamientos: Alta-Baja tensión. Alta tensión-Tierra y baja tensión-Tierra
- Estado de protecciones
- Estado de juntas
- Existencia de fugas
- Estado de válvulas y tubos
- Estado del depósito de expansión
- Estado de anclajes
- Estado de bornas
- Estado de respiraderos
- Nivel de aceite
- Protección de pintura
- Señalización

Fusibles:

- Estado de aisladores de soporte
- Estado de estructura de soporte
- Estado de mordazas
- Estado de muelles
- Nivel de presión
- Estado de la puesta a tierra
- Limpieza
- Existencia de repuestos

Seccionadores:

- Estado de contactos
- Nivel de presión
- Estado de elementos de mando: accionamiento, bielas y recorrido
- Estado de conexiones
- Estado de enclavamiento
- Limpieza
- Señalización

En caso de fallo del sistema principal del suministro eléctrico, el Jefe del Servicio de Presas dará aviso inmediato a la empresa proveedora para que se subsane la anomalía.

Accionamiento periódico de órganos de desagüe

Para la correcta conservación de los órganos de desagüe se establece un programa de accionamiento periódico con los siguientes objetivos:

- Evitar la ruina de los mecanismos por falta de uso
- Entrenar al personal de explotación en las distintas operaciones
- Detectar posibles roturas o fallos

Las pruebas de estos órganos de evacuación deben tener en cuenta la limitación impuesta por posibles daños en el cauce aguas abajo y, en este sentido, no deberían superar un caudal máximo de suelta de $45 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente al generador del cauce. En cualquier caso, se aconseja que, para evitar imprevistos, no se superen los $25 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalentes a la apertura completa de un desagüe de fondo.

En consecuencia, se establece el siguiente programa de accionamiento:

- Una vez cada dos meses, coincidiendo con las labores de mantenimiento mecánico, se comprobará el funcionamiento de las compuertas Taintor del aliviadero de superficie, mediante apertura secuencial y total de cada elemento (siempre que el nivel de embalse no implique un caudal evacuado mayor de $25 \text{ m}^3/\text{s}$)

Una vez cada dos meses, coincidiendo con las labores de mantenimiento mecánico, se comprobará el funcionamiento de las compuertas de seguridad y control de los desagües de fondo. Para ello, de forma secuencial para cada desagüe se realizarán las siguientes operaciones:

En primer lugar se abrirá y cerrará el elemento de control en vacío bajo el resguardo del elemento de seguridad

Posteriormente, se accionará la apertura y cierre del elemento de seguridad con presiones equilibradas mediante el by-pass existente

Finalmente, manteniendo abierto el elemento de seguridad, se abrirá y cerrará el elemento de control en carga.

En todos los casos, el grado de apertura será del 100%

Una vez cada dos meses, coincidiendo con las labores de mantenimiento mecánico, se comprobará el funcionamiento de las compuertas de seguridad y control de los desagües intermedios. Para ello, de forma secuencial para cada desagüe se realizarán las siguientes operaciones:

En primer lugar se abrirá y cerrará el elemento de control en vacío bajo el resguardo del elemento de seguridad.

Posteriormente, se accionará la apertura y cierre del elemento de seguridad con presiones equilibradas mediante el by-pass existente.

Finalmente, manteniendo abierto el elemento de seguridad, se abrirá y cerrará el elemento de control en carga.

El grado de apertura será del 50% y una vez al año del 100%

Mantenimiento del grupo electrógeno

Con frecuencia semestral, se efectuará una revisión completa de los componentes del grupo electrógeno y, en concreto, se acometerán las siguientes actividades:

Verificación de niveles de aceite, agua de refrigeración y gasóleo

Revisión del equipo de caldeo del motor diesel

Comprobación del manguito de agua del circuito de refrigeración

Verificación de los latiguillos de aceite y combustible

Revisión del estado de baterías de arranque y nivel de agua de las mismas

Verificación de aparatos de medida

Comprobación del funcionamiento del cargador de baterías, regulando el estado de cargas si procede

Con periodicidad quincenal se pondrá en marcha el grupo a pleno rendimiento (con toda su carga) durante un período no inferior a media hora, siguiendo las siguientes instrucciones:

Asegurarse de que está desconectada la línea de alimentación eléctrica general.

Arrancar el grupo.

Conectarle la máxima carga utilizable simultáneamente durante las maniobras de explotación ordinarias o extraordinarias.

Comprobar voltajes y corrientes de salida.

Además se efectuarán las siguientes lecturas:

Nivel de aceite

Temperatura de funcionamiento

Combustible

Se repondrá gasoil y agua en caso necesario (en el caso del gasoil si su nivel desciende por debajo de 25%). Esta medida se encuentra actualmente telecontrolada.

Programa de limpieza

Se establece la ejecución de una limpieza general de las instalaciones con periodicidad anual, que incluirá, al menos, lo siguiente:

Limpieza de las márgenes del vaso en la zona comprendida entre la cota 210,00 m y las carreteras circundantes.

Limpieza del paramento aguas abajo, eliminando matorrales y pequeños arbustos.

Limpieza del paramento aguas arriba, eliminando la vegetación en juntas

Eliminación de sedimentos de la estación de aforos que puedan afectar a las mediciones (también tras una avenida que deposite tal cantidad que pueda afectar a las mediciones)

Limpieza de canales y aforadores en las galerías de la presa (también cuando en las inspecciones periódicas se observe una acumulación anormal de sedimentos)

Limpieza de las instalaciones de la presa, galerías, camino de coronación, casetas de válvulas, edificio auxiliar, etc.

Sin perjuicio de lo anterior, el Director de Explotación podrá ordenar la limpieza o acondicionamiento de parte de las instalaciones cuando a su juicio así sea requerido.

Responsabilidad del desarrollo del programa de conservación y mantenimiento

La responsabilidad final del desarrollo de los trabajos recae en el Ingeniero Director de Explotación y para su ejecución debe apoyarse tanto en el Equipo Electromecánico como en el de Obra Civil, que, bajo la coordinación del Jefe del Servicio de Presas abordarán las distintas actividades en función de su especialidad, salvo en lo que respecta a las pruebas de funcionamiento de los desagües de fondo, cuya realización corresponde al Equipo de Inspección y Auscultación.

En cualquier caso y cuando las operaciones a realizar excedan de las capacidades del personal propio, el Director de Explotación podrá contratar los servicios de una empresa externa especializada, sin que ello signifique una pérdida de responsabilidad.

Resumen del programa de conservación y mantenimiento

A continuación se presenta esquemáticamente el programa de conservación y mantenimiento establecido para la presa de Undúrraga:

		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Mantenimiento correctivo													
Mantenimiento preventivo	Mecánico general												
	Eléctrico general												
	Eléctrico CT												
	Accionamiento órganos desagüe												
	Accionamiento grupo electrógeno												
	General grupo electrógeno												
	General del aprovechamiento												

NORMAS PARA LA INSPECCIÓN, VIGILANCIA Y AUSCULTACIÓN

La necesidad de establecer un plan específico coordinado de auscultación e inspección está directamente recogida en el artículo 94.2 de la Instrucción. Por tanto, debe establecerse el programa de auscultación e inspección, de forma que sea posible conocer la evolución de la presa y el embalse y detectar de manera temprana las eventuales anomalías.

