Escuela Politécnica Superior de Linares

Grado en Ingeniería Eléctrica

**UNIVERSIDAD DE JAÉN**
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

# ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA CENTRAL MINIHIDRAULICA

**Alumno:** **Cobos Cano, Abraham**

**Tutor:** Valverde Ibáñez, Manuel
**Depto.:** Ingeniería Eléctrica

**Octubre, 2014**

# INDICE GENERAL

1. **MEMORIA DESCRIPTIVA.**
2. **CALCULOS.**
3. **PLANOS**
4. **MEDICIONES Y PRESUPUESTO.**
5. **PLIEGO DE CONDICIONES**
6. **ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.**
7. **ANEXOS.**

# MEMORIA DESCRIPTIVA

[redacted]
Grado en Ingeniería Eléctrica

# ÍNDICE

**1. Introducción. ..... 4**

**1.1. Motivación del proyecto. ..... 4**

**1.2. Objetivos del proyecto. ..... 4**

**1.3. Metodología a utilizar. ..... 5**

**1.4. Descripción del Arroyo Guantero. ..... 6**

**2. La energía hidroeléctrica en España. ..... 8**

**2.1. Generalidades. ..... 8**

**2.2. Los planes de Energías Renovables y la minihidráulica. ..... 10**

**3. Aspectos técnicos de una central minihidráulica. ..... 11**

**3.1. Tipos de aprovechamientos hidroeléctricos. ..... 11**

**3.2. Criterios de diseño de una central. ..... 15**

**3.2.1. Estudio Hidrológico. ..... 15**

**3.2.2. Caudal y salto. ..... 16**

**3.3. Partes de una central. ..... 17**

**3.3.1. Casa de Máquinas. ..... 17**

**3.3.2. Tubería Forzada. ..... 17**

**3.3.2.1. Materiales empleados en la tubería forzada. ..... 18**

**3.3.2.2. Perdidas de carga. ..... 20**

**3.3.2.3. Golpe de Ariete. ..... 24**

**3.3.2.3.1. Descripción del golpe de ariete. ..... 24**

**3.3.2.3.2. Chimenea de equilibrio. ..... 25**

**3.3.2.4. Válvulas. ..... 26**

**3.3.3. Turbina..... 27**

**3.3.3.1. Introducción. ..... 27**

**3.3.3.2. Tipos de turbinas. ..... 29**

**3.3.3.3. Elección del tipo de turbina para el salto de los tajos del Guantero. ..... 35**

**3.3.3.4. Materiales a utilizar. ..... 37**

**3.3.3.5. Rendimiento de la turbina. ..... 37**

**3.3.3.6. Curvas características. ..... 38**

**3.3.3.7. Mantenimiento de las turbinas. ..... 40**

**3.3.3.8. Partes integradas en el conjunto de la turbina. ..... 42**

**3.3.3.8.1. Cámara espiral. ..... 42**

**3.3.3.8.1.1. Predistribuidor. ..... 43**

**3.3.3.8.2. Distribuidor Fink. ..... 43**

**3.3.3.8.3. Cierres laberínticos. ..... 45**

**3.3.3.8.4. Tubo de aspiración..... 45**

**3.3.3.8.4.1. Ganancia de salto en el tubo de aspiración. ..... 46**

**3.3.3.8.5. Eje. ..... 47**

**3.3.3.8.5.1. Cierres del eje. ..... 47**

**3.3.4. Generadores. ..... 48**

**3.3.4.1. Generadores Síncronos. ..... 49**

**3.3.4.1.1. Excitación de Generadores síncronos. ..... 49**

**3.3.4.1.2. Conexión del Generadores Síncronos. ..... 51**

**3.3.4.2. Generadores Asíncronos. ..... 52**

**3.3.5. Regulación, Control y Protección. ..... 53**

**3.3.5.1. Introducción. ..... 53**

**3.3.5.2. Reguladores de velocidad ..... 54**

**3.3.5.3. Protecciones ..... 56**

**3.3.5.4. Equipos Auxiliares ..... 57**

**3.3.5.5. Automatización. ..... 58**

**3.3.5.5.1. Introducción. ..... 58**

**3.3.5.5.2. Tipos de automatización. ..... 59**

**3.3.5.5.2.1. Empleo de relés convencionales. ..... 59**

**3.3.5.5.2.2. Empleo de tecnología digital. ..... 59**

**3.3.5.5.2.3. Descripción del sistema de control. ..... 61**

**3.3.5.6. Regulación de la turbina ..... 63**

**3.3.5.6.1. Introducción. ..... 63**

**3.3.5.6.2. Lazos de regulación del grupo turbina-generador. ..... 64**

# 1. Introducción.

## 1.1. Motivación del proyecto.

Las centrales hidráulicas, desde su implantación en España a finales del S.XIX, han sido utilizadas como centrales de punta o intermedias, dependiendo de su tamaño, por su facilidad para entrar en carga y cubrir los picos de demanda y las desconexiones imprevistas de las centrales convencionales o base.

En la actualidad el uso de energía obtenida a base de la combustión de hidrocarburos está generando grandes problemas al medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, y los efectos que esto genera en el clima, es por esto de la necesidad de buscar y reemplazar la energía basada en la combustión de hidrocarburos por energías renovables que sean menos dañinas con el medio ambiente.

La energía minihidráulica ha contribuido sustancialmente al progreso de los estándares de vida en el ámbito mundial con una tecnología de impacto ambiental relativamente bajo. Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas son la posibilidad energética conveniente para España, en la actualidad este tipo de centrales está en auge ya que tanto gracias al apoyo de la unión europea como la historia de esta tecnología en nuestro país, debido a la orografía del mismo, han hecho posible este crecimiento.

## 1.2. Objetivos del proyecto.

En el presente Proyecto Fin de Grado se pretende diseñar el sistema eléctrico-mecánico de una central minihidráulica que estudia aprovechar el salto existente en el curso del Arroyo Guantero a su paso por el paraje de los tajos del guantero en el término municipal de Loja, como parte de un proyecto multidisciplinar. Con este proyecto se pretende dar alimentación energética a una finca situada a escasos metros del emplazamiento de la central.

Para ello se quieren obtener los siguientes objetivos:

- Estudiar las condiciones de caudal y salto existente durante los últimos años.
- Determinar las condiciones nominales de caudal y salto de la turbina que optimicen el producible eléctrico de la central.

- Diseño y especificación de los distintos elementos electromecánicos que forman parte de la central (turbina, válvulas reguladoras, protecciones, mando y control, etc.,)

Dada la enorme cantidad de recursos técnicos y humanos que son necesarios para desarrollar un proyecto técnico para la explotación de una minicentral hidroeléctrica de estas características, y su complejidad técnica, este Proyecto Fin de Grado tiene su alcance delimitado al estudio y diseño de las partes electromecánicas, es decir turbina, generador, servicios auxiliares, protecciones, etc.,

## 1.3. Metodología a utilizar.

Para comenzar a desarrollar el proyecto y con objeto de realizar un proyecto los más real posible, se realizaran consultas a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) y a los distintos ministerios a los que el proyecto inmiscuya. Para así poder determinar las condiciones adecuadas para la instalación de la central y obtener los caudales existentes a lo largo de los últimos años.

Partiendo de esta información, se obtendrán las condiciones hidráulicas (caudal y salto) a lo largo de un año medio típico y en consecuencia se podrá analizar el caudal y el salto nominales de la turbina que maximicen la producción de electricidad de la central.

Con los datos obtenidos anteriormente se determinará el número específico de revoluciones de la turbina hidráulica, que permitirá seleccionar el modelo hidráulico adecuado. A partir de este modelo hidráulico se determinara el perfil hidráulico de los componentes hidráulicos de la turbina: rodete, cámara espiral, alabes directrices y tubo de aspiración.

Diseñada la turbina, se especificaran el resto de componentes de la central como alternador, diferentes sistemas integrados de protección y control de la central, etc., Por último se realizará el presupuesto y las mediciones.

## 1.4.Descripción del Arroyo Guantero.

El arroyo Guantero nace en las cercanías del cortijo de la Cañada Alta y en su discurrir hacia el arroyo Milanos, atraviesa las Lomas de las Canteras y del Pino, y la aldea de la Realenga de Torreagicampe todo esto dentro del término municipal de Loja en la provincia de Granada. Tiene más de 12 km de longitud y su cuenca ocupa cerca de 82 ha.

La precipitación media anual es de 75 mm y el caudal medio interanual 3.5 $m^3/s$.

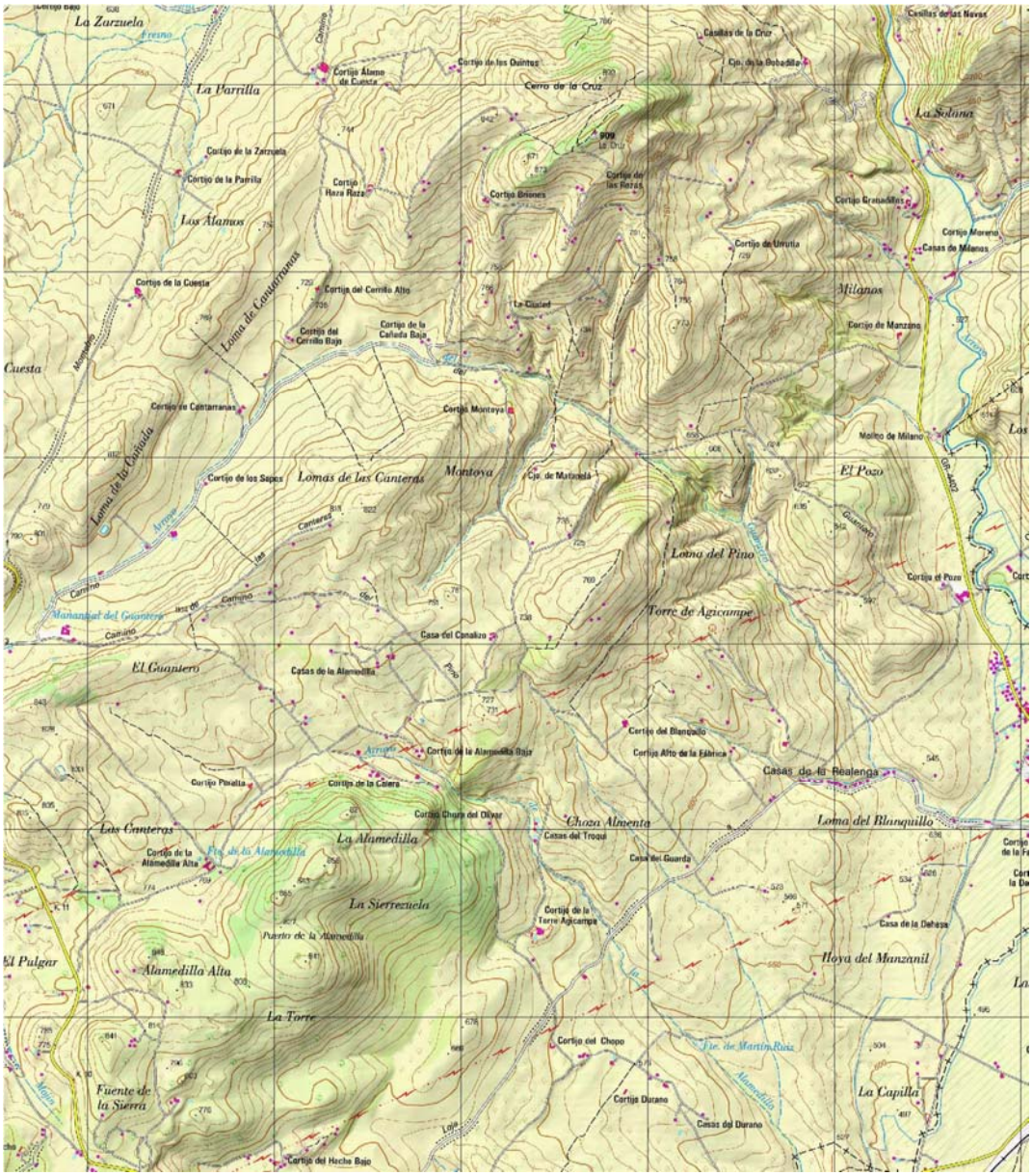



*Ilustración 1: Mapa Topográfico Zona*

El uso principal que se le ha dado a este arroyo es el de riego de las hazas vecinas ya que discurre en ocasiones por zona de vega, sobretodo cerca de su nacimiento. Aunque también le da alimentación de agua "potable" a varios cortijos para la explotación de ganadería intensiva.

El presente proyecto de Minicentral es parte de un gran proyecto que quiere poner en marcha un ganadero local en el cual pretende crear en su finca una zona de riego por goteo y un hotel rural a partir de un antiguo cortijo situado en las inmediaciones de la minicentral.

# 2. La energía hidroeléctrica en España.

## 2.1. Generalidades.

España cuenta con un consolidado sistema de generación de energía hidroeléctrica y un sector tecnológicamente maduro en esta área. Esto se debe a varios factores, como la existencia de importantes recursos hidrológicos y una larga tradición histórica en el desarrollo de aprovechamientos hidráulicos.

Aunque la evolución de la energía hidroeléctrica en España ha sido creciente, en los últimos años ha experimentado una disminución en la aportación de esta energía a la producción total de electricidad.

En la actualidad existen cerca de ochocientas centrales hidroeléctricas en España con una potencia total instalada de 19.888 MW en Abril de 2014, que supone un 19,4% de la potencia instalada en todo el territorio nacional. De estas centrales, unas 20 centrales solamente son capaces de generar más de 200 MW y suponen un 50% de la potencia hidroeléctrica instalada. El resto lo componen centrales repartidas por los distintos aprovechamientos disponibles.

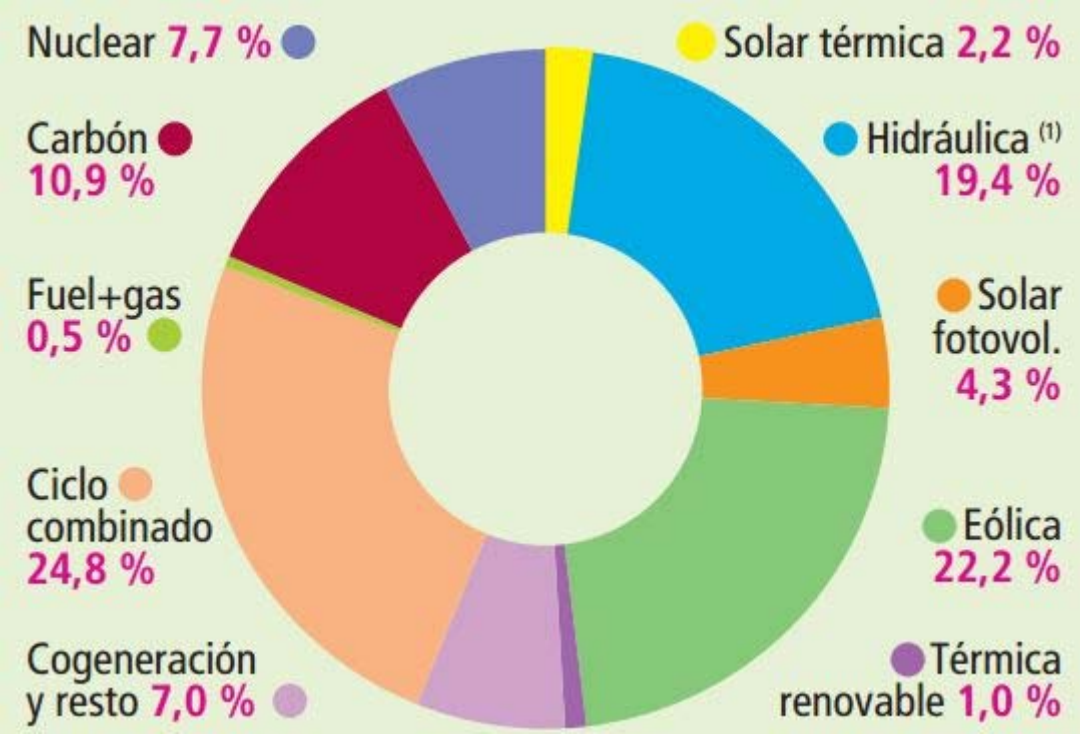



*Ilustración 2: Potencia instalada en España en Abril de 2014. El total fue de 102.301MW*

El criterio de distribución de las centrales obedece a la existencia de caídas de agua con la suficiente altura y energía. Existen, por lo tanto, densas concentraciones de centrales en las montañas del ángulo noroeste y en el Pirineo, donde empezaron a construirse desde principios del siglo XX para abastecer de energía a la industria catalana.