En este sentido, la seguridad de la presa depende especialmente de su correcta observación, en la que se compruebe si se comporta de acuerdo con lo previsto o si presenta alguna deficiencia que aconseje tomar ciertas medidas, así como de una adecuada interpretación de los datos obtenidos.

La observación estructural de la presa se lleva a cabo mediante dos tipos de actividades:

Una genérica, de inspección, que puede ser realizada por personal no especializado, únicamente adoctrinado en su misión y en los aspectos que debe observar.

Otra detallada y tecnicada de auscultación y medición, que se basa en aparatos instalados en la presa y en el terreno. Esta labor requiere de un personal especializado en su manejo, mantenimiento y análisis. La interpretación final de los resultados se hace en gabinete, comparándolos con los esperables según cálculos deterministas o estadísticos.

Los resultados de ambas actividades deberán quedar recogidos en los partes mensuales de inspección y auscultación que el Jefe del Servicio de Presas debe remitir al Ingeniero Director de Explotación para su valoración y análisis. Una síntesis de los mismos junto a su interpretación debe formar parte del Informe Anual de Explotación a enviar a la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Asimismo, cada 5 años se realizará un Análisis General de la Seguridad de la presa y embalse, en la que se examinará el estado general del aprovechamiento, el de sus materiales, válvulas y compuertas, líneas eléctricas, comunicaciones, resultados de las mediciones y observaciones, etc.

Por otra parte, la metodología presentada en el presente capítulo, tanto en lo que respecta a inspección como en lo referente a la auscultación, puede ser aplicada del mismo modo a situaciones de emergencia en las que se requiere una intensificación del control del estado y funcionamiento de la presa, sin más que aumentar la frecuencia de observación establecida.

Programa de inspección

La vigilancia, incluso la de tipo genérico visual no especializada es vital, pues la mayoría de los defectos detectados se hacen gracias a observaciones directas y no por medio de aparatos.

Para el caso de la presa de Undúrraga, con independencia de las lecturas de los aparatos de auscultación, el Equipo de Inspección y Auscultación, bajo la supervisión del Jefe del Servicio de Presas, efectuará mensualmente una inspección del aprovechamiento. Sin

perjuicio de lo anterior, el Director de Explotación desarrollará también una inspección personal y detallada con una periodicidad anual o con mayor frecuencia si existen indicios de alguna anomalía y siempre que se haya producido una emergencia.

Las visitas de inspección abarcarán al menos lo siguiente:

Coronación de presa	<ul style="list-style-type: none"> • Deformaciones • Pérdida de alineaciones • Estado de elementos de evacuación de agua de lluvia • Movimiento y estado del bateolas/pretil • Iluminación
Paramento de aguas abajo	<ul style="list-style-type: none"> • Estado general • Surgencias • Agrietamiento • Humedades • Defectos en la superficie • Hundimientos o abombamientos • Vegetación hidrófila • Terreno inusualmente blando • Signos de deslizamiento • Inclinación de troncos de árboles
Paramento de aguas arriba	<ul style="list-style-type: none"> • Estado general • Estado de juntas • Agrietamiento • Fisuración o cuarteado superficial • Hundimientos o abombamientos
Contacto de la presa con la cimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Estado general • Presencia y posición de surgencias o fuentes • Burbujeo • Apertura o levantamiento • Turbidez en filtraciones • Erosión o depósitos
Galerías	<ul style="list-style-type: none"> • Rejas de cierre • Presencia e importancia de humedades • Filtraciones • Estado de paramentos: fisuración o cuarteado superficial • Pérdida de alineaciones • Iluminación
Dispositivos de auscultación	<ul style="list-style-type: none"> • Limnímetro y estación meteorológica • Clinómetros • Pares de juntas entre bloques • Extensómetros • Bases y dianas para nivelación y triangulación • Piezómetros • Aforadores de filtración
Aliviadero, rápida y cuenco	<ul style="list-style-type: none"> • Flotantes y elementos extraños

amortiguador	<ul style="list-style-type: none"> • Estanqueidad de compuertas • Deformación de compuertas • Mecanismos de cric • Erosiones o grietas en los paramentos • Defectos estructurales
Desagües de fondo e intermedios	<ul style="list-style-type: none"> • Rejillas • Estanqueidad de compuertas y válvulas • Oxidación de mecanismos • Fugas y defectos
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Línea telefónica • Radio • Telecontrol • Alarmas
Edificios	<ul style="list-style-type: none"> • Estado general • Humedades y grietas • Cerramientos
Suministro de energía	<ul style="list-style-type: none"> • Centro de Transformación • Línea de Baja Tensión • Grupo electrógeno
Accesos	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de cierre • Deslizamientos • Baches y desperfectos superficiales • Drenaje
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Repuestos
Embalse	<ul style="list-style-type: none"> • Remolinos • Burbujeo • Deslizamientos de ladera • Desperfectos de vegetación de ribera • Flotantes y desperdicios • Estado de los mojones de delimitación • Carteles de prohibición de actividades recreativas • Fuentes de contaminación y vertidos incontrolados • Usos fraudulentos del agua • Actividades o construcciones no permitidas

Además, en el transcurso de la visita de inspección, el Equipo de Inspección y Auscultación realizará las maniobras bimensuales establecidas en el programa de accionamiento periódico de los órganos de desagüe dentro del programa de mantenimiento y conservación de las instalaciones.

Los resultados de las visitas de inspección se plasmarán en el formulario tipo recogido en el Apéndice 9 y que debe ser remitido al Director de Explotación mensualmente.

Programa de vigilancia y control de visitas

Las instalaciones de la Presa de Undúrraga son de acceso restringido para el personal ajeno. A tal efecto se dispone de un servicio de vigilancia permanente y de vallas para el control del paso a vehículos. Además, existen medios disuasorios como señalización, cerraduras y alarmas.

Visitantes no técnicos

Todas las visitas no técnicas de la presa de Undúrraga deberán estar autorizadas por el Ingeniero Director de Explotación. Para ello los visitantes deberán enviar una solicitud previa, acreditando la identidad de la Institución de que se trate e indicando una fecha y una hora precisas para la realización de dicha visita.

Los visitantes deberán encontrarse siempre acompañados al menos por un operario de la presa. Es muy importante (sobre todo si se trata de visitas de colegios) que antes de comenzar la visita se den algunas indicaciones sobre seguridad. El operario de la presa que dirija la visita deberá tomar las precauciones necesarias para que no se produzca ningún percance: evitará que nadie se asome imprudentemente por las barandillas de la presa, que toque cualquier aparato, que arroje objetos desde coronación, etc. Se informará con antelación sobre la presencia de agua, huecos, pozos, etc. Los autobuses podrán estacionarse junto a coronación en margen izquierda, de forma que dejen siempre el acceso libre a la coronación de la presa.

Visitantes técnicos

Todas las visitas técnicas a las instalaciones de la Presa de Undúrraga deberán estar autorizadas por el Ingeniero Director de Explotación. Para ello los visitantes deberán enviar una solicitud previa, acreditando la identidad de la Empresa u Organización de que se trate e indicando el motivo de la visita, y una fecha y hora precisas para la realización de la misma.

Los visitantes deberán encontrarse siempre acompañados al menos por un operario de la presa, si bien se recomienda que sea el Jefe del Servicio de Presas quien lo haga. Es muy importante que antes de la visita se den algunas indicaciones sobre seguridad. El operario de la presa que dirija la visita deberá tomar las precauciones necesarias para que no se produzca ningún percance.

Si así se autoriza, los vehículos de las visitas podrán estacionar junto al edificio de control. Se deberá llevar un control escrito de este tipo de visitas.

Control del embalse

Se cuidará el uso por terceros de las zonas accesibles de embalse. En este sentido, la zona de embalse se encuentra delimitada por mojones de hormigón que incluyen en todo el

perímetro la zona anegada en avenidas. A partir de dicha línea de máxima inundabilidad el Reglamento del Dominio Público Hidráulico define una franja perimetral de 5 metros de anchura en concepto de servidumbre de paso y otra franja adicional de 95 m en concepto de zona de policía. Esto hace un total de 100 m de anchura en la que establece por ley que la ejecución de todo tipo de obra debe estar sujeta previamente a la autorización administrativa por parte de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico

Durante la inspección mensual del aprovechamiento, el Equipo de Inspección y Auscultación deberá recorrer el perímetro del embalse para controlar que no se realicen construcciones o actividades sin la pertinente autorización. En caso contrario, se pondrá el hecho en conocimiento de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico.

Además, el embalse tiene prohibido su uso con fines lúdicos y recreativos incluso baño, a excepción de la pesca, por lo que se deberá controlar el cumplimiento de esta normativa sobre todo en época estival.

Programa de auscultación

Objetivos

El programa de auscultación comprende un conjunto de medidas internas o externas a la presa que poseen los siguientes objetivos:

Estación meteorológica: Permite la medición de la precipitación, la temperatura máxima y la mínima diaria en el momento de la medida de un determinado indicador, lo que es importante a la hora de ajustar modelos estadísticos de comportamiento.

Sonda digital de presión para la medida del nivel de embalse y escala limnimétrica: Permite registrar el nivel de embalse de forma continua, como representativo de las solicitaciones a las que se encuentra sometida la estructura, lo que resulta fundamental para el ajuste de cualquier modelo predictivo.

Aforadores interiores y exteriores: Permiten cuantificar el caudal de filtración a través del cuerpo de presa y su cimiento en diferentes zonas (a lo largo de la galería del plinto y en el exterior). Las filtraciones son uno de los factores más importantes a controlar en una presa de materiales sueltos por la posibilidad de que den lugar a fenómenos evolutivos de pérdida de material (tubificación) o que sean indicativos de una rotura del elemento de impermeabilización.

Piezometría: Su control permite evaluar la eficacia de la pantalla de impermeabilización y drenaje, conocer las presiones intersticiales dentro del cuerpo de presa (con implicaciones en su estabilidad) y establecer la permeabilidad del cimiento.

Clinómetros: Permiten el seguimiento del giro del plinto, que es indicativo de su estabilidad y de la posible apertura de la junta de apoyo sobre el cimiento y su posible efecto sobre las filtraciones.

Pares medidores de juntas entre bloques: Permiten conocer la deformación relativa de los distintos bloques en los que se divide el plinto, para evaluar así la deformabilidad diferencial del cimiento y las tensiones a las que se ve sometida la pantalla de impermeabilización.

Extensómetros de varilla: Controlan el posible despegue (tracción) o cierre (compresión) de la junta entre en el terreno de cimentación y el plinto.

Nivelación y alineación de bateolas y pantalla: Permiten estimar tanto los asientos progresivos y diferenciales del dique como su respuesta deformacional ante las sobrecargas hidráulicas. Es indicativo de la calidad del material y de su resistencia estructural.

Dispositivos de auscultación

Para poder disponer de la información suficiente relativa a la seguridad de la estructura, la presa de Undúrraga cuenta con los siguientes dispositivos de auscultación:

Estación meteorológica con medida de la precipitación diaria y de la temperatura ambiental máxima y mínima situada en el estribo derecho junto al bateolas. Pluviógrafo anexo para funcionamiento automático y termómetros manuales de medida de la temperatura máxima y mínima ubicados en la mitad de cada tramo de galería.

Sonda Rittmeyer instalada en la cámara del desagüe de fondo para medición por presión del nivel de embalse. Como escala gráfica de medida, se dispone de una serie de marcas de pintura situadas cada 0,5 m en el contacto de la pantalla de hormigón con el terreno en el estribo izquierdo.

Caudalímetros en tomas y telecontrol del grado de apertura de compuertas de aliviaderos y desagües.

Estación de aforos situada 2 km aguas arriba de la presa, que controla un 69% de la cuenca vertiente al embalse. El control de caudales se realiza mediante un limnómetro electrónico y un limnógrafo registrador, ambos de contrapeso y flotador.

Aforadores tipo Thomson (vertedero triangular de pared delgada) para el control de las filtraciones interiores en 5 tramos: estribo izquierdo, tapiz izquierdo, central izquierda, central, central derecha y estribo derecho. En el tapiz derecho se dispone de un aforador convencional.

Dos aforadores rectangulares con contracción lateral (uno por estribo) que recogen las filtraciones provenientes del embalse y la escorrentía del agua de lluvia por el talud de la presa. Entre ellos existe un vertedero de pared delgada para medir las pérdidas de los desagües de fondo. Por último, en el azud de final de cuenco, se ha instalado también un medidor del caudal total procedente de la presa y de la explanada a su pie.

Aforador situado a unos 100 m aguas abajo del pie de presa y en la margen izquierda del remanso provocado por el azud de final de cuenco amortiguador para lectura de los caudales procedentes de varios orígenes: filtraciones del cuerpo de presa que no pueden ser conducidas al totalizador de estribo izquierdo, manantial junto a la cata nº 3, drenaje de la carretera BI-4501 y pluviales de la margen izquierda del cuenco de la presa.

3 catas para lectura del nivel freático ubicadas a 4 m del encuentro del talud de aguas abajo con el terreno. Disponen de una base para alojar y referenciar la sonda de nivel.

86 taladros en la galería perimetral y 1 en la galería de pie de tapiz de la margen derecha para control de las subpresiones existentes en la cimentación de la presa. El diámetro de los taladros es de 76 mm.

44 pares medidores de juntas para el control de los movimientos relativos (deformaciones) entre bloques contiguos. Constan de dos piezas metálicas, acodadas e independientes, sujetas a cada uno de los bloques y dispuestas de tal forma que permiten realizar las mediciones de control en las tres direcciones ortogonales: apertura-cierre, según la horizontal normal a la junta, deslizamiento, según la vertical en el plano de la junta, y profundidad, también en el plano de la junta.