Otras centrales se reparten más aleatoriamente por las montañas del interior de la península, aprovechando los puntos donde existe agua y desnivel suficientes ligados a núcleos montañosos. La mayor concentración de grandes centrales se da en la caída de los ríos Duero y Tajo cuando abandonan la Meseta, ya en la frontera con Portugal. Las centrales de Villarino, Saucelle, Aldeadávila, José María de Oriol y Cedillo, suman nada menos que el 20% del total de la potencia hidráulica instalada en el país, y el 7% de la potencia eléctrica total.

El mapa que se presenta a continuación, elaborado por UNESA, representa todas las centrales de la península que superan los 20 MW, indicándose el nombre de aquellas que superan los 300 MW.

*Ilustración 3: Mapa de las centrales españolas que superan los 20 MW instalados.*

## 2.2.Los planes de Energías Renovables y la minihidráulica.

España ocupa un papel destacado en el área hidroeléctrica a nivel europeo, situándose en tercer lugar respecto al resto de países de la Unión Europea en cuanto a potencia hidroeléctrica instalada con centrales menores de 10 MW y el cuarto lugar en cuanto a centrales de potencia comprendida entre 10-50 MW.

En la actualidad, la tendencia europea por lo que respecta al desarrollo de la capacidad de las centrales minihidráulicas no es muy dinámica, debido a los obstáculos administrativos y medioambientales existentes. No obstante, el sector tiene una potencia real que puede generar una actividad económica constante y prospera.

Según el Plan de Energías Renovables 2011-2020 dentro del periodo del Plan de Energías Renovables 2005-2010 se han instalado 365 nuevos MW en el sector minihidroeléctrico, de los cuales 173 MW corresponden al área de centrales de potencia menor a 10 MW y 192 MW al grupo de centrales de potencia comprendida entre 10 y 50 MW. El grado de cumplimiento en esta área ha sido de casi el 50% frente a los objetivos marcados por el PER 2005-2010.

Para la evolución prevista al 2020, se ha tenido en cuenta la evaluación de potencial, el conocimiento de los proyectos en fase de tramitación administrativa, el potencial resultante de los estudios realizados para implantar aprovechamientos minihidroeléctricos de en infraestructuras de titularidad estatal (Convenio IDEA-MARM de fecha de 10/12/2007), así como la potencia que se viene instalando actualmente desde los últimos 10 años, con una media anual entre 40-60 MW en el área de centrales hidroeléctricas de potencia menor de 50 MW.

El crecimiento anual previsto se estima siga la tendencia actual, si no hay ningún cambio en la legislación vigente actual, con incrementos de potencia anuales de 40 MW en los primeros años del periodo, llegando a alcanzar al final del mismo 70 MW anuales.

Para el actual Plan de Energías Renovables, se ha revisado el escenario energético en el horizonte del año 2020, actualizando los datos a cierre del 2010 y de forma que las energías renovables cubran en el año 2020 como mínimo el 20% del consumo final bruto de energía en línea con los objetivos marcados por la Directiva 2009/28/CE. Por tanto, los objetivos globales del presente plan propuestos para el área minihidroeléctrica, en términos de incremento de potencia instalada durante el periodo 2011-2020 son los siguientes:

| | 2010 | | 2011 | | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh |
| <1 MW | 242 | 802 | 244 | 804 | 247 | 748 | 249 | 791 | 251 | 779 | 253 | 772 |
| 1-50 MW | 1680 | 5432 | 1687 | 5118 | 1695 | 6197 | 1703 | 5075 | 1731 | 5007 | 1764 | 4982 |

| | 2016 | | 2017 | | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh | MW | GWh |
| <1 MW | 256 | 839 | 259 | 821 | 262 | 803 | 265 | 887 | 268 | 843 |
| 1-50 MW | 1796 | 4857 | 1828 | 5058 | 1855 | 5249 | 1882 | 5441 | 1917 | 5749 |

*Tabla 1: Trayectoria de la capacidad a instalar en el sector minihidroeléctrico al 2020 en el marco del PER 2011-2020*

En resumen, el objetivo propuesto para el sector es un incremento de potencia de 635 MW al año 2020, con la distribución que muestra la siguiente tabla:

| | Incremento de potencia (MW) |
|---|---|
| <10 MW | 263 |
| Entre 10-50 MW | 372 |
| Total | 635 |

*Tabla 2: Distribución del incremento de potencia al 2020 por tamaño de instalación*

## 3. Aspectos técnicos de una central minihidráulica.

### 3.1. Tipos de aprovechamientos hidroeléctricos.

El objetivo de un aprovechamiento hidroeléctrico es convertir la energía potencial de una masa de agua situada en un punto (el más alto) en energía eléctrica, disponible en el punto más bajo, donde está ubicada la casa de máquinas. La potencia eléctrica que se obtiene en un aprovechamiento es proporcional al caudal utilizado y a la altura del salto.

De acuerdo con la altura del salto los aprovechamientos pueden clasificarse en:

- *De alta caída:* salto de más de 150 m.
- *De media caída:* salto entre 50 y 150 m.
- *De baja caída:* salto entre 2 y 50 m.

Estos límites suelen ser arbitrarios constituyendo un método de clasificación, la clasificación más usada es en función del tipo central, que es la siguiente:

- *Centrales de agua fluyente:* Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del rio mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del rio. Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central será necesario la construcción de todos o solo algunos de los siguientes elementos:

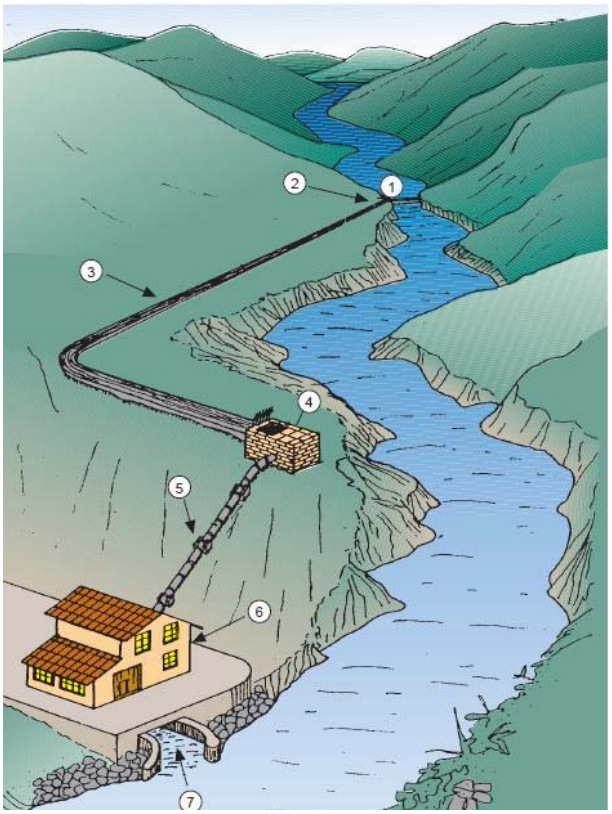



*Ilustración 4: Central minihidráulica de agua fluyente.*

1. Azud
2. Toma
3. Canal de Derivación
4. Cámara de Carga
5. Tubería Forzada
6. Edificio Central y equipamiento electro-mecánico.
7. Canal de descarga
8. Subestación y línea eléctrica

Dentro de este grupo hay diversas formas de realizar el proceso de generación de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen directamente de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y este es muy variable. Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende directamente del caudal que pasa por el rio. En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua para elevar el plano de esta y facilitar su entrada al canal o tubería de derivación. El agua desviada es conducida hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central.

Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y poder mantener la altura hidráulica, los conductos por los que circula el agua desviada se construyen con pequeña pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto implica que en algunos casos, dependiendo de la orografía, la mejor solución sea optar por construir un túnel, acortando el recorrido horizontal.

- *Centrales a pie de presa:* es aquel aprovechamiento en el que existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del rio para almacenar las aportaciones de este de éste, además del agua procedente de las lluvias y del deshielo. La característica principal de este tipo de instalaciones es que cuentan con la capacidad de regulación de los caudales de salida del agua, que será turbinada en los momentos que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para producir energía durante las horas punta de consumo.

  La toma de agua de la central se encuentra en la denominada zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la denominada zona muerta, que simplemente almacena agua no útil para turbinar. Según la capacidad de agua que tenga la zona útil la regulación puede ser horaria, diaria o semanal. En las minicentrales hidroeléctricas el volumen de almacenado suele ser pequeño, permitiendo por ejemplo producir energía eléctrica un número de horas durante el día, y llenándose el embalse durante la noche. Si la regulación es semana, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana.

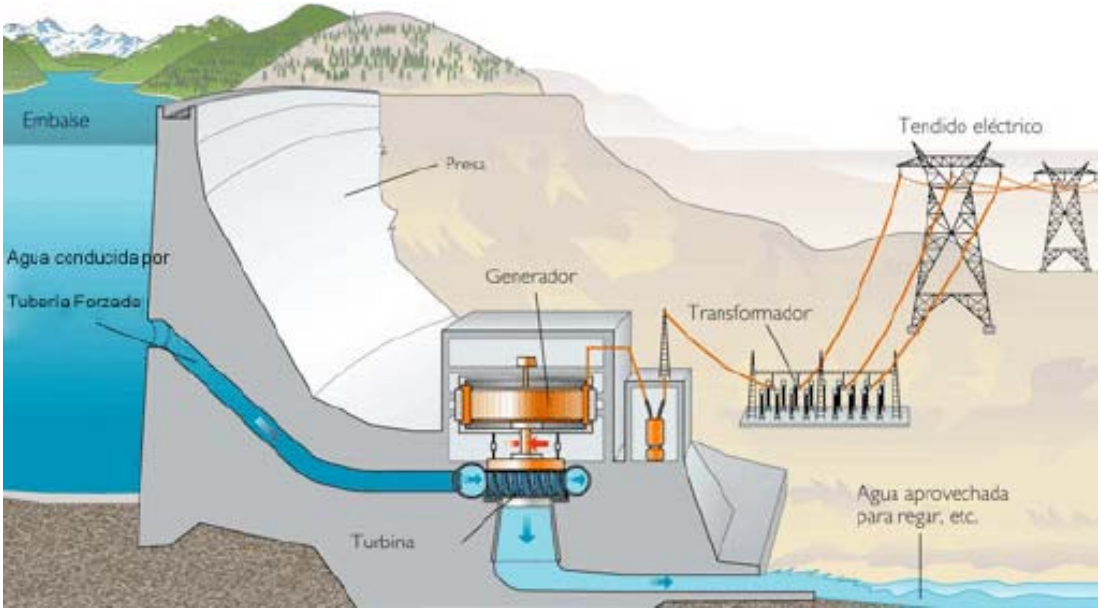



*Ilustración 5: Central minihidráulica a pie de presa.*

- *Centrales de bombeo o reversibles:* son un tipo especial de centrales que hacen posible un uso más racional de los recursos hídricos. Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda diaria de energía eléctrica es máxima, estas centrales trabajan como una central hidroeléctrica a pie de presa convencional. Durante las horas del día de menor demanda, el agua es bombeada al embalse superior para que vuelva a hacer el ciclo productivo.

  Se tienen centrales en las que la maquina funciona como bomba y turbina o centrales en las que se tienen por separado ambas máquinas.

  La tendencia en minihidráulica es turbinar los caudales excedentes, los desembalsados o los ecológicos.

*Ilustración 6: Central minihidráulica de acumulación por bombeo.*

### 3.2.Criterios de diseño de una central.

Previo a la construcción de la central, es necesario evaluar el recurso para ver si es apropiado para una explotación hidráulica eficaz. Para ello, en primer lugar se realiza un estudio hidrológico, y después se evalúan las condiciones hidráulicas de operación (caudal y salto).

#### 3.2.1. Estudio Hidrológico.

Este estudio es necesario para determinar la potencia que se debe instalar en la central. Los datos se obtendrán de las estaciones de aforo presentes en la demarcación escogida o ante la ausencia de éstas se deberá hacer un estudio pluviométrico de la cuenca del rio en cuestión.

Si existen estaciones de aforo se recopilaran datos de caudales relativos a una cantidad suficiente de años hidrológicos que servirán para hacer una clasificación en años muy húmedos, húmedos, normales o medios, secos y muy secos. De esta forma se podrá identificar cual es el año medio.

Ante la falta de datos sobre los caudales del rio se deberá acudir a los datos pluviométricos de la zona y con reglas de cálculo y teniendo en cuenta el tipo de terreno y el área que ocupa la cuenca se calculara, como en el caso anterior, el año medio.

Con el año medio se construye una nueva curva a partir de los días en los que el caudal ha superado un determinado valor. Normalmente este valor es el valor mínimo del caudal ecológico si es una central de agua fluyente, como es el caso que tenemos.

### 3.2.2. Caudal y salto.

Una vez realizada la curva de caudales clasificados para el año de referencia, se procede a calcular el caudal nominal de la máquina.

Las turbinas operan entre un caudal de equipamiento y un caudal mínimo técnico, que se obtiene aplicando un factor al caudal nominal que depende del tipo de turbina que se vaya a instalar:

$$Q_{mt} = K * Q_e$$

| ***Tipo de Turbina*** | ***Coeficiente K*** |
|---|---|
| Pelton | 0.1 |
| Kaplan | 0.25 |
| Semikaplan | 0.4 |
| Francis | 0.4 |

*Tabla 3: Coeficientes K para los distintos tipos de turbina.*

El caudal de equipamiento será el que maximice el volumen turbinado, es decir el que junto con el caudal mínimo técnico encierre mayor área de la curva de caudales clasificados.

La altura del salto viene determinada por las características del azud y el lugar en el que se quiera instalar la central.

Con los datos de caudal y salto ya se puede calcular la potencia electrica que es capaz de generar la central.

## 3.3.Partes de una central.

### 3.3.1. Casa de Máquinas.

En un aprovechamiento hidroeléctrico, la casa de máquinas tiene como misión proteger el equipo electro-hidráulico que convierte la energía potencial del agua en electricidad, de las adversidades climatológicas. El número tipo y potencia de las turbinas, su disposición con respecto al canal de descarga, la altura de salto y la geomorfología del sitio, condicionan la topología del edificio.