27 clinómetros ubicados en los hastiales de aguas arriba de las galerías para medida del ángulo de giro de los bloques que conforman el zócalo o plinto de la presa respecto a la horizontal.

8 bases de control extensométrico colocadas en algunos bloques de la galería perimetral para el control de las deformaciones en puntos del interior de la presa y del terreno.

Ocho dianas (B-1 a B-8) situadas en margen derecha, siete (B-9 a B-15) en margen izquierda y dos (8' y 9') en la fachada de la caseta de coronación para control de nivelación y alineación del bateolas desde bases fijas.

Once dianas (P-21 a P-11) instaladas en margen derecha, nueve (P-9 a P-1) en margen izquierda y una (P-10) en el bloque del cuerpo central de hormigón de la presa para control de nivelación y alineación en pantalla de la presa (cota 212,274 m) desde bases fijas.

Diez bases (P-20´ a P-11´) ubicadas en margen derecha, ocho (P-9´ a P-2´) en margen izquierda y una (P-10´) en el bloque del cuerpo central de hormigón de la presa para control de nivelación en pantalla de la presa (cota 206,837 m)

35 hitos topográficos en la ladera derecha y 16 en ladera izquierda (incluyendo pórtico) para control topográfico de posibles deslizamientos.

En el apartado II-5 se presenta una descripción detallada de la instrumentación anterior.

Programa de medidas

La medición de las distintas variables de auscultación de la presa de Undúrraga se efectúa en la actualidad de manera manual, salvo en lo que respecta al nivel de embalse, caudales de toma, caudal aforado en cola, grado de apertura de órganos de desagüe y aforadores exteriores, cuya lectura se encuentra telecontrolada y se realiza en continuo.

La responsabilidad en la ejecución del programa de auscultación recae en el Ingeniero Director de Explotación, quien dispone del Equipo de Inspección y Auscultación, bajo la supervisión directa del Jefe del Servicio de Presas, para su materialización. Para la ejecución de los trabajos de control topográfico se pueden contratar los servicios de una empresa externa.

El CABB posee un protocolo específico para la auscultación de la presa, consistente en una serie de procedimientos para leer, transmitir, almacenar, calcular y dibujar toda la información obtenida y que son:

- Establecimiento y carga de rutas de lectura
- Lectura de aparatos en las presas y almacenado en PDA
- Descarga de terminales portátiles en el ordenador
- Transmisión de datos al ordenador central del CABB
- Tratamiento numérico
- Extracción de la información almacenada
- Tratamiento gráfico
- Análisis de los resultados

En el Apéndice 9 se recogen los formularios tipo a rellenar durante la toma de datos. Esta información será remitida mensualmente al Ingeniero Director de Explotación para su valoración.

Conocida la situación actual de la estructura, según consta en el Análisis General de Seguridad redactado en el año 2009, se establecen las siguientes frecuencias de medida, consideradas suficientes para asegurar la detección temprana de cualquier fenómeno anómalo:

Control	Frecuencia de lectura	Medios humanos
Meteorológico	Diaria	Propios
Nivel de embalse	Continua	Propios
Caudales	Continua	Propios
Aforos	Diaria Continua en VE-I (ext. izq), VE-D (ext. der) y VC-I (galería central izq.)	Propios
Catas	Diaria	Propios
Juntas de dilatación	Cada 2 semanas (14 días)	Propios
Clinómetros	Cada 2 semanas (14 días)	Propios
Extensómetros de varilla	Cada 2 semanas (14 días)	Propios
Piezómetros	Cada 2 semanas (14 días)	Propios
Control topográfico en presa y laderas del vaso del embalse	Semestral (enero y julio)	Ajenos
Filtraciones de origen desconocido por el exterior de la presa	Anual (final de verano -principios de otoño)	Propios

Interpretación de resultados

Lógicamente, la finalidad de la auscultación y de las inspecciones es permitir evaluar el comportamiento de la presa, por lo que los resultados deben ser procesados o interpretados a partir de modelos de comportamiento, sean estos deterministas, estadísticos o mixtos.

En cuanto a la inspección visual directa, la observación de anomalías dará lugar a la aplicación de medidas dentro del programa de mantenimiento y conservación, a la intensificación de la auscultación y la vigilancia o la declaración directa de un escenario de emergencia

En cuanto a la auscultación, el grado de semejanza entre los valores registrados en un determinado momento de la explotación de la presa y los valores esperables según los modelos existentes determinará la situación presente de la presa, pudiendo encontrarse en situación normal (para la que son aplicables las normas recogidas en el Capítulo III) o en emergencia (según lo establecido en el apartado IV-3). La separación entre una y otra situación viene dada por unos determinados valores umbrales que se recogen en el apartado IV-3.3.

La responsabilidad de la interpretación de los resultados del programa de auscultación así como de las visitas de inspección recae en el Director de Explotación.

En el caso de la presa de Undúrraga, la interpretación de los resultados se basará en los siguientes modelos desarrollados durante el Análisis General de la Seguridad de 2009 para los parámetros más relevantes, a no ser que el Director de Explotación, en función de la gravedad de un suceso, decida desarrollar nuevos estudios a tal efecto:

a) Filtración exterior en margen izquierda:

El caudal de filtraciones que se recoge en el exterior de la presa por margen izquierda es creciente y uno de los fenómenos en la actualidad más preocupantes. Tras un análisis exhaustivo de las series de lecturas históricas, se ha llegado a la conclusión de que su cuantía depende fundamentalmente del modo de explotación del aprovechamiento, de las campañas de inyecciones para la impermeabilización del terreno de cimentación bajo el plinto y, en menor medida, del nivel del embalse.

De forma general, una filtración a través de un medio permeable respondería a una ley del tipo:

$$Q = C_d \cdot A \cdot (H - H_0)^\alpha$$

siendo Q caudal de filtración
A área de filtración
H altura del embalse
H₀ cota del centro del área origen de la filtración
C_d coeficiente de desagüe
α exponente de la carga hidrostática

Por otro lado, se estima que la forma de explotación del aprovechamiento, con una sucesión de ascensos y descensos diarios del nivel del embalse, tienen un efecto acumulativo que puede relacionarse directamente con los caudales de filtración. En concreto, todo hace pensar que el crecimiento del área de filtración (A) está relacionado con estos ciclos diarios de carga/descarga. La relación más sencilla de las posibles es la lineal:

$$A_i = A_0 + K \cdot \sum^i \Delta_{\text{diario}}$$

siendo A₀ Área de la filtración en el día tomado como origen
ΣⁱΔ_{diario} Sumatorio de las diferencias diarias entre el nivel máximo y mínimo del embalse desde el día tomado como origen
K constante de crecimiento

La ejecución de campañas de inyección puede, y así se ha demostrado, reducir la cuantía de esta área de filtración, retomando posteriormente su tendencia creciente y sostenida.