La casa de máquinas puede albergar los equipos siguientes:

- Compuerta o válvula de entrada a las turbinas.
- Turbinas.
- Multiplicadores (si se necesitan).
- Generadores.
- Sistemas de control.
- Equipo eléctrico.
- Sistema de Protección.
- Suministro de corriente continua (control y emergencias)
- Transformadores de potencia e intensidad.

### 3.3.2. Tubería Forzada.

Se trata de la conducción que lleva el agua hasta la turbina, salvando la diferencia de alturas que se presente en cada recurso hidráulico. Debe ser capaz de soportar la presión del agua tanto en condiciones normales como de sobrepresión debida a transitorios, que pueden dar lugar a golpes de ariete, muy perjudiciales en las instalaciones.

Si se opta por instalar la tubería enterrada, deberá protegerse de la corrosión mediante pinturas adecuadas y recubrimientos de otras clases. Una buena protección evitara realizar un mantenimiento. Enterrar la tubería forzada lleva asociado un aumento de la sostenibilidad medioambiental de la instalación.

#### 3.3.2.1. Materiales empleados en la tubería forzada.

- Acero.

  Se trata de una solución barata y eficaz, dado que se pueden conseguir tuberías forzadas de cualquier diámetro y espesor. El empleo de acero resistente a la corrosión evitara recubrimientos protectores cuando sea necesario y al mismo tiempo aumentara la resistencia a la rotura y la tenacidad.

  Las tuberías forzadas de acero en general se construyen mediante tramos rectos, que van simplemente apoyados sobre pilares coincidiendo con los cambios de dirección. Entre dos anclajes consecutivos se intercala una junta de dilatación.

  Las paredes deben resistir tensiones combinadas correspondientes a su trabajo como viga y a su condición de recipiente cilíndrico sometido a presión interna.

  El momento flector será el correspondiente al de una viga continua. Las reacciones sobre los apoyos se transmiten por esfuerzo cortante entre la chapa y los anillos de soporte, que se diseñan basándose en el comportamiento elástico de los cilindros de débil espesor. Dichos anillos se sueldan a la chapa mediante soldaduras continuas y se rigidizan mediante diafragmas.

  Los bloques de anclaje tienen que resistir la componente longitudinal del peso de la tubería llena de agua más las fuerzas de fricción correspondientes a los movimientos de expansión y contracción. Esto lleva a que se recomiende cimentarlos, en la medida de lo posible, sobre roca.

  También pueden utilizarse tuberías de hormigón con revestimiento interior de chapa de acero, armadas si es necesario con redondos de acero, o incluso presentadas con alambres de alta resistencia y provistas de uniones de enchufe y cordón. Dado su elevado peso, resultan difíciles de transportar y manejar en obra, pero en cambio no exigen ningún tratamiento de protección contra la corrosión.

- Polietileno

  El polietileno de baja y media densidad se aprovecha desde hace años en centrales con baja altura de salto. El polietileno de altas prestaciones, en cambio, puede utilizarse en saltos de hasta 160 m.

  Este material es pesado pero muy robusto.

- PVC

  Este material resulta competitivo en alturas de salto que pueden llegar a los 200 m. Resulta más barato que el acero, su manipulación en obra más sencilla y no requiere ninguna protección contra la corrosión.

  Si se someten únicamente a esfuerzas longitudinales pueden soldarse empleando disolventes o también pueden unirse empleando conexiones mecánicas.

  Como contrapartida, este material resulta sensible a la radiación ultravioleta, por lo que las tuberías deberán enterrarse o recubrirse con cinta. Además su coeficiente de dilatación y su fragilidad son mayores que en el acero. No son aptas para ser instaladas en terrenos rocosos.

- Aleaciones de plástico.

  Recientemente ha salido al mercado una tubería fabricada con una mezcla de PVC y derivados acrílicos. Se puede utilizar en saltos de hasta 160 m, su espesor es menor que el de las tuberías equivalentes de PVC y sus propiedades mecánicas son similares a las del polietileno de altas prestaciones.

  A diferencia del PVC, se comporta dúctilmente bajo carga, por lo que carece de sus problemas de rotura frágil.

- Refuerzos de fibra de vidrio.

  Las tuberías reforzadas de fibra de vidrio poseen una elevada resistencia, su peso es un 20% inferior al del acero y sus costos son competitivos.

- Polietileno de alta densidad.

  Solo se suministran para diámetros de hasta 30 cm. Pueden ser instaladas al aire libre y se pueden curvar del orden de cuarenta veces su diámetro (para curvas más pronunciadas se puede recurrir a elementos prefabricados). Soportan temperaturas menores de cero grados centígrados.

  Su densidad menor que la del agua facilita su transporte al permitir arrastrar los tramos de tubería flotando y tirados por un cable.

  Las uniones deben ser realizadas mediante soldadura de fusión.

- Madera

  Material empleado en los países en vías de desarrollo en los que abunda la madera y la mano de obra barata. Para diámetros de tubería de 1,5 m, puede ser instalada en alturas de salto de hasta 120 m.

  Estas tuberías se construyen con dovelas de madera creosotada y zunchadas con flejes de acero, no necesitan juntas de dilatación ni soporte de anclaje y resisten a la corrosión. Sin embargo, sufren dilataciones y fugas, requieren que el tubo siempre este lleno de agua y el mantenimiento debe ser frecuente.

#### 3.3.2.2.Perdidas de carga.

La fricción de agua con las paredes y accesorios de la tubería forzada produce una serie de pérdidas que implican que en la turbina no se tenga la altura bruta del salto natural.

La ecuación de Darcy Weisbach formula dichas perdidas. Se observa que aumentan con la longitud del conducto y la velocidad del fluido en su interior y disminuyen según aumenta el diámetro. Además son proporcionales a un coeficiente adimensional, conocido como el factor de fricción λ.

$$h_\lambda = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g};$$

Además de estas pérdidas existen otras que se detallan a continuación:

- Rejilla

  La rejilla se coloca al principio de la tubería de cara a evitar que entre en ella elementos extraños que puedan quedar atrapados en su interior o llegar a la turbina. La turbulencia que produce lleva asociada una pérdida de carga que se calcula mediante la ecuación de Kirchner:

$$h_t = K_t \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{V_0^2}{2g} \sin\theta \, ;$$

  Siendo $h_t$ la pérdida de carga, t el espesor de la barra, b la separación entre barras, $V_0$ la velocidad del agua y θ el ángulo de la rejilla, $K_t$ depende de la forma de la rejilla, tal y como vemos en la siguiente ilustración:

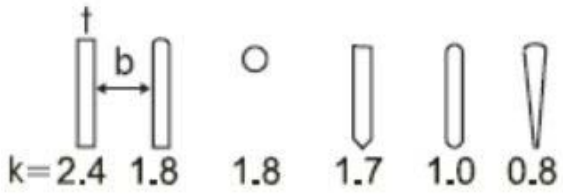



*Ilustración 7: Valores de $K_t$ en función de la forma de las barras.*

  Por otro lado se crea una pérdida de carga adicional si el flujo y la rejilla no están a 90º. Se tiene la siguiente ecuación, donde β es el ángulo entre la rejilla y la corriente:

$$h_\beta = \frac{V_0^2}{2g} \cdot \sin\beta \, ;$$

- Contracciones y expansiones

  Tanto si la sección aumenta como si disminuye, los cambios en esta producen perdidas de carga.

  Dada la dificultad de hacer que coincida el diámetro de la tubería forzada con el de la brida de entrada, será necesario instalar un cambio de sección para unir ambos elementos. Cuanto más suave sea el cambio, menores serán las pérdidas producidas en él.

La expresión para calcular las pérdidas de carga por contracción o expansión es la siguiente:

$$h_c = K_c \cdot \frac{V^2}{2g};$$

Siendo V la velocidad del fluido en el conducto de menor diámetro. $K_C$ es un coeficiente que depende del cociente entre los diámetros de las secciones. Si D/d es menor que 0.76, el coeficiente $K_C$ se puede aproximar mediante la ecuación:

$$K_C = 0.42 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right);$$

En caso de no poder emplearse la expresión anterior, se trata de una evolución brusca de la sección del conducto, para la que se emplea:

$$K_C = m \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right);$$

| **m** | 2.5º | 5º | 7.5º | 10º | 15º | 20º | 25º | 30º | 40º | 60º | 180º |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **α** | 0.18 | 0.13 | 0.14 | 0.16 | 0.27 | 0.42 | 0.62 | 0.81 | 0.95 | 1.2 | 1 |

*Tabla 4: Valores de m en función del ángulo α.*

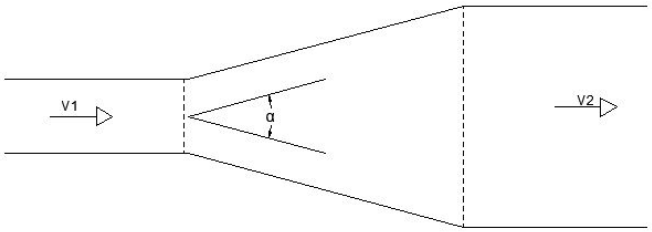



*Ilustración 8: Ensanchamiento brusco.*

- Curvatura.

  El fluido al recorrer una curva sufre un aumento de la presión en la parte externa y una disminución en la parte interna, debiéndose alcanzar de nuevo un equilibrio de presiones tras recorrer una distancia después de la curva. Todo esto lo hace que se produzca un desprendimiento en la parte interna del conducto y una circulación en la sección de la tubería al existir diferentes presiones en la misma, y la consiguiente pérdida de carga, que puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$h_b = K_b \cdot \frac{V^2}{2g};$$

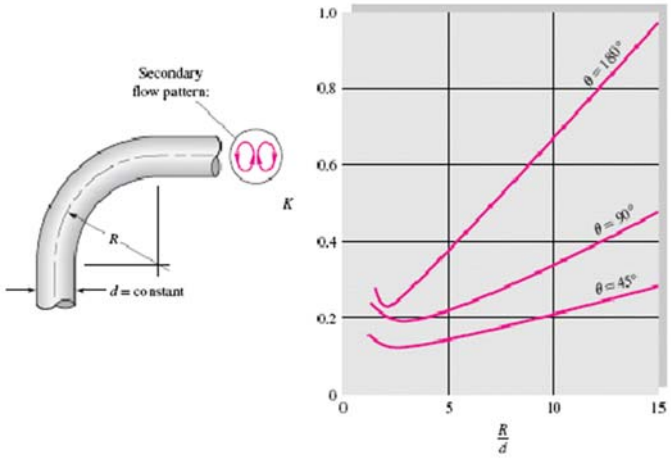



*Ilustración 9: Valores de $K_b$ para los distintos ángulos de codo.*

- Válvulas.

  Las válvulas existentes en las tuberías forzadas se encuentran totalmente abiertas o totalmente cerradas, dado que la regulación del caudal es una tarea que corresponde al distribuidor Fink.

  La pérdida de carga en una válvula que esté totalmente abierta se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$h_v = K_v \cdot \frac{V^2}{2g};$$

  La siguiente tabla recoge los valores aproximados del coeficiente $K_v$ para los distintos tipos de válvula que se pueden emplear.

| **Tipo de válvula** | **Coef. $K_v$** |
|---|---|
| Compuerta | 0.2 |
| Mariposa | 0.6 |
| Esférica | 0.05 |
| Excéntrica | 1 |

*Tabla 5: Valores del coeficiente $K_v$ en funcion del tipo de válvula.*

### 3.3.2.3.Golpe de Ariete.

#### 3.3.2.3.1. Descripción del golpe de ariete.

Al producirse cambios bruscos en el régimen del flujo se producen variaciones en su *velocidad*, que lleva asociados cambios estacionarios en la presión, que pueden ser incrementos o decrementos de la misma. El golpe de ariete se produce a consecuencia de estos cambios de presión.

El caso que se estudiara es el cierre brusco de una válvula en la tubería forzada. El agua, por su inercia, tiende a seguir avanzando, pero al encontrar un obstáculo en su camino, la energía cinética que lleva en ese momento se convierte en un incremento de presión. Dicho incremento genera una onda de presión que ensancha la tubería y la recorre toda su longitud, de manera que al final se ha producido una dilatación en su totalidad.

Cuando el agua va por el canal de derivación se considera que el agua se encuentra a una presión menor que en el interior de la tubería en el instante mencionado, por lo que se crea un flujo en sentido contrario al habitual. Se genera así una depresión en la zona próxima a la válvula que provoca una contracción en la tubería. Al igual que antes, esta contracción recorre toda la longitud y la tubería queda comprimida en su totalidad, produciéndose un nuevo flujo de agua en sentido opuesto al anterior.

De todo lo explicado se extrae que cuanto mayor sea el tiempo de cierre de la válvula, menor serán los problemas derivados del golpe de ariete, pues la onda de retorno encontraría la válvula parcialmente abierta.

Se define el tiempo crítico como el tiempo que tarda una onda de presión en recorrer la tubería forzada y volver al punto inicial:

$$T_c = \frac{2L}{c};$$

Donde L es la longitud de la tubería forzada y c es la velocidad de la onda de presión en su interior.

La velocidad de la onda de presión depende tanto de las características del fluido como del material que compone la tubería forzada. Se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$c = \sqrt{\frac{10^{-3}K}{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot T}}};$$

Donde K es el módulo de elasticidad del fluido, D es el diámetro interior de la tubería forzada, E es el módulo de elasticidad del material que la compone y T es el espesor de la tubería.

Calculado el tiempo crítico, se puede conocer la sobrepresión que se produce cuando la onda de presión vuelve a la válvula. Si esta está completamente cerrada, la totalidad de la energía cinética del agua se transformara en sobrepresión, cuyo valor en metros de columna de agua se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{c \cdot \Delta V}{g};$$

Donde ΔV es el cambio de velocidad del agua.

Si la válvula no está completamente cerrada, la sobrepresión (menor que la anterior) se calcula mediante la fórmula de Allievi:

$$\Delta P = P_0 \left( \frac{N}{2} + \sqrt{\frac{N^2}{4} + N} \right);$$

$$N = \left( \frac{L \cdot V_0}{g \cdot P_0 \cdot t} \right)^2;$$

La presión total será $P = P_0 + \Delta P$. Las pérdidas de carga debidas al golpe de ariete requieren del uso de programas informáticos.

#### 3.3.2.3.2. Chimenea de equilibrio.

La chimenea de equilibrio se construye de cara a evitar los efectos producidos por el golpe de ariete, especialmente en conducciones largas. Su instalación equivale a reducir la longitud de la tubería forzada, por lo que el tiempo crítico será menor y hará que las variaciones de presión sean menores.

Está formada por un conducto de gran diámetro que en su parte inferior se conecta a la tubería forzada y en su parte superior está abierto a la atmosfera. En este punto el agua alcanzara en condiciones normales la altura de la derivación o del embalse, según sea el tipo de central, lo que deberemos tener en cuenta en caso de construirla. Además, el nivel del agua subirá debido a la sobrepresión que genera el cierre de la válvula.

La constante de aceleración del agua indica la conveniencia de instalar o no una chimenea de equilibrio:

$$t_h = \frac{V \cdot L}{g \cdot H};$$

Donde V es la velocidad del agua en la tubería forzada y H es la altura bruta. Si $t_h$ toma un valor inferior a tres segundos no es necesaria la instalación de una chimenea de equilibrio.

Al ascender el nivel del agua por encima del punto de equilibrio se crea una contrapresión que decelera el agua en la tubería forzada, y cuando esta se detenga, el nivel descenderá para alcanzar un nuevo equilibrio. Se producirán oscilaciones cada vez menores debido a la fricción.

**3.3.2.4.Válvulas.**

- *Válvulas de mariposa*: se suelen utilizar en centrales de relativamente poco caudal, como es el caso de este proyecto. Se instalan al final de la tubería forzada. Consisten en un disco de sección lenticular alojado en un eje excéntrico, que permite o impide el paso del agua.
- *Válvulas de compuerta:* es recomendable el uso de estas en fluidos limpios. Dado que el área máxima del flujo es el diámetro nominal de la válvula, al igual que la anterior, lo más normal es que trabajen en posiciones extremas, es decir, completamente abiertas o cerradas, de forma que la pérdida de carga sea mínima. Normalmente se equipan con una válvula de bypass para facilitar maniobras.

Los diferentes tipos de válvulas de compuerta dependen de cómo sea el tipo de disco empleado en el cierre. Se tienen los siguientes tipos: de compuerta tipo cuña sólida, cuña flexible, abierta, válvulas de guillotina y válvulas de cierre rápido.

- *Válvulas esféricas:* este tipo tiene una esfera hueca que puede girar sobre sí misma. Permiten un buen cierre pero no regulan muy bien el caudal. Pueden ser rápidas o lentas.

  Son aconsejables para fluidos con sólidos en suspensión, suelen tener también una válvula de bypass y sus pérdidas son reducidas si están completamente abiertas.

### 3.3.3. Turbina.

#### 3.3.3.1. Introducción.

La turbina constituye una de las partes más importantes de la central minihidráulica, pues es la encargada de transformar la energía del agua en energía mecánica rotacional, que posteriormente será transformada en electricidad por el alternador unido al eje de la turbina.

Se puede hacer una primera clasificación de las turbinas en función de los dos posibles mecanismos de transformación de energía:

- *Turbinas de acción:* Se crea un chorro de agua que choca a muy alta velocidad sobre unas cucharas que están fijas en la periferia de un disco, a las que transfiere toda su energía. Después el agua cae al canal de descarga.
  Su carcasa es ligera, pues solo tiene que impedir salpicaduras y proporcionar seguridad a las personas.
  Dentro de este grupo se encuentran las turbinas Pelton.
- *Turbinas de reacción:* La presión del agua actúa directamente sobre los alabes e ira disminuyendo según avance el agua por ellos.
  En este caso la carcasa es más robusta para poder soportar los esfuerzos del agua a presión.
  Dentro de este grupo están las turbinas Francis y las Kaplan.

A la hora de elegir una turbina u otra se deben de tener en cuenta los siguientes parámetros:

- La potencia hidráulica a disposición de la turbina viene dada por:

$$P_h = \rho Q g H; [W]$$

Donde:

$\rho Q$ es el flujo masico [kg/s];

$\rho$ es la densidad del agua [kg/$m^3$];

$Q$ es el caudal [$m^3/s$];

$gH$ es la energía hidráulica especifica de la maquina [J/kg];

$g$ es la fuerza de la gravedad [9,81 m/s²];

$H$ es el salto neto [m];

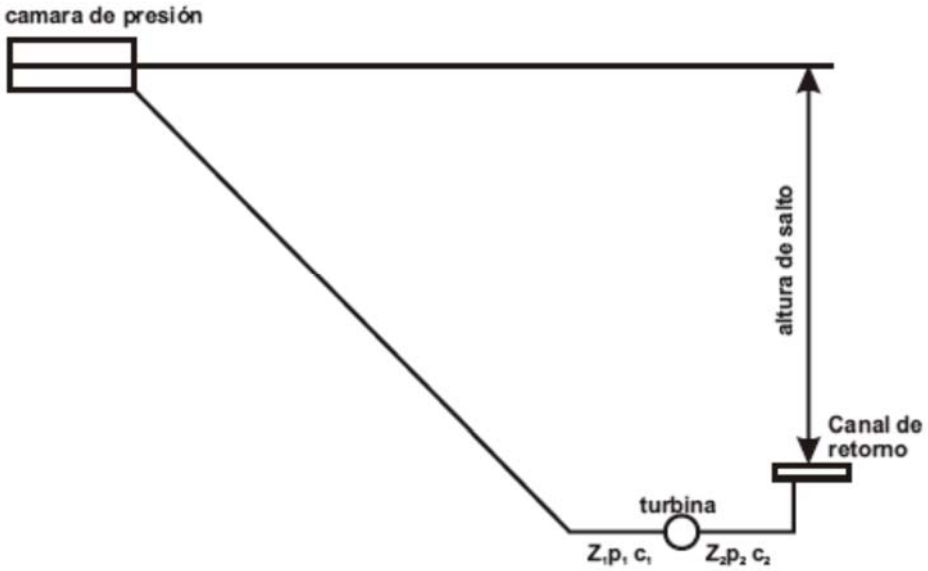



*Ilustración 10: Esquema de un aprovechamiento hidroeléctrico y secciones de medida.*

- La potencia mecánica de la turbina viene dada por:

$$P_m = P_h \cdot \eta; [W]$$

Siendo $\eta$ el rendimiento de la turbina.

- La energía hidráulica específica de la turbina viene dada por la ecuación:

$$E = \frac{1}{\rho} \cdot (p_1 - p_2) + \frac{1}{2} \cdot (v_1^2 - v_2^2) + g \cdot (z_1 - z_2); [m]$$

Donde

$p_x$ es la presión en la sección x [Pa];

$v_x$ es la velocidad del agua en la sección x [m/s];

$z_x$ es la altura de la sección x [m];

Los subíndices 1 y 2 definen las secciones de medida a la entrada y salida de la turbina, tal y como están definidos en las normas IEC.

- El salto neto viene definido como:

$$H_n = \frac{E}{g}; [m]$$

### 3.3.3.2.Tipos de turbinas.

- *Turbinas Pelton:* Turbinas de acción. Una serie de inyectores proyectan chorros de agua sobre la turbina, de forma que se produce el movimiento del disco.
  Una turbina Pelton de eje vertical puede tener hasta seis inyectores, mientras que las de eje horizontal suelen tener uno.
  En la siguiente ilustración se muestran las secciones transversal y longitudinal de una turbina pelton y las principales partes que la componen.

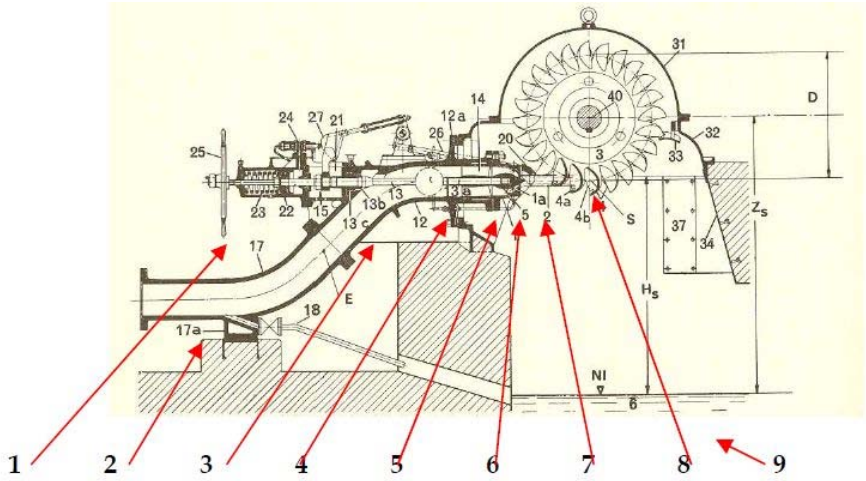



*Ilustración 11: Componentes de una turbina Pelton de eje horizontal.*

1. Servomotor encargado de mover la válvula de aguja.
2. Tubería forzada.
3. Codo de entrada.
4. Inyector.
5. Válvula de aguja (regula el flujo de agua que llega a los alabes).
6. Tobera.
7. Deflector (se encarga de desviar el chorro mientras la válvula de aguja se está cerrando, o para evitar el golpe de ariete que produciría un cierre de esta si se quiere impedir que se embale la maquina ante una desconexión del alternador).
8. Rodete.
9. Canal de salida.
10. Alternador
11. Carcasa.

Las turbinas Pelton carecen de tupo de aspiración, por lo que no cuentan con la ganancia de rendimiento que este produce. Se emplean en saltos elevados, que pueden llegar a los 1200 m.

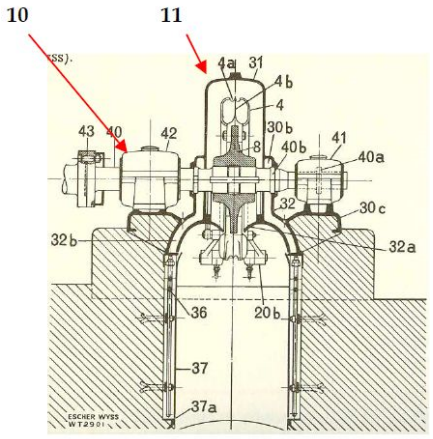
- *Turbinas Francis:* Turbinas de reacción de flujo radial y admisión total, empleadas en saltos intermedios. Poseen un distribuidor de álabes regulables y un rodete de álabes fijos.
  Se encastran fuertemente en hormigón para evitar vibraciones especialmente a régimen bajo.

  En este tipo de turbinas el agua es conducida al rodete a través del distribuidor y en ningún momento entra en contacto con la atmosfera por lo que la presión se mantiene.
  Pueden ser de cámara abierta o de cámara espiral. En el segundo caso, según sea el tamaño de la máquina, la carcasa se podrá construir de hormigón armado, acero soldado o hierro fundido. Dado que se pretende hacer llegar la misma cantidad de agua cada álabe del distribuidor, la sección de la cámara va decreciendo según se aleja de la brida de entrada.

Si los álabes de la turbina son pequeños se fabrican de fundición, bronce o aluminio formando un solo cuerpo con el cubo. Si por el contrario son grandes, se sueldan al cubo y a la llanta, que por lo general se fabricará de acero fundido.

Dado que en las turbinas de reacción el agua sale a una velocidad elevada, se instala a la salida de éstas un difusor que reduce gradualmente su velocidad para que llegue en unas condiciones más moderadas al canal de salida se consigue un efecto de succión que mejora el rendimiento de la maquina considerablemente (tubo de aspiración).

La siguiente ilustración muestra el corte longitudinal de una turbina Francis remarcando las distintas partes que la componen.



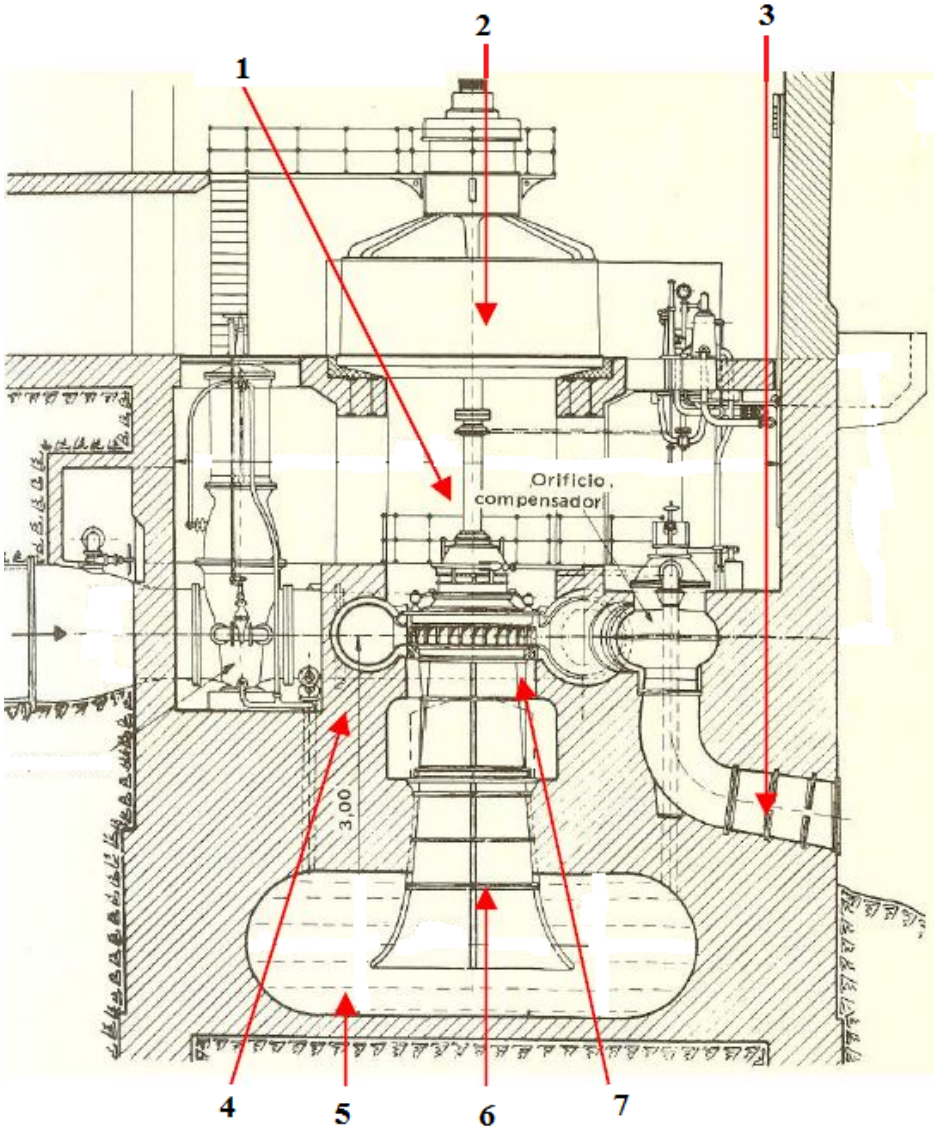




*Ilustración 12: Principales partes de una turbina Francis.*

1. Eje.
2. Alternador.
3. Tubería forzada.
4. Cámara espiral.
5. Canal de salida.
6. Tubo de aspiración.
7. Rodete.

Del distribuidor Fink, que no se aprecia en la imagen, se hablara con detalle más adelante.
En las turbinas de eje horizontal, como la que se va a diseñar en el presente proyecto, es importante que el cuerpo de la turbina esté perfectamente anclado al hormigón para evitar que las vibraciones dañen la maquina o limiten su campo de funcionamiento.