En cuanto al exponente α, si éste fuese de valor 0,5, la filtración respondería a la ecuación del desagüe a través un orificio y sería, por tanto, el resultado de una rotura en un elemento artificial o de la circulación a través de un conducto en el terreno de cimentación. En cambio, si fuese de valor 1 respondería a la ley de Darcy de flujo en medios porosos y podría asociarse al flujo a través de la cimentación. En cuanto a H, se propone adoptar el nivel medio de embalse del día correspondiente como valor representativo de la carga hidrostática asociada al caudal filtrado en cada instante.

En conclusión, las filtraciones del día i tomando como base el día 0 responderían a la ecuación general siguiente:

$$Q_i = C_d \cdot [A_0 + K \cdot \sum^i \Delta_{\text{diario}}] \cdot (H - H_0)^\alpha$$

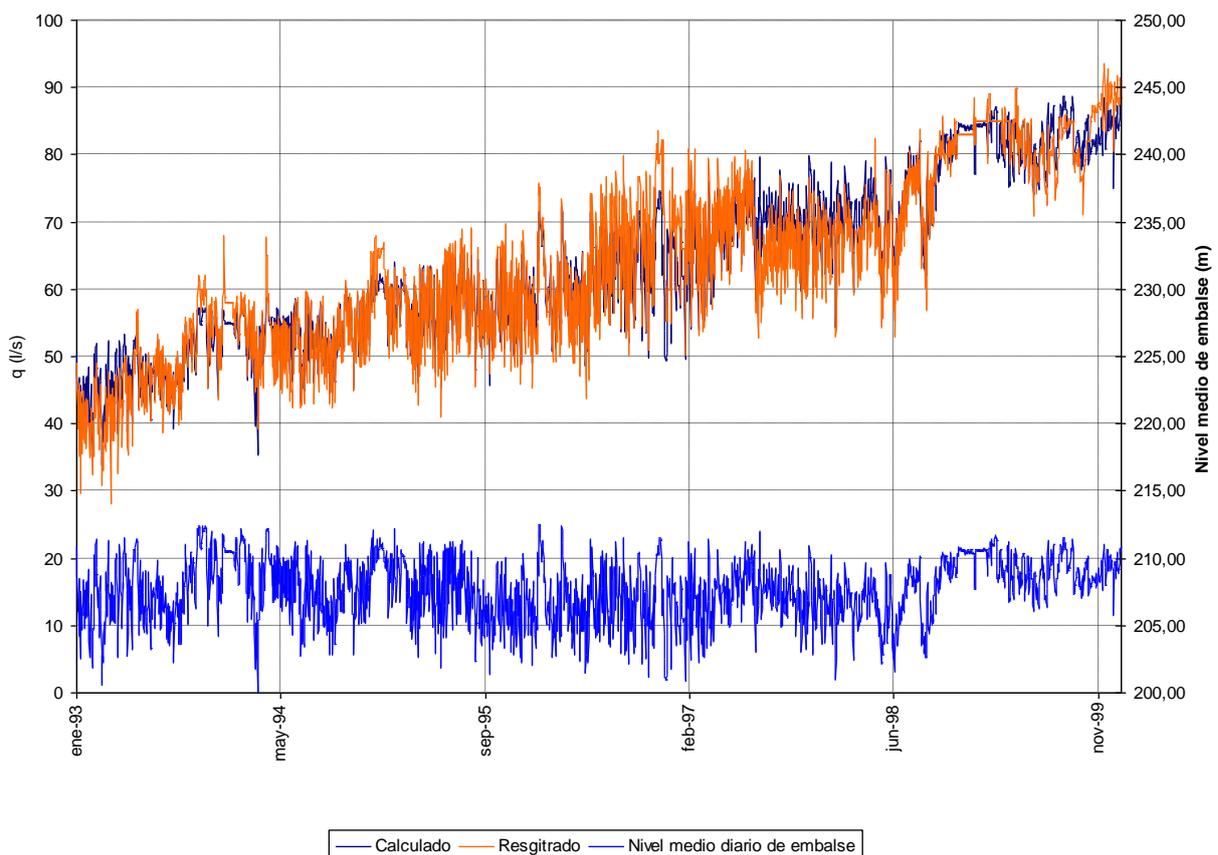
Para la calibración de la ecuación anterior se han tomado como referencia dos periodos de tiempo en los que la explotación ha sido homogénea y en los cuáles no se han producido trabajos de inyección significativos, en concreto:

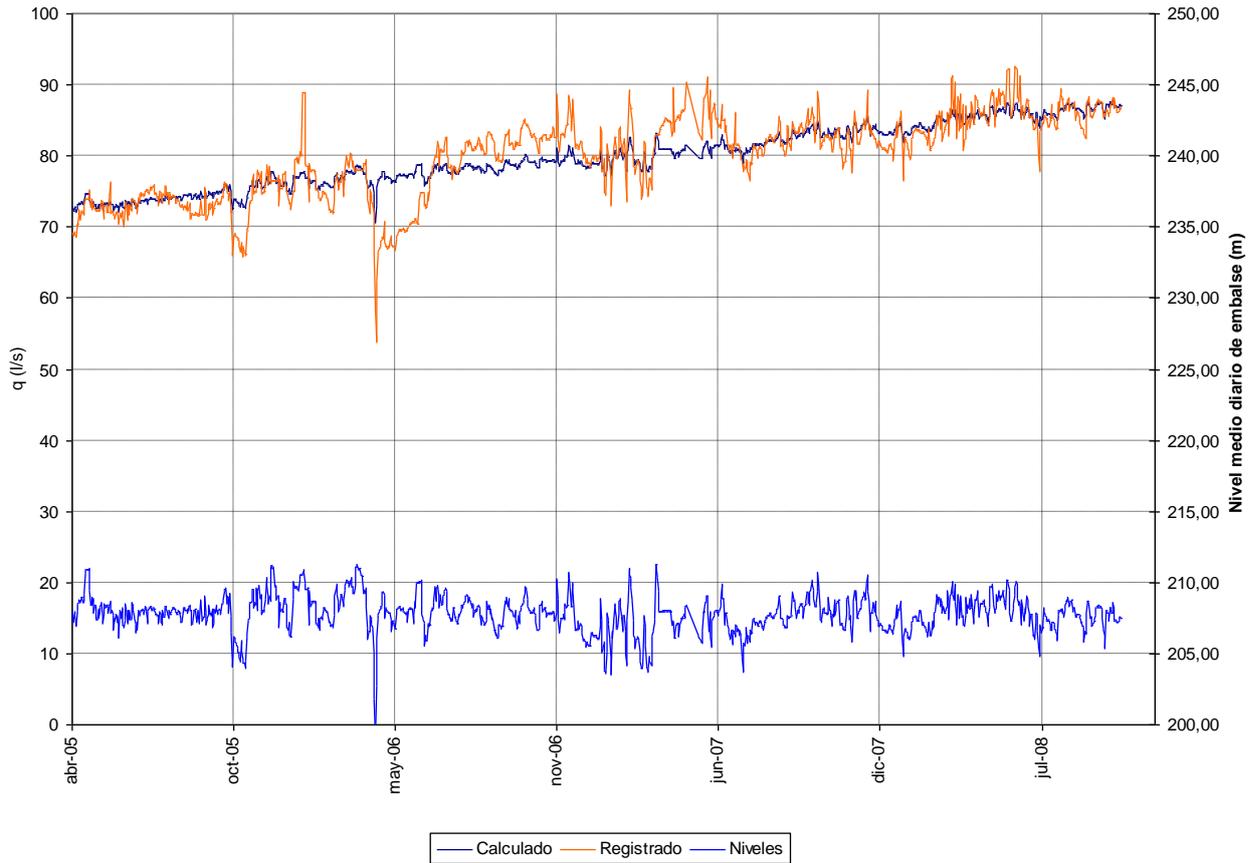
Desde 1 de enero de 1993 al 31 de diciembre de 1999