- *Turbinas Kaplan y semi-Kaplan:* son turbinas de reacción de flujo axial. En este caso los álabes de la turbina son siempre regulables, mientras que los distribuidores pueden ser regulables o no, en cuyo caso se trataría de una turbina semi-Kaplan.
  Los álabes del rodete giran alrededor de su eje accionados por unas manivelas solidarias con unas bielas articuladas a una cruceta, que se puede desplazar por el interior del hueco del eje de la turbina.
  Las turbinas Kaplan son de admisión radial, mientras que las semi-Kaplan pueden ser de admisión radial o axial.
  La siguiente ilustración muestra una turbina Kaplan con sus principales partes:

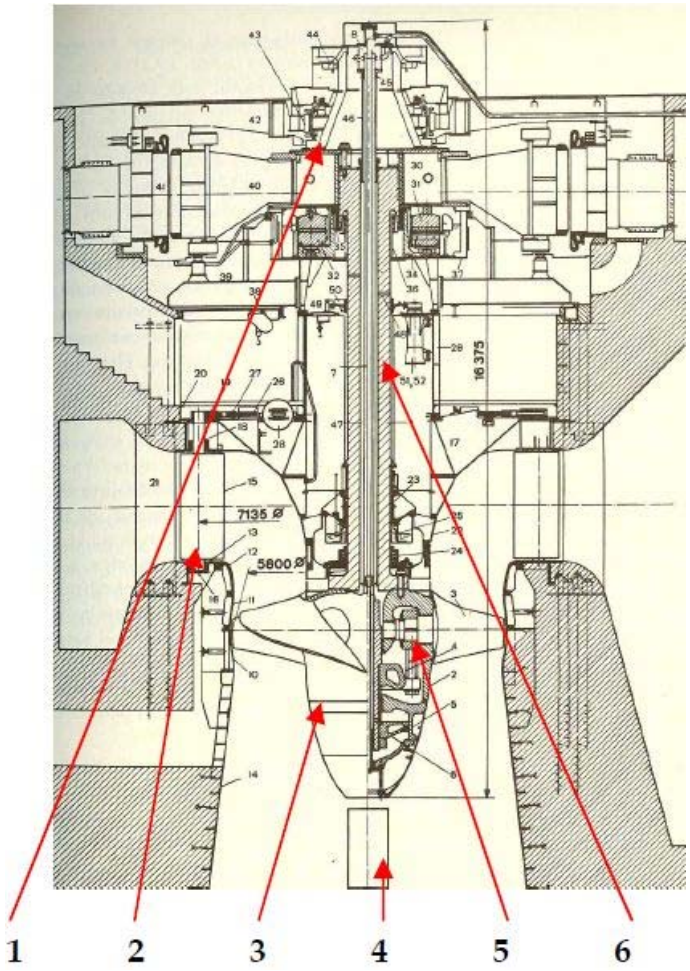



*Ilustración 13: Sección Turbina Kaplan.*

1. Alternador.
2. Álabe directriz.
3. Rodete.
4. Tubo de aspiración.
5. Mecanismo de giro de los álabes del rodete.
6. Eje.

#### 3.3.3.3.Elección del tipo de turbina para el salto de los tajos del Guantero.

La turbina, su geometría y sus dimensiones son factores que vienen condicionados por una serie de aspectos que se describen a continuación.

- *Salto neto:* Según la magnitud del salto que se va a turbinar, se puede establecer que las turbinas Kaplan son adecuadas para operar entre 2 y 20 m, las Francis entre 10 y 350 m y las Pelton entre 50 y 1300 m.
- *Número específico de revoluciones:* Se trata de un parámetro fundamental a la hora de seleccionar una turbina y sus características. Depende del caudal, la velocidad de giro y el salto, y se definirá en el apartado de cálculos, más adelante.
- *Caudal:* Las turbinas Pelton son adecuadas para caudales reducidos, las Francis para intermedios y las Kaplan para caudales elevados.

En la siguiente ilustración se puede ver una relación entre el caudal y salto para los diferentes tipos de turbina. En la que se puede apreciar que para el caudal y salto disponibles en este proyecto, el empleo de una turbina Francis es el más adecuado.

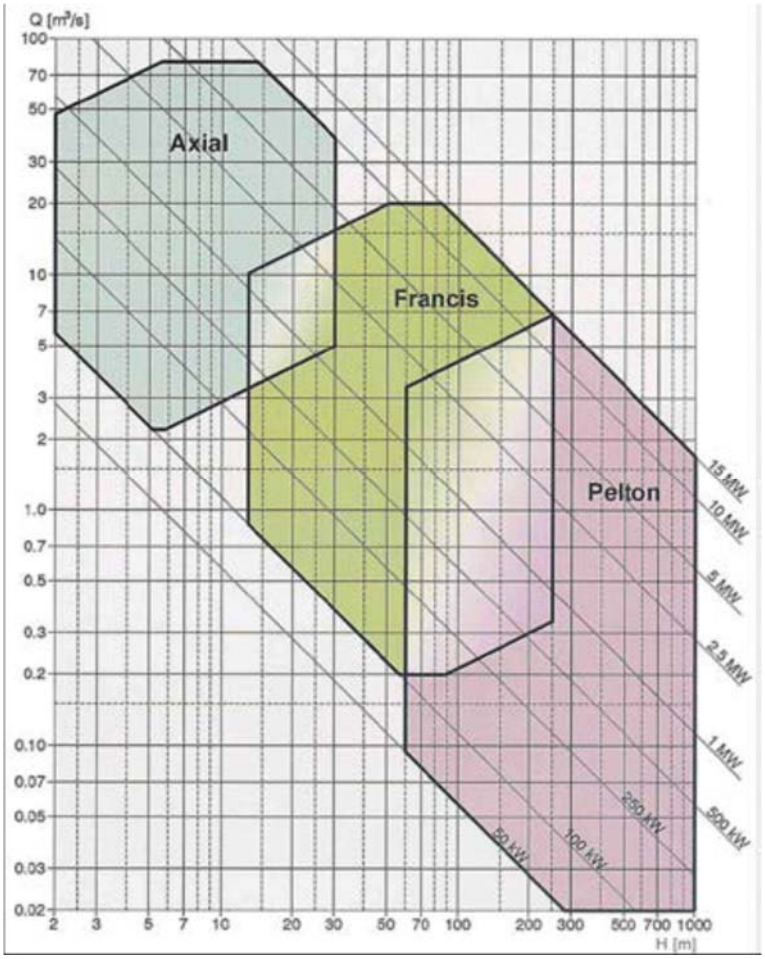



*Ilustración 14: Tipos de turbinas adecuados en función de la relación caudal/salto.*

- *Riesgo de cavitación:* Se produce cavitacion si la presion del agua desciende por debajo de la presion de saturacion a la temperatura a la que se encuentre. Se crearán burbujas de vapor saturado que posteriormente colapsarán. Dichos colapsos sotenidos en el tiempo son causa de corrosion y daños en la maquinaria, y se producen principalmente a la salida del rodete y en el tubo de aspiracion, donde se dan las presiones mas bajas.
  Se deberá calcular la altura máxima a la que se puede instalar la turbina respecto del canal de desagüe para que no se produzca este fenómeno.
- *Coste:* Para que el proyecto sea viable es fundamental tener en cuenta el coste de la instalación ya que si este es muy grande, la central tardara mucho tiempo en amortizarse y no será rentable la ejecución del proyecto.

Según hemos visto en este apartado, para el caso que nos atañe se puede concluir que la turbina más adecuada es la Francis.

#### 3.3.3.4.Materiales a utilizar.

Los materiales que componen la turbina deben ser los adecuados para soportar unas posibles condiciones de cavitación durante el mayor tiempo posible, que será el que transcurra hasta que se detecte el fallo. También deben cumplir los requisitos de resistencia frente a las solicitaciones a las que van a estar sometidos y que se calcularán más adelante.

Por último, deben ser materiales fáciles de soldar. Esto es especialmente importante en el caso de la cámara espira, que se compone de tramos cilíndricos soldados entre sí.

#### 3.3.3.5.Rendimiento de la turbina.

El rendimiento de la turbina varía tanto con cambios de caudal como de salto. Al alejarse de las condiciones de trabajo se producen caídas de rendimiento importantes que es necesario cuantificar.

Se define el rendimiento como el cociente entre la potencia que se entrega al alternador y la potencia que el agua es capaz de entregar a la entrada de la turbina. La potencia se pierde sobre todo en la fricción que tiene lugar en la cámara espiral, los álabes directrices, el rodete y el tubo de aspiración. La ausencia de tubo de aspiración puede acarrear una pérdida de rendimiento del 50% en las turbinas con rodetes de alta velocidad específica.

En la siguiente ilustración se representa el rendimiento frente al caudal de los diferentes tipos de turbina:

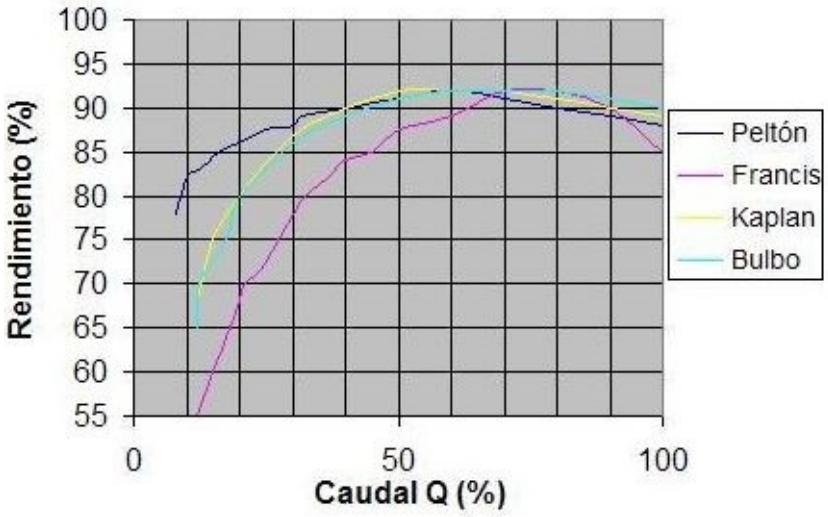



*Ilustración 15: Rendimiento de las distintas turbinas en función del % de caudal.*

Se puede extraer de esta grafica que las turbinas Kaplan tienen rendimientos aceptables a partir del 20% del caudal nominal, para las Pelton a partir del 10%, y en el caso de las Francis tienen que ser a partir del 50% del caudal nominal. Las turbinas Pelton pueden funcionar aceptablemente para cualquier valor del caudal.

El rendimiento global incluye los rendimientos de los elementos que rodean a la turbina, como el alternador. En turbinas de baja potencia como la del presente proyecto se consiguen rendimientos mayores del 90%.

### 3.3.3.6.Curvas características.

Se determinan en laboratorios sobre modelos a escala, que luego por relaciones de semejanza se llevan a los prototipos que se van a instalar en las centrales. Los tipos de curvas características a tener en cuenta son:

- *Curvas de potencia-velocidad:* Se trazan en función del grado de admisión tomando un salto constante. Tienen forma parabólica y cortan al eje de abscisas en dos puntos. Un ejemplo de esta curva se muestra en la siguiente ilustración:

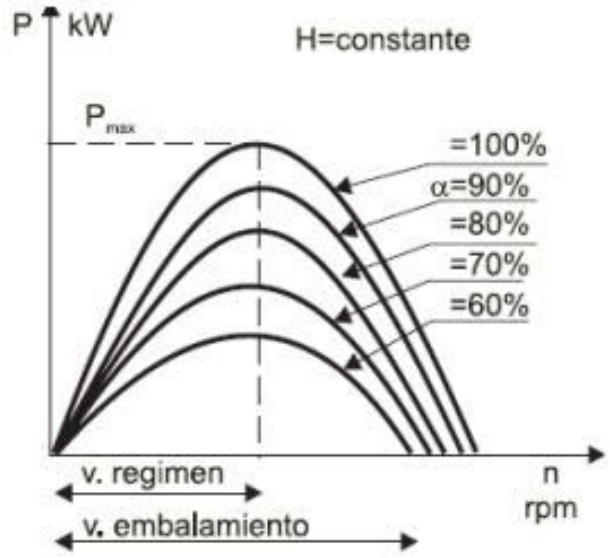



*Ilustración 16: Curva Potencia-Velocidad*

- *Curvas de caudal*-velocidad: Representan el caudal admitido por la turbina en función de su velocidad, para un salto constante y un grado de admisión variable.
  Para las turbinas Pelton, estas graficas son rectas horizontales, en las Francis lentas son descendientes y en las Francis rápidas son ascendentes. La siguiente ilustración muestra un ejemplo de estas curvas:

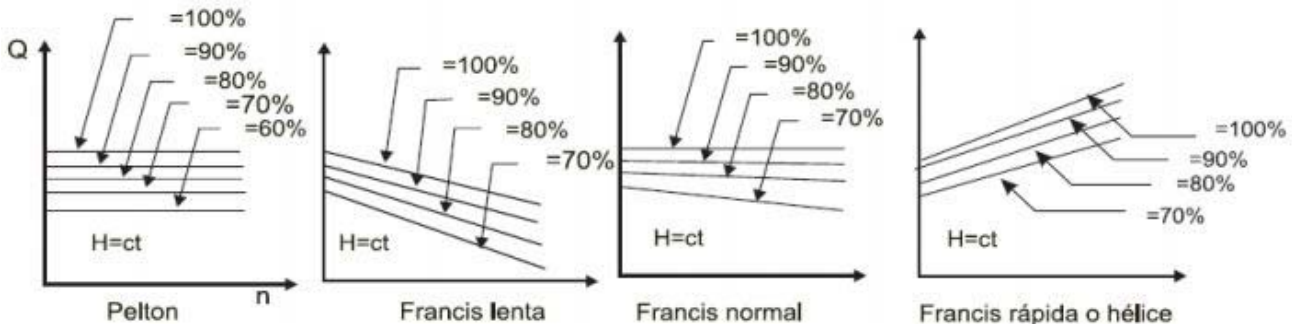



*Ilustración 17: Curvas caudal-velocidad para distintos tipos de turbinas.*

- *Curvas colina:* Cuando en el plano caudal-velocidad se unen los puntos de igual rendimiento se obtienen curvas semejantes a las curvas de nivel de un plano topografico, si se combinan con la potencia como tercer eje estas curvas tridimensionales forma lo que se conoce como colina de rendimientos:

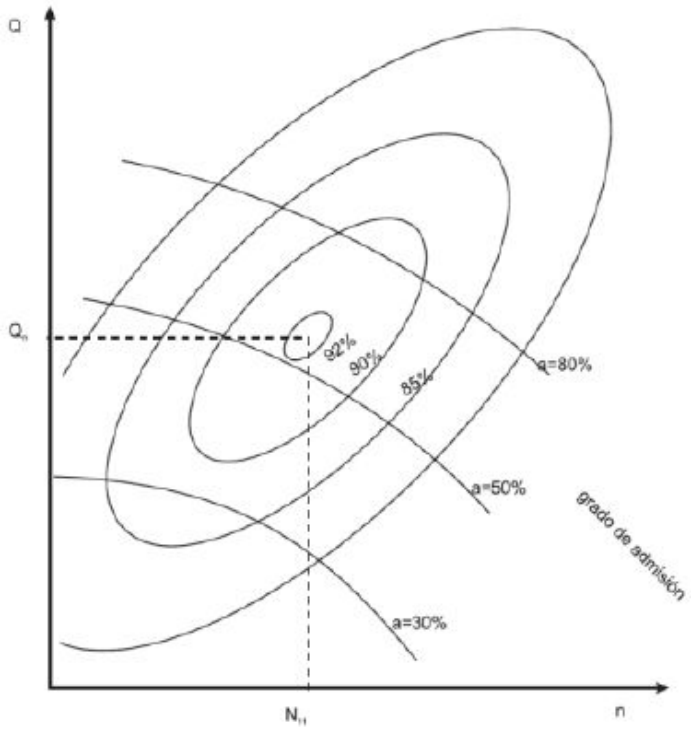



*Ilustración 18: Colina de rendimiento de una turbina.*

### 3.3.3.7. Mantenimiento de las turbinas.

- *Mantenimiento de las turbinas Kaplan:* Se debe comprobar periódicamente la estanqueidad de las palas del rodete para evitar pérdidas de aceite hacia el exterior y la entrada de agua hacia el núcleo. Según el tamaño de la turbina, se tolera un nivel máximo de pérdidas de aceite que oscila entre los 10 y los 100 litros al año, y superar estos valores lleva a la contaminación del río. Si el nivel de aceite aumenta significará que ha entrado agua en su interior.
  También se debe comprobar que no ha existido cavitación revisando el nivel de corrosión que presenta el rodete y la envolvente del mismo. Los cojinetes desgastados implican pérdidas considerables de potencia y deterioro de las piezas que rozan con ellos y que no deberían hacerlo. Las turbinas que sólo poseen álabes móviles requieren más revisiones que las que además pueden regularse mediante un distribuidor móvil, dado que sufrirán un mayor desgaste al realizar más movimientos para regular el caudal. Un álabe desgastado permitirá la entrada de agua al núcleo, de forma que se producirán deterioros en el sistema de regulación.

Por último, también se deben comprobar otros aspectos como el nivel de fugas y el funcionamiento de las diferentes válvulas.

- *Mantenimiento de las turbinas Francis:* Este tipo es el que sufren los mayores deterioros por la presencia de arena arrastrada con el agua. En saltos de menos de veinte metros se realizan revisiones cada cuatro o cinco años si el agua es de buena calidad. Por el contrario, si el agua arrastra mucha arena, estas revisiones deberán realizarse cada dos años como máximo.
  Para saltos mayores se recomiendan revisiones anuales, si bien la primera revisión tras la puesta en servicio permitirá fijar el intervalo de revisiones más adecuado.
  Los dos aspectos que se deben comprobar en las revisiones son los siguientes:
  a) Juego existente entre el rodete y el distribuidor. Estado de los laberintos circulares, de los álabes móviles, del tubo de aspiración y de la envolvente de la turbina.
  b) Estado de los anillos de protección del distribuidor y de la superficie de los álabes distribuidores.
  En caso de anillos desgastados, se puede equipar la turbina con anillos cambiables o mediante soldadura darles de nuevo sus dimensiones iniciales.
  Si los juegos de álabes distribuidores presentan desgastes de más de medio milímetro, también deberán sustituirse.
  También se deberá comprobar la zona de salida del rodete y el principio del tubo de aspiración en busca de corrosión. Estos elementos deberán estar revestidos de materiales resistentes a la corrosión o ser intercambiables.
- *Mantenimiento de las turbinas Pelton:* La acción abrasiva de la arena presente en el agua produce desgastes en la aguja, la boca de la tobera, los cazos del rodete y el deflector. Estos elementos se revisaran cada año, dada la importancia de que conserven sus características iniciales. Un ligero desgaste en el inyector y la aguja provoca que el chorro se disperse. Las gotas sueltas deterioran el rodete al chocar con él y las caídas de rendimiento son importantes.

Muchas de las irregularidades que se generan en las turbinas Pelton tienen su origen en la introducción de cuerpos extraños. Por ello es importante que haya bocas de inspección en los tubos de conducción para poder retirar dichos objetos.
Tras el montaje de la turbina se debe comprobar que el deflector queda tangente al chorro pero sin llegar a tocarlo. También habrá que comprobar antes de la puesta en marcha que no queda aire en el cilindro del servomotor, dado que podría provocar un cierre brusco y el consiguiente golpe de ariete.
Por último, se deberán lubricar convenientemente los distintos órganos de movimiento y articulaciones.

#### 3.3.3.8.Partes integradas en el conjunto de la turbina.

Dado que en el presente proyecto se lleva a cabo el diseño de una turbina Francis, este apartado se centrará en las diferentes partes que componen una turbina de esta clase.

##### 3.3.3.8.1. Cámara espiral.

Está formada por chapas de acero soldadas entre sí de forma que el conjunto presenta una forma de espiral logarítmica.

Su misión es recoger el agua que llega por la tubería forzada y dirigirla con la ayuda del Predistribuidor, que es un elemento fijo soldado a la cámara, y del distribuidor Fink, del que se hablara más adelante. Transforma parte de la energía que se encuentra en forma de presión en energía cinética, buscando que en cualquier punto de la cámara la energía cinética sea la misma, dado que los cambios bruscos de velocidad llevan asociadas pérdidas no deseables.

La cámara espiral debe tener un rendimiento elevado y unas dimensiones mínimas.

El diseño de la cámara en este proyecto se centra en determinar los espesores de las chapas, dado que las dimensiones vienen definidas por las leyes de semejanza. El espesor se tomará como constante y será el correspondiente al primer tramo de chapa.

Los espesores variables también son viales en el diseño de esta cámara, pues según se avanza en el sentido del agua entrante las tensiones son cada vez menores. Esto se justifica porque el radio de los tramos va decreciendo y la tensión es proporcional a la presión, el radio interior y los decrementos de espesor.

En el caso que nos atañe no se justifica el empleo de espesores variables para ahorrar material, dado que se trata de una turbina de muy poca potencia.

La cámara se apoya en unos apoyos de sección cuadrada que deben estar dimensionados para soportar los esfuerzos mecánicos que deberán transmitirse a la obra civil. Estos esfuerzos serán calculados por el proyectista encargado de la parte de la obra civil de la mini-central, aunque nosotros debemos darle los datos de la cámara que se va instalar.

#### 3.3.3.8.1.1.Predistribuidor.

Se trata de un elemento fijo de la cámara espiral cuya misión es dirigir el flujo hacia el rodete. Sus tapas son anillos paralelos unidos por álabes fijos de perfil hidrodinámico. Estas tapas se sueldan por un lado a la cámara y por el otro van atornilladas, y la confieren una mayor rigidez.

Tanto las tapas como los tornillos de sujeción se construyen en el mismo material de la cámara.

### 3.3.3.8.2. Distribuidor Fink.

Se trata de un dispositivo de álabes giratorios que se emplea para regular el caudal y la forma en que este llega al rodete. Consta de un servomotor hidráulico que mueve un anillo giratorio, que a su vez permite el giro de los alabes.

El servomotor acciona un brazo de carrera amortiguada para absorber los golpes de ariete.

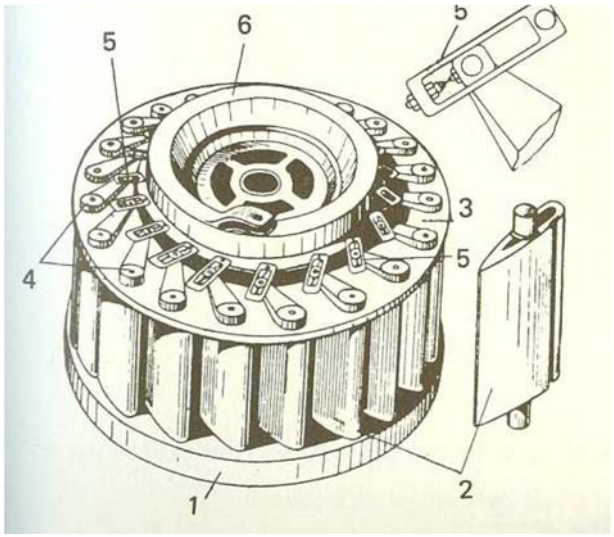



*Ilustración 19: Distribuidor Fink*

En la siguiente ilustración podemos ver al distribuidor Fink en las posiciones extremas de su funcionamiento, es decir, completamente abierto y completamente cerrado.

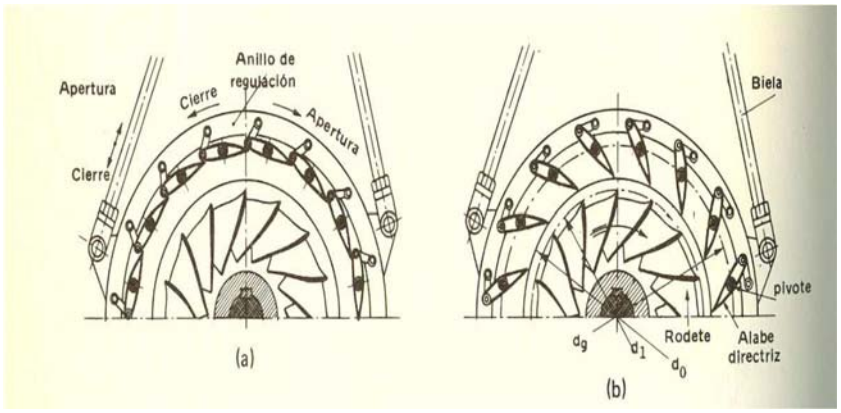



*Ilustración 20: Funcionamiento del distribuidor Fink:*
*a) Distribuidor cerrado.*
*b) Distribuidor abierto.*

En la posición de cierre los álabes se apoyan entre sí, de manera que impiden prácticamente el paso del agua al rodete. De esta forma se puede parar la central evitando embalamientos.

Los perfiles de los álabes son superficies desarrollables cilíndricas de generatrices paralelas al eje de rotación de la turbina. Se pretende que no haya transformación de energía cinética en mecánica en ellos porque sería una pérdida más que reduciría el rendimiento de la turbina y además se crearían esfuerzos en el distribuidor no deseados.

Sus elementos se fabrican en acero. El bulón que una la biela con el álabe trabaja a cortadura y ha de diseñarse para que rompa en caso de entra un objeto extraño en la maquinaria. De esta forma se evita que se rompan componentes más costosos del distribuidor.

#### 3.3.3.8.3. Cierres laberínticos.

Se diseñan para minimizar las pérdidas de agua que tienen lugar en la turbina. Estas pérdidas pueden ser de dos tipos:

- Pérdidas de cortocircuito: se deben al flujo que circula por el intersticio entre la carcasa y el rodete en el sentido del resto del flujo entrante. Al no llegar a los álabes del rodete no se produce intercambio de energía y genera un descenso en el rendimiento.
- Pérdidas al exterior: es el caudal que sale hacia el exterior de la carcasa, por lo que su salida no es junto al flujo principal, como ocurría en las pérdidas de cortocircuito.

Los cierres laberínticos o hidráulicos buscan minimizar las pérdidas de fuga incrementando la resistencia que el agua debe vencer para salir. Generan una resistencia de superficie al alargar el recorrido y una resistencia de forma al intrincarlo.

Estos cierres constan de dos anillos de desgaste, uno en la carcasa y otro en el rodete. Se roscan en sentido contrario al giro para que no se aflojen con el tiempo.

#### 3.3.3.8.4. Tubo de aspiración.

También conocido como difusor, tiene la función de crear una depresión que permita recuperar energía cinética del agua y así incrementar la altura geométrica del salto en una distancia igual a la existente entre el rodete y el nivel del canal de salida. Un difusor bien diseñado permitirá instalar la turbina por encima del nivel del canal de salida sin perder prácticamente altura de salto.

Aumenta progresivamente su sección para disminuir la velocidad del agua y limitar las pérdidas, de manera que su perfil es cónico. El ángulo de conicidad no debe superar los 7º para evitar que el flujo se despegue de las paredes del tubo. Sin embargo, los ángulos de conicidad bajos requieren que el tubo sea muy largo, por lo que se emplean conicidades próximas a los 15º.

Un aspecto a tener en cuenta es que a la salida de la turbina el agua tiene un cierto movimiento rotacional, que si es excesivo da lugar a inestabilidades, pero que dentro de ciertos límites mejora el rendimiento. Por esta razón, y todo lo dicho anteriormente, se recomienda que sea el fabricante el que suministre o diseñe el tubo de aspiración.

Los tubos de aspiración no difusores recuperan altura pero no energía cinética del agua. Igual que en el caso anterior, el tubo está sumergido en el canal de salida.

#### 3.3.3.8.4.1.Ganancia de salto en el tubo de aspiración.

En este apartado se va a demostrar analíticamente la mejora que supone instalar un tubo de aspiración. Se empleará la ecuación de Bernoulli para ello, notando como punto 1 la salida de la turbina y como punto 2 el nivel del canal de desagüe.

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{c_1^2}{2 \cdot g} + z_1 - H_{perdidas} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{c_2^2}{2 \cdot g} + z_1;$$

$H_{perdidas}$ incluyen las producidas en el tubo de aspiración y la velocidad a la salida del mismo.

$$H_{perdidas_salida} = \frac{c_s^2}{2 \cdot g};$$

La diferencia entre $z_1$ y $z_2$ se denomina altura de aspiración y se nota como $H_s$. Se tomarán presiones barométricas y se despreciará la velocidad del agua en el canal de desagüe. De esta forma:

$$\frac{p_2}{\rho \cdot g} = 0; \frac{c_2^2}{2 \cdot g} = 0;$$

La expresión inicial queda reducida a:

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} = -\left(H_s + \frac{c_1^2}{2 \cdot g}\right) + H_{perdidas};$$

En esta ecuación se aprecia la doble misión del tubo de aspiración. Por un lado, recuperar altura de suspensión al crear una depresión a la salida del rodete, y por otra parte recuperar energía cinética.

#### 3.3.3.8.5. Eje.

Se encarga de transmitir la potencia necesaria desde el rodete hasta el eje del alternador, al que se acopla a través de una brida cuya unión se realiza mediante pernos. El material del que se construyen los ejes es acero templado y revenido.

La brida se encarga de transmitir el par gracias al rozamiento existente entre los dos elementos que se unen. Los pernos deberán proporcionar la fuerza normal necesaria para que no exista deslizamiento, por lo que en su diseño se tienen en cuenta únicamente los esfuerzos de tracción y no los de cortadura.

Los perno se instalan con la ayuda de un gato hidráulico que los deforma una vez ha atravesado la brida. Posteriormente las tuercas aseguran la unión y la fuerza necesaria.

##### 3.3.3.8.5.1.Cierres del eje.

Se pueden producir fugas de agua a través del eje, para ello se deben emplear cierres. El cierre puede tener forma cilíndrica de manera que rodea a la brida del eje hasta una cierta altura, creando una cámara a la que van a parar los escapes de los laberintos.

Un hermetismo adecuado se consigue mediante una junta que esté en continuo contacto con el eje, esto hará que sufra un desgaste elevado, y que sea una pieza que haya que sustituir con relativa frecuencia.

Para contemplar el caso de que esta pieza se rompiese, y teniendo en cuenta la gravedad de que llegase agua al generado, se debe instalar también un elemento de cierre. Este elemento estará bien engrasado, para minimizar el rozamiento y tratar de evitar fugas por el eje.

Con el paso del tiempo, la zona dedicada al almacenamiento de fugas se llena, por lo que será necesario vaciarla periódicamente. Esto se puede hacer mediante el vaciado de los cierres laberínticos.

### 3.3.4. Generadores.

El generador es el elemento encargado de transformar el par mecánico en energía eléctrica. Inicialmente los generadores empleados eran de corriente continua, actualmente esto es algo totalmente excepcional, empleándose en la actualidad generadores trifásicos de corriente alterna que podrán ser síncronos o asíncronos.