Desde 1 de abril de 2005 al 20 de octubre de 2008

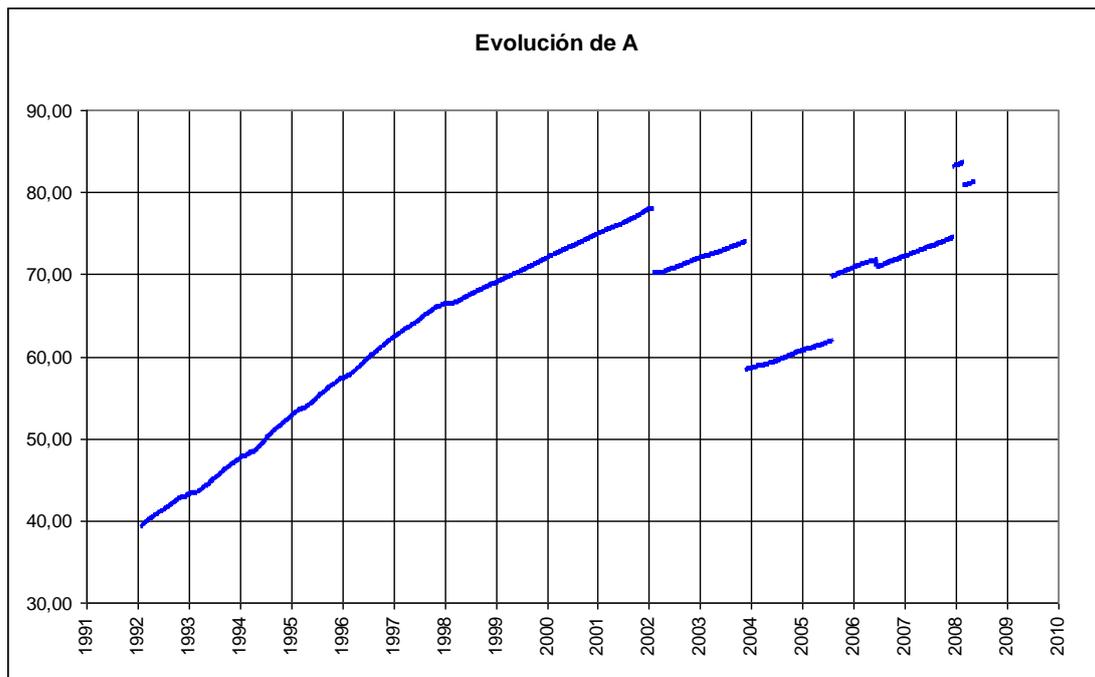
Obteniéndose un mejor ajuste para:

α	C_d	A_0	K	H_0	$1-R^2$
0,5	0,30	39,30	$4,20 \cdot 10^{-3}$	192,7	0,905





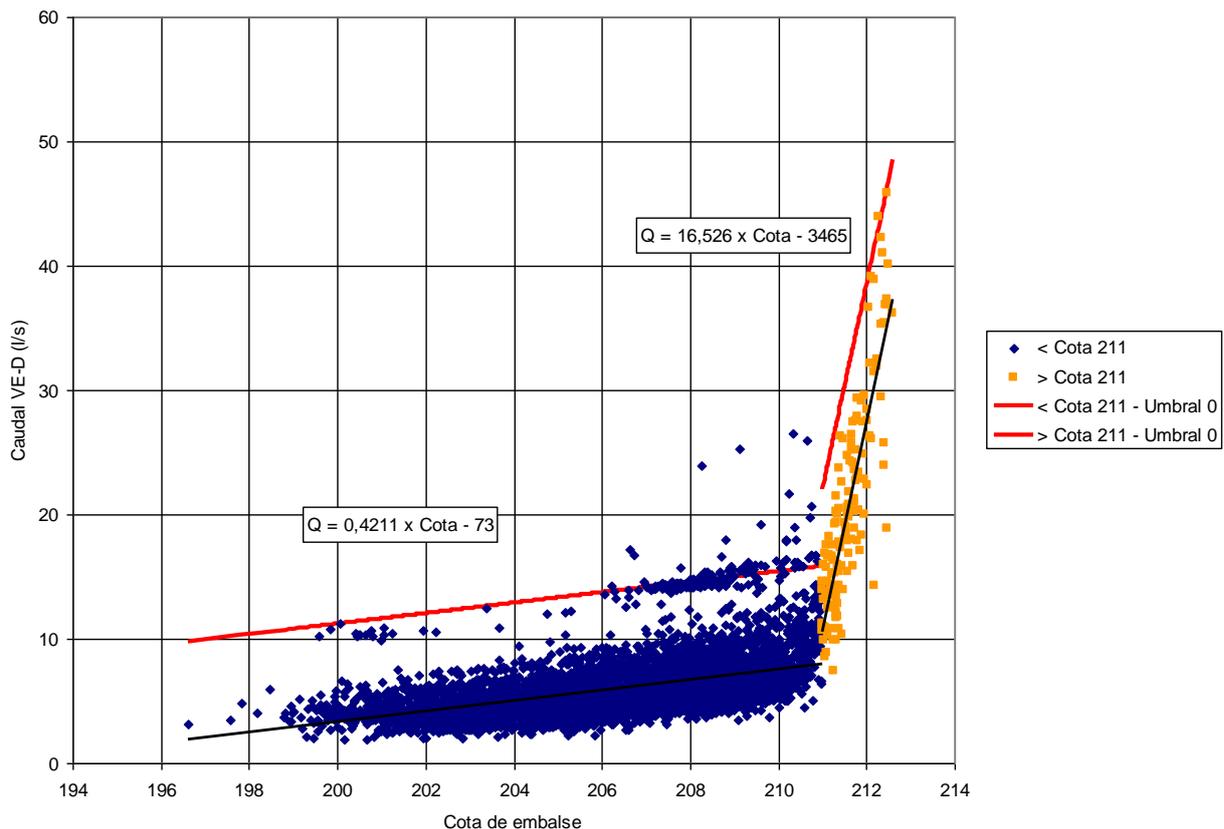
Manteniendo este modelo a lo largo de toda la historia de datos de filtración, la evolución más probable de A habría sido de:



b) Exterior margen derecha:

En el caso de las filtraciones recogidas por margen derecha en el exterior de la presa, se observa un comportamiento estable a lo largo del tiempo únicamente dependiente del nivel de embalse. Las relaciones que fijan el caudal del umbral 0 en función del nivel de embalse, se definen en dos tramos ya sea por encima o por debajo de la cota 211, mediante las expresiones.

$$\begin{aligned} \text{Para cota} < 211 \text{ m} & \quad Q \text{ (l/s)} = 0,4211 \times \text{Cota (m)} - 73 \\ \text{Para cota} \geq 211 \text{ m} & \quad Q \text{ (l/s)} = 16,526 \times \text{Cota (m)} - 3465 \end{aligned}$$



La valoración en términos geológicos de este fenómeno podría indicar la existencia de una vía preferente en torno a la cota 211 m que se colmataría periódicamente y que, por tanto, requeriría de un potencial elevado para su lavado. En este sentido, los siete episodios registrados con caudales superiores a los 30 l/s serían coherentes con un comportamiento que implicaría un aparente destaponamiento previo, máximos muy localizados y progresiva reducción posterior del caudal. Este comportamiento parece apuntar a la capacidad de acumulación de pequeños volúmenes de agua en zonas de fractura.