Los generadores se pueden colocar tanto con su eje en horizontal como en vertical. Típicamente conservan la configuración del eje de la turbina pero en ocasiones se justifica que no se así por razones de espacio.

Para las turbinas Francis de eje horizontal, como la del presente proyecto, se suele utilizar un generador horizontal con dos cojinetes y montar en voladizo el rotor de la turbina para evitar que el eje atraviese el tubo de aspiración. Esta misma configuración también es la empleada en las turbinas Pelton.

La refrigeración del generador que se va a instalar en la turbina del presente proyecto se realizará por aire en circuito abierto, dado que se trata de una maquina pequeña. Para potencias mayores se emplea agua en circuito cerrado, refrigerándose ésta posteriormente en intercambiadores agua-aire.

La velocidad de sincronismo de los generadores viene dada por la siguiente expresión:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p};$$

Donde f es la frecuencia de la red en Hz y p es el número de pares de polos de la máquina.

La tensión de generación viene determinada por la potencia del generador. Lo normal es generar a 380 V hasta 1400 kVA y a 6000/6600 para potencias mayores. La generación a 380 V tiene la ventaja de poder emplear la energía necesaria para los servicios auxiliares de la central sin necesidad de transformadores especiales. Cuando se genera en alta tensión, para dar alimentación a los servicios auxiliares es necesario del empleo de transformadores AT/BT.

#### 3.3.4.1.Generadores Síncronos.

##### 3.3.4.1.1. Excitación de Generadores síncronos.

Para excitar un generador síncrono se hace circular una corriente continua, que suele representar alrededor del 1% de la potencia nominal de la máquina, por el circuito de los polos inductores, ya sea en el rotor o en el estator según el tipo de generador síncrono que se utilice. El sistema de excitación de un alternador está formado por un excitador y un AVR. La tensión nominal de excitación no será superior a 1 kV ya que cualquier tensión elevada necesitaría un aislamiento adicional de los devanados.

Generalmente se pueden clasificar en giratorios o estáticos. En los excitadores giratorios la corriente de excitación se suministra mediante un generador de corriente continua o mediante un generador de corriente alterna con rectificadores. Hoy en día, lo más normal es que se empleen convertidores estáticos mediante tiristores. Estos sistemas de excitación se controlan mediante un regulador de tensión (AVR), el cual controla los disparos de los tiristores. El control de la excitación es muy importante en los generadores síncronos, ya que como cabe destacar, el valor eficaz de la fuerza electromotriz interna es directamente proporcional a la intensidad de corriente continua de excitación $I_f$, como vemos en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\left[M(2 \cdot \pi \cdot f) \cdot I_f\right]}{\sqrt{2}};$$

La principal desventaja de los sistemas de excitación estáticos es la necesidad de utilizar anillos rozantes para suministrar corriente al circuito inductor, el cual normalmente se encuentra en el rotor. Esto se compensa, en gran medida, por la rapidez con la que pueden reaccionar a las órdenes de los sistemas de control. Como disminuye el coste de los rectificadores de potencia, y aumenta la fiabilidad, los excitadores estáticos se están convirtiendo en el principal sistema e excitación de los turboalternadores.

En la siguiente ilustración podemos ver algunos de los muchos tipos de sistemas que hay para excitar una maquina síncrona:

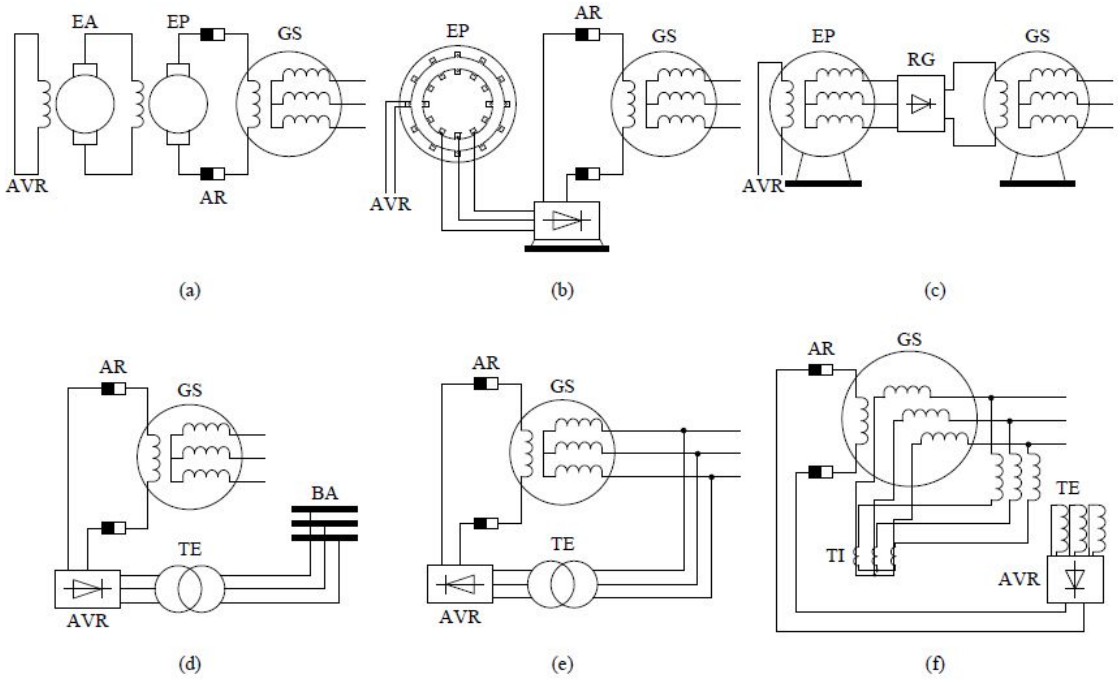



*Ilustración 21: Sistemas de excitación: a) generadores de corriente continua conectados en paralelo, b) máquina de reluctancia con rectificador, c) generador síncrono con rectificador giratorio, d) rectificador controlado alimentado por un suministro auxiliar, e) rectificador controlado alimentado por un suministro auxiliar, f) rectificador controlado alimentado por la tensión y la corriente del generador.*

[redacted]

Gra *GS, generador síncrono; AR, anillos rozantes; EP, excitación principal; EA, excitación auxiliar; RG, rectificador giratorio; TE, transformador de excitación; BA, barras de servicio auxiliar, TI, transformador de intensidad; AVR, regulador automático de tensión.*

#### 3.3.4.1.2. Conexión del Generador Síncrono.

Un sistema de excitación asociado a un regulador de tensión junto con un sistema automático de admisión de agua en la turbina permite que el generador produzca la tensión y potencia que se requiere a la frecuencia comercial. Existen dos modos de conexión en modo isla o conectado a la red, la regulación de la tensión y la frecuencia cuando se trabaja conectado a la red es más fácil, ya que la red proporciona la estabilidad necesaria.

En nuestro caso el generador trabaja en modo isla, es decir la potencia que genera será consumida en un receptor cercano, por lo que se debe de tener muy en cuenta el control de la potencia generada en la central, ya que si se genera más o menos de la consumida podemos incurrir en problemas de embalamiento o freno del alternador y tener problemas en el receptor ya que la frecuencia no sería la correcta.

Para no incurrir en estos problemas nuestra central contara con tres lazos de control, que explicaremos más adelante, y que son AVR (regulación automática de la tensión) y AGC (Control automático de la generación), este último cuenta con dos bucles uno controla la señal de frecuencia y otro controla la potencia que entrega la turbina al generador.

Como ya se ha comentado el funcionamiento, en un principio, de nuestra central será en modo isla, por lo que se tendrá que hacer un estudio pormenorizado de los consumos con los que se cuenta.

### 3.3.4.2.Generadores Asíncronos.

Se trata de máquinas con rotor devanado o de jaula de ardilla, que a diferencia de los generadores síncronos, no giran a la velocidad de sincronismo. La relación entre la velocidad de sincronismo y la velocidad de giro la da un factor llamado deslizamiento.

Estos generadores no tienen la posibilidad de regulación de tensión.

Dado que toman de la red la corriente de excitación y la potencia reactiva necesaria para su magnetización, este tipo de maquina no puede funcionar en isla. El elevado consumo de potencia reactiva puede llevar al proyectista a plantearse su utilización si se requiere que actúen como correctores del factor de potencia de la red.

Se emplean en potencias inferiores a 500kVA, pero también existe la opción de emplearlos en potencias que llegan hasta los 5 MVA, dependiendo de factores como la capacidad de la red de distribución a la se conectará.

La red marca la frecuencia de generación y la potencia dependerá del deslizamiento. Para este tipo de generadores no se requiere empleo de reguladores de velocidad.

Estas máquinas tienen una mayor simplicidad que las síncronas al no necesitar corriente de excitación.

Para su arranque se irá aumentando gradualmente la admisión de la turbina hasta que gire a una velocidad próxima a la de sincronismo, momento en el que se conectará a la red.

### 3.3.5. Regulación, Control y Protección.

#### 3.3.5.1.Introducción.

Las turbinas se diseñan para una altura de salto y un caudal predeterminados, las variaciones de estos parámetros deben compensarse abriendo o cerrando los dispositivos de control del caudal, tales como alabes directrices, válvulas o compuertas, a fin de dar la potencia que se demanda.

En aprovechamientos que suministran energía a una red aislada (funcionamiento en isla), como es el caso del proyecto que nos atañe, el parámetro a controlar es la velocidad del rodete, relacionada directamente con la frecuencia. Al aumentar la demanda de energía, el generador se sobrecarga y frena la turbina, y al disminuir ocurre lo contrario.

En principio existen dos enfoques para regular la velocidad de estos grupos: variar el caudal de entrada a la turbina o disipar el exceso de potencia eléctrica en bancos de resistencias. En el primer enfoque, la regulación de la velocidad (frecuencia) se logra variando el caudal que entra en la turbina. Un sensor, mecánico o electrónico, detecta la variación de velocidad y manda a un servomotor que modifique la apertura de los alabes del distribuidor (y eventualmente del rodete) de forma que admita más agua, y por ende más potencia hidráulica, a fin de que la turbina pueda satisfacer el incremento de la demanda. Del mismo modo, al disminuir la carga la turbina se acelera y el sensor envía una señal de signo contrario para cerrar los álabes del distribuidor.

En el segundo enfoque la turbina funciona con caudal constante y genera una potencia eléctrica constante. Si el sistema demanda menos energía, la turbina tiende a embalarse; un sensor detecta el aumento de frecuencia y un dispositivo, conocido como controlador de carga, procede a disipar el exceso de energía en un banco de resistencia, manteniendo constante la demanda.

Los reguladores que trabajan con arreglo al primer enfoque se construyen para toda la gama de potencias. Inicialmente fueron concebidos para grandes turbinas y luego rediseñados para las turbinas pequeñas. Los que trabajan con el segundo enfoque raramente sobrepasan el techo de los 100 kW.

### 3.3.5.2.Reguladores de velocidad.

Un regulador de velocidad consta en esencia de un sensor que detecta cualquier desviación de la velocidad con respecto al punto de consigna y un dispositivo que amplifica la señal producida por el sensor, para que ordene a un servomotor que accione los mecanismos que controlan el paso del agua a la turbina, manteniendo constante la velocidad y por tanto la frecuencia. En una turbina Francis, en la que se puede cortar el paso del agua cerrando los alabes del distribuidor, los mecanismos del servomotor tienen que ser muy robustos, para poder vencer la reacción del agua y los rozamientos mecánicos en los ejes, y para mantener cerrados los alabes del distribuidor.

Los reguladores pueden ser mecánicos, mecano-hidráulicos o electro-hidráulicos, según la precisión y sofisticación que se desee. Los mecánicos solo se utilizan en turbinas de algunos kilovatios de potencia, utilizando un centrífugo de bolas pesadas o regulador de Watt, que actúan directamente sobre el distribuidor. En los mecánico-hidráulicos se utiliza un centrífugo de bolas convencional actuando sobre un servomotor. Cuando, al aumentar la carga, la velocidad de la turbina disminuye, las bolas giran más despacio y caen, desplazando la posición del pistón en la válvula piloto, para enviar el aceite a presión a la cámara superior del cilindro. El pistón desplaza una varilla que actúa sobre el mecanismo de los alabes del distribuidor, aumentando o reduciendo la velocidad de la turbina.

En un regulador electro-hidráulico, un sensor electrónico, mide permanentemente la frecuencia (y eventualmente la tensión) y transmite la señal a un comparador en el que se compara con el valor de consigna. Si la señal transmitida por el sensor difiere de la consigna, el comparador emite una señal de error (positiva o negativa), que una vez amplificada es enviada al servomotor para que actúe en el sentido deseado. El servomotor es un cilindro hidráulico cuyo émbolo, según sea el tipo de turbina, que está conectado mecánicamente a los alabes directrices o al inyector, y es alimentado por un central hidráulica compuesta por un depósito de aceite, una bomba accionada por un motor eléctrico que suministra aceite a presión al sistema, un acumulador de aceite a presión y las válvulas de control.

Todos estos mecanismos actúan por acción y reacción, corrigiendo en uno u otro sentido la posición del distribuidor, lo que provoca una cierta inestabilidad en el grupo. En los sistemas mecánico-hidráulicos eso se corrige intercalando un amortiguador hidráulico que retarda la apertura de la válvula piloto. En los sistemas electro-hidráulicos se llega a un grado de sofisticación muy superior, de forma que la corrección, que puede ser proporcional, integral o derivativa (PID), da lugar a un mínimo de variación en el proceso de regulación.

Para controlar la velocidad de la turbina regulando la admisión de agua se necesita que los componentes rotativos tengan una determinada inercia. La inercia de la máquina se tendrá que tener en cuenta tanto en su aceleración como en su frenado. La ecuación básica del sistema rotativo viene dada por:

$$J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = M_t - M_c \ [Nm]$$

Donde

J es la inercia total de los elementos rotativos [kgm²]

Ω es la velocidad angular [rad/s]

$M_t$ es el par de la turbina (que tiende a acelerar a los elementos rotativos [Nm]

$M_c$ es el par de la carga (que tiende a frenar a los elementos rotativos) [Nm].

Cuando $M_t = M_c$,dΦ/dt=0 y Ω=0 por lo que la marcha es estable. Pero cuando no son iguales, dΩ/dt no es constante y el regulador tiene que intervenir para que la potencia de la turbina iguale la carga del generador y se mantenga en equilibrio.

Por último, hay que recordar que la regulación de la velocidad es función de la inercia del volante y de la de la columna de agua del sistema. Para que la regulación sea ultima, es conveniente que el tiempo de arranque de la turbina sea al menos cuatro veces mayor que el tiempo de arranque de la columna de agua, si bien se pueda operar con relaciones menores si se toman las precauciones adecuadas.

$$t_m = J\frac{\Omega^2}{P} = \frac{\Omega R^2 n^2}{5086P};$$

$$t_v = \sum \frac{LV}{gH};$$

Dónde:

$t_m$ es el tiempo de arranque del equipo rotativo, siendo este dependiente de $\Omega R^2$ (peso de los componentes que giran por su respectivo radio), P (potencia instalada en kW) y n (velocidad de la turbina en rpm).