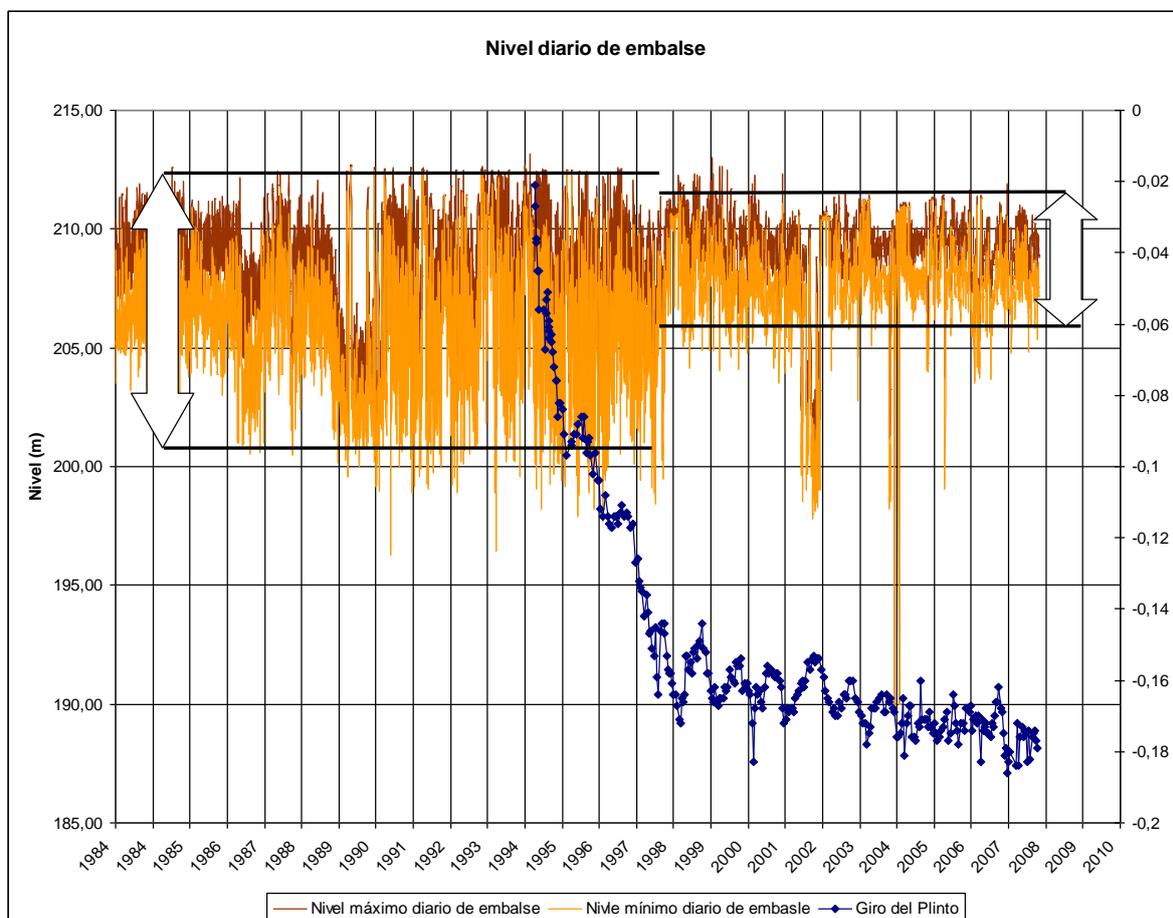
Todo ello podría ser interpretado como un régimen turbulento asociado a una red de cavidades (carstificación) que entraría en funcionamiento a partir de la cota comentada. No obstante, no se ha apreciado un incremento de los caudales con el tiempo, lo que descarta la existencia de procesos de disolución.

c) Aforadores interiores:

La red de drenaje se encuentra en la actualidad parcialmente colmatada por lo que los valores de los caudales registrados no son representativos, estableciéndose la necesidad de no superación de los máximos valores históricos.

d) Clinómetros:

Todos los clinómetros de la presa han respondido históricamente de forma análoga, aumentando progresivamente los giros hacia aguas abajo y existiendo una correspondencia elevada con la acumulación sucesiva de ciclos de embalse/desembalse. De hecho, el cambio de explotación acontecido en 1999 hacia ciclos más cortos y rápidos habría reducido sensiblemente la velocidad de aumento de giro en todos los bloques del plinto.



Este hecho abre la posibilidad a la existencia de algún tipo de fenómeno acumulativo relacionado con los niveles de embalse. El más plausible es que día a día, el plinto gire una cantidad que no llega a recuperarse del todo tras el descenso, cantidad que se acumula a la de los días anteriores, es decir, que el comportamiento de la cimentación del plinto sea anelástico. La cuantía de este giro puede estimarse mediante la siguiente formulación:

$$\theta_{i+1} = \theta_i + \theta^+ - \theta^-$$

$$\theta_{i+1} = \theta_i + A/100 \cdot (H_{\max,i} - H_{0,i})^2 - B \cdot (H_{\max,i} - H_{24,i})^2$$

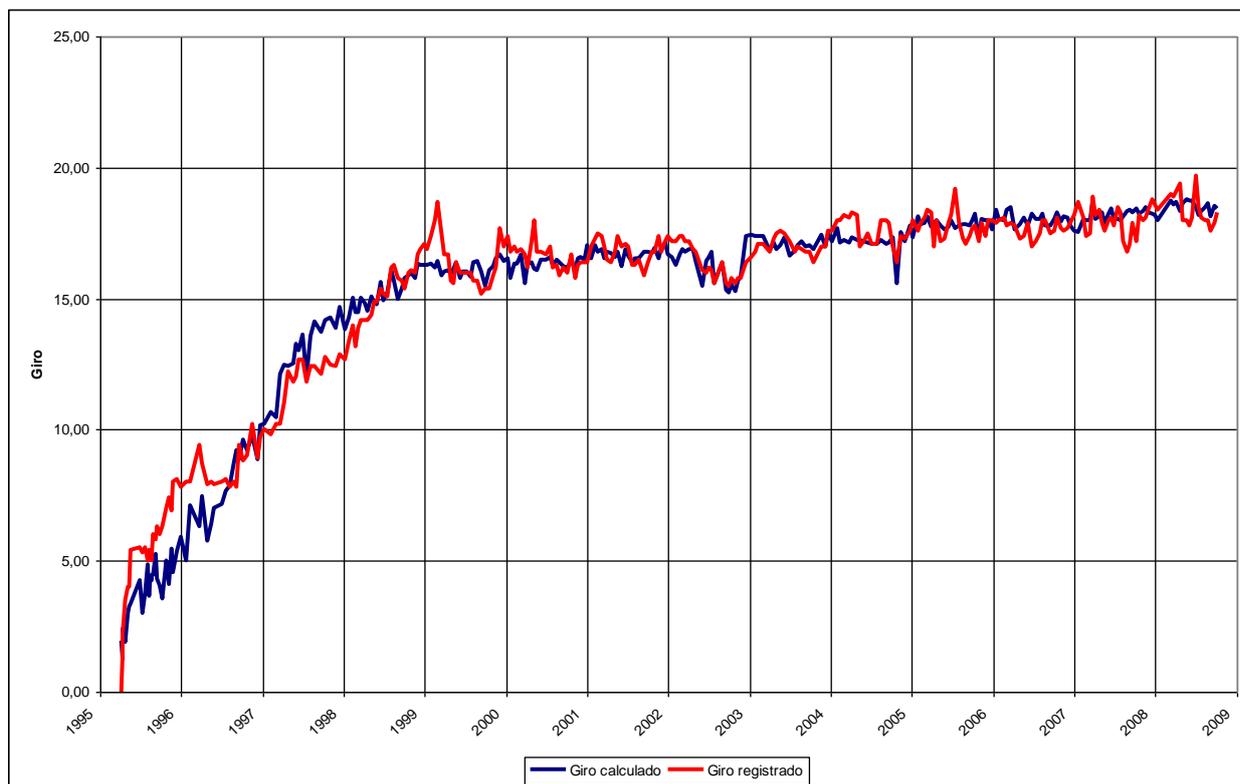
La actual red de clinómetros dispone de información quincenal a partir del 4 de abril de 1995. Es esta fecha la que se toma como cero relativo de los giros a efectos de ajuste de la ecuación y puesto que el comportamiento de todos los clinómetros es análogo, se puede tomar el giro de cualquier clinómetro, cambiando la escala de la siguiente forma:

$$\theta = - [\theta_i - \theta_1] \times 100$$

Siendo θ_1 el giro del día 4 de abril de 1995.

Efectuadas las operaciones anteriores y por comparación con los registros históricos disponibles, se logra ajustar la tendencia media de los giros mínimos diarios observados a los calculados con un $R^2 = 0,95$ (coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe), lo que puede considerarse excelente.

A	B	θ_i	%A
0,25	0,20	-11	0,87



e) Extensómetros:

La información aportada por los extensómetros hasta la fecha ha sido poco significativa, a excepción del situado en el bloque 14. En general se observa una tendencia hacia una ligera deformación positiva de la varilla 1, de mayor cuantía que la asociada a la varilla dos y que podría ser coherente con una pequeña apertura de la fisura plinto-cimiento. Es precisamente este aspecto, por la incidencia que podría tener en las filtraciones a través del cuerpo de presa, el que aconseja mantener una especial atención sobre esta instrumentación,

estableciéndose como regla general un cambio máximo admisible de la deformación de 0,1 mm/año

En lo que respecta al extensómetro E-14, en los últimos años se viene registrando una tendencia creciente hacia el acortamiento, que resulta similar en ambas varillas y que estaría relacionada con una consolidación progresiva del cemento. La velocidad media de este fenómeno durante el periodo 2003-2008 ha sido de 0,09 mm/año, con un asiento total del orden del milímetro desde el inicio de las lecturas, lo que no se considera alarmante. No obstante, se debería efectuar un seguimiento continuado del fenómeno para poder detectar variaciones bruscas en su desarrollo que aconsejasen la ejecución de análisis más profundos.

En este sentido, los intentos de ajustar un modelo estadístico en función de la temperatura, el nivel de embalse y el tiempo al comportamiento de este extensómetro no han sido plenamente satisfactorios, debido fundamentalmente a que se han registrado diversas tendencias en la velocidad de cambio, cuyo origen es difícilmente interpretable a partir de la información disponible. En este escenario, se ha optado por establecer como modelo de comportamiento una variación lineal de la deformación a partir del registro histórico, extrapolable a los próximos años.

f) Juntas:

La evolución de la deformación del plinto (más la de los tapices y cuerpo central) puede ser controlada mediante la lectura de los movimientos relativos en 3 dimensiones entre las juntas de los bloques que lo conforman. En general, se aprecia en la actualidad una tendencia hacia la contracción y desplazamiento hacia aguas arriba de la galería (cierre en planta de la misma) y hacia su levantamiento, cuyo origen es incierto, pero que se ha acentuado desde 2007 con un crecimiento comparativamente acelerado, sin que todavía los movimientos absolutos sean preocupantes. En cualquier caso, se recomienda efectuar un seguimiento detallado del fenómeno para verificar su progreso a futuro y detectar en adelanto posibles crecimientos significativos que indiquen una pérdida de alineación que comprometa la estabilidad del plinto o la estanqueidad de su unión con la pantalla o de su apoyo sobre el cemento.

En el análisis efectuado a los datos históricos, se detectaron además dos cambios de tendencia importantes en los desplazamientos observados: la modificación de la explotación en 1999 y las inyecciones de 2002, lo que obliga a restringir la proyección del comportamiento futuro al estudio de los últimos 6 años. Se efectuaron sendos ajustes de modelos estadísticos a los datos disponibles, considerando tanto el efecto de la temperatura ambiente como el del nivel de embalse y el del tiempo. Sin embargo, en los últimos meses se ha registrado una estabilización e incluso inversión de la tendencia que invalida su aplicación predictiva.

En este escenario, se ha preferido adoptar para los años siguientes un modelo de comportamiento basado en una variación lineal de los desplazamientos relativos en cada junta a partir del registro histórico 2003-2008.

g) Movimientos del cuerpo de presa y pantalla:

Las campañas de auscultación topográfica (alineación y nivelación) de coronación y pantalla efectuadas con frecuencia semestral no han detectado movimientos de importancia a lo largo de la vida de la presa. Incluso en el caso de los asientos se ha evidenciado una consolidación del cuerpo de presa menor que la teóricamente esperable en una obra de estas características, lo que sería indicativo de una buena calidad del material y de su correcta puesta en obra. En cualquier caso, se considera que esta instrumentación es relevante a la hora de detectar colapsos internos por tubificación o fallos en el cimiento, por lo que su continuidad se considera fundamental.

De esta manera se ha considerado suficiente establecer ajustes lineales a los datos históricos extrapolando los resultados a los próximos años, ya que el fenómeno de la consolidación de un terraplén se amortigua en el tiempo generalmente de forma logarítmica, por lo que no serían de esperar progresiones mayores que las lineales.