$t_v$ es el tiempo de arranque de la columna de agua, que a su vez depende de L(longitud de la columna de agua en m), V (velocidad del agua en m/s) y gH (energía hidráulica especifica de la turbina en J/kg).

$$\frac{t_m}{t_v} > 4$$

En caso de que la relación anterior no fuese lo suficientemente elevada se puede actuar en dos sentidos, que son aumentar el tiempo de arranque de la turbina o disminuir el de la columna de agua. Para aumentar el primero se puede instalar un generador mayor o instalar un volante de inercia. Para reducir el tiempo de arranque del agua se pueden tomar también varias opciones, como son emplear tuberías más cortas, disminuir la velocidad del agua en ellas o emplear chimeneas de equilibrio (siendo esto último equivalente a acortar la longitud de la tubería).

#### 3.3.5.3.Protecciones.

Las protecciones de los sistemas que componen la minicentral actúan al producirse un hecho anormal en su funcionamiento, provocando una alarma e incluso la parada total de la misma. Esto depende del motivo que haya provocado dicha irregularidad. Las principales causas que pueden accionar las protecciones son:

- Protecciones mecánicas:
  - Embalamiento de turbina y generador.
  - Temperatura de eje y cojinetes.
  - Nivel de circulación del fluido de refrigeración.
  - Nivel mínimo hidráulico.
  - Desconexión de la bomba del aceite de regulación.

- Protecciones eléctricas del generador:
  - Intensidad máxima.
  - Retorno de potencia (máxima admitida 5 % de la nominal).
  - Calentamiento del generador.
  - Derivación en el estator.
  - Nivel de tensión (entre el 85 y el 100% de la tensión nominal).
  - Nivel de frecuencia (una variación máxima de ± 1% de la frecuencia nominal).
- Protecciones de la línea de general de alimentación:
  - Derivación de una fase a tierra.
  - Cortocircuito o inversión de fases.
  - Sobreintensidad.
  - Red de tierra, para limitar la tensión con respecto al terreno.

#### 3.3.5.4.Equipos Auxiliares.

Además de los equipos principales (turbina, generador, etc.,), se requieren una serie de equipos auxiliares en la central para que esta pueda funcionar de forma adecuada. Estos equipos presentan un consumo que se puede aproximar al 2% de la potencia generada por la central. Los equipos auxiliares habituales en este tipo de centrales son:

- Ventilación.
- Alumbrado, tanto normal como de emergencia.
- Equipo de corriente continua para alimentar las bobinas de desconexión del disyuntor y otras bobinas de relés y contactores.
- Grúa portátil para el montaje y operaciones de mantenimiento.
- Reja y limpiar rejas.
- Bomba para el drenaje de posibles fugas o achique en caso de inundación.
- Protección contra incendios.
- Agua de refrigeración.
- Caudalimetro.

### 3.3.5.5.Automatización.

#### 3.3.5.5.1. Introducción.

Las minicentrales se suelen automatizar por varias causas, pero las más relevantes son la de reducir costes de operación y mantenimiento, al permitir una reducción del personal necesario en la central. En caso de que la automatización sea total el personal solo será necesario que acuda a la central a realizar tareas de mantenimiento y en caso de avería.

La automatización de las centrales también permite aumentar la seguridad de los equipos, pues los equipos digitales de control reducen las averías respecto a los equipos de sistemas tradicionales. Por otra parte, la automatización permite optimizar el aprovechamiento energético de la instalación, el control puede seleccionar el régimen de funcionamiento de forma que el grupo trabaja siempre en el punto de mejor rendimiento para las condiciones que se den de salto, caudal y carga.

Todas estas ventajas combinadas permiten una disminución del precio de la generación de la energía aumentando así la rentabilidad de la instalación.

El grado de automatización que se implante en la central minihidráulica dependerá del tipo de central, de la ubicación, las posibilidades de regulación que tenga, el coste del personal y el presupuesto inicial con el que cuente el proyecto.

Un bajo grado de automatización (a base de relés convencionales) se puede justificar en el caso de que la central este próxima a un núcleo urbano de población, con un acceso sencillo y un coste del personal reducido. Por el contrario, un grado elevado de automatización se justifica cuando ocurre todo lo contrario, es decir, central aislada, con difícil acceso y costes de personal elevados.

La automatización puede ser total (arranque, regulación y parada) o parcial cuando simplemente se encargue de la parada y alarma en caso de actuación de alguna protección.

#### 3.3.5.5.2. Tipos de automatización.

La tecnología que permite la automatización puede ser convencional (relés electromagnéticos o estáticos) o mediante técnicas informáticas, estas últimas se basan en microprocesadores que se programan para gestionar las funciones de la central que se quieran controlar.

##### 3.3.5.5.2.1.Empleo de relés convencionales.

Esta tecnología basada en relés electromecánicos o estáticos es la forma más sencilla y económica de automatizar una central, teniendo el inconveniente de ser muy limitada, ya que solo permite desarrollar secuencias de arranque y parada por protecciones.

##### 3.3.5.5.2.2.Empleo de tecnología digital.

Se refiere a técnicas informáticas que permiten la implementación de la gestión de todas las funciones de la minicentral. Los equipos de automatización que funcionan con microprocesadores ofrecen un abanico mayor de posibilidades de automatización, siendo posible la programación de distintas secuencias:

- Arranque y parada normal de grupo.
- Parada de emergencia de grupo.
- Regulación del grupo por nivel de caudal.
- Optimización de funcionamiento del conjunto de la instalación.

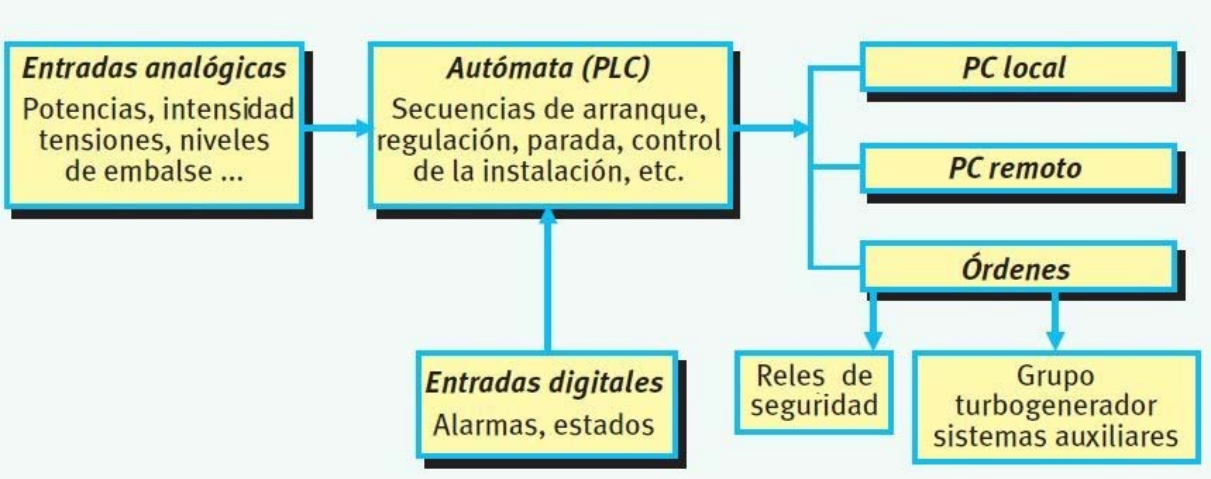



*Ilustración 22: Esquema General de un sistema de automatización.*

El sistema debe configurarse por módulos: módulo de conversión analógico/digital para medir caudales, temperatura, ángulo de los alabes, potencia instantánea, etc., módulo de conversión digital/analógico para accionar las válvulas del circuito hidráulico, los registradores, etc., un módulo para contar los kWh generados, el caudal, la intensidad, etc., un módulo de comunicación para el control telemático de la central, etc., Este enfoque modular es para satisfacer los diferentes requisitos de cada central, ya que cada central es distinta, y así poder adaptarse a cada tipo, reduciendo el costo y facilitando el mantenimiento.

Los sistemas de control automáticos contribuyen a aumentar la disponibilidad de la central, y a hacer trabajar las turbinas con una mayor eficiencia, produciendo así más energía, con el mismo volumen de agua.

El software que se implementa en los autómatas o PLC's se diseña también con criterio modular para que su adaptación a cada planta pueda hacerse rápidamente y a bajo coste. Los nuevos microprocesadores hacen posible el trabajo en tiempo real para hacer frente a las alarmas y averías. Los nuevos lenguajes de programación permiten programar fácilmente secuencias lógicas como las de arranque y parada.

#### 3.3.5.5.2.3.Descripción del sistema de control.

Los controles digitales integrados son sistemas compactos y económicos capaces de controlar una central minihidroeléctrica de forma eficaz, pueden ser manejados a distancia o desde la misma central.

En nuestro caso se instalará la arquitectura de control Hydro Plant Control de ALSTOM.

Esta serie de soluciones de control para plantas hidroeléctricas cubre todos los requisitos de control de la central:

- Sistema de control integrado
- Regulador de la turbina.
- Protecciones
- Monitorización de estado.
- Software de aplicación de proceso Hydro.
- El sistema implementa un registro cronológico de eventos, realiza medidas, calcula magnitudes y es capaz de realizar autodiagnósticos.

Un autómata programable es el encargado de realizar secuencias de arranque, regulación, parada, etc., y poner en contacto el resto de bloques que forman el control de la central.

Simultáneamente a estas acciones, es capaz de mantener una comunicación con el operador, tanto si este se encuentra en la central como si está en un centro de mando alejado de la misma.

En nuestro caso la automatización del sistema es completa, se encargara de las operaciones preliminares a la puesta en marcha, la propia puesta en marcha, así como de regular, controlar y optimizar el funcionamiento de la central en función de la potencia demandada. También se hará cargo de las paradas normales y de emergencia de la central.

Entre las operaciones preliminares a la puesta en marcha figuran comprobar la inexistencia de alarmas, los niveles de aceite de los sistemas hidráulicos, los niveles de fluido refrigerante, las temperaturas de los elementos controlados, verificar la posición de cierre/apertura de la válvula de mariposa y del distribuidor, verificar la velocidad nula en el rodete, la desconexión de reguladores y el estado de los interruptores de conexión a la carga.

Las operaciones de puesta en marcha se deben hacer según una secuencia lógica, que comienza con el arranque de los sistemas auxiliares, como grupos de presión, lubricación y refrigeración. A continuación se abrirá la válvula de mariposa, a continuación se abrirá también el distribuidor, regulándose la turbina. Finalmente, se conectaran los reguladores del generador, y cuando la tensión y frecuencia sean las exigidas (400 V y 50 Hz) la conexión de la central a la carga.

La regulación del funcionamiento de la central por parte del control digital incluye regular el caudal turbinado, la velocidad del grupo, la potencia generada, la tensión en bornes del generador, el factor de potencia, apertura/cierre de válvulas y circulación de los fluidos de lubricación y refrigeración de la central.

El control y optimización del funcionamiento hace que el control digital controle la posición de las válvulas, compuertas, reguladores, el funcionamiento del taquímetro, presiones, temperaturas, niveles de fluidos, vibraciones. El control de la central deberá realizarse mediante dispositivos con una precisión lo suficientemente elevada, que incluirá señalización óptica o acústica de anomalía.

En caso de no solucionarse los problemas que se pudieran producir, deberá de emitir una orden de parada automática y una alarma que avise al operador. Todo esto permite un aprovechamiento último del caudal turbinado, mejorando simultáneamente la seguridad y la rentabilidad de los equipos de la central.

La parada normal de la central también tiene una secuencia lógica que debe seguir los pasos de forma inversa a la secuencia de puesta en marcha.

Finalmente se alcanzará una parada total de la turbina. La parada de emergencia comprende la retirada del servicio de la central cuando se activa alguna de las alarmas de la instalación. En este caso no se seguirá una secuencia determinada, sino que se producirán todas las operaciones simultáneamente, sin esperar para comenzar unas sin que se hayan cumplido las otras.

#### 3.3.5.6.Regulación de la turbina

##### 3.3.5.6.1. Introducción.

El alternador debe suministrar una potencia eléctrica de una frecuencia determinada y constante (los límites de funcionamiento son estrechos), esto implica que la turbina debe girar a una velocidad constante, con unas variaciones muy reducidas.

El régimen de giro y las variaciones de la turbina dependerán de los pares motor y resistente a los que está sometida la turbina, así como del momento de inercia del grupo generador.

En régimen permanente los pares motor y resistente deben ser iguales, de cara a que no se produzcan variaciones en la velocidad de giro del grupo. Si el consumo demandado por la carga aumenta, inicialmente la turbina se frenaría al haber aumentado el par resistente sin haberse producido cambios en el par motor. Si por el contrario, el consumo eléctrico disminuye, también lo hará el par resistente, lo que implica una aceleración del grupo en caso de no disminuir de igual manera el par motor. Este último caso es especialmente grave en caso de que el consumo de la red se anule, por una falta o la apertura del interruptor de conexión, ya que la aceleración del grupo será la máxima posible. Esta situación puede provocar el embalamiento del grupo si no se tuviese en cuenta esta posibilidad.

En las anteriores situaciones, salvo el caso extremo de anulación total de la carga, el grupo pasara por un periodo transitorio hasta llegar de nuevo a un estado de estabilidad, lo que se conoce como autorregulación.

La autorregulación tiene como principal inconveniente el que si la carga no se asemeja a la potencia dada por el grupo, la variación de velocidad (y por lo tanto, de la frecuencia de la energía eléctrica generada) es excesiva, llegando en casos extremos a la pérdida del sincronismo del grupo. Esto lleva a que sea necesario intervenir, ya sea de forma manual o automática, en la regulación de la turbina, de cara a mantener la frecuencia dentro de unos límites de ±1% de la nominal.

Para variar la potencia generada se puede actuar básicamente sobre dos parámetros, el salto y el caudal del agua que se está turbinando.

La variación del salto es técnicamente complicada y económicamente ineficiente, ya que es desperdiciar una energía que se puede aprovechar.

Esto hace que la regulación del caudal sea la opción más eficaz, además, esta opción es la más viable. Variar el caudal turbinado también implica una modificación en las perdidas, pero con consecuencias menores a las que implican variar el salto.

#### 3.3.5.6.2. Lazos de regulación del grupo turbina-generador.

Es necesario distinguir ente el control automático de la tensión y el control automático de la generación, ya que el primero es sencillo y solo requiere de un lazo de control, pero el segundo requiere de varios bucles de control.

Los recursos de control pueden ser de tipo discreto, como la conexión o desconexión de reactancias o condensadores, transformadores con tomas, o continuos como en el caso de la regulación de un grupo turbina-generador.

Los mecanismos de regulación de la tensión y de la generación se pueden considerar con bastante aproximación como desacoplados, siendo mucho más rápida la regulación de la tensión.

a) Regulación automática de la tensión (AVR).

El control automático de la tensión (AVR) tiene por objetivo mantener la tensión en bornes del generador, mediante el control de la fuerza electromotriz interna del generador. Para ello se actua sobre la corriente de excitación del generador. La respuesta de estos elementos de control es bastante rápida, del orden de los segundos.

El AVR mide la magnitud de la tensión en bornes del generador, valor que es rectificado y filtrado hasta obtener una señal de corriente continua proporcional al valor eficaz original. Esta señal continua $|V|$ se compara con un valor de referencia, $|V|_{ref}$ siendo la diferencia entre ambas el error de tensión, e, que después de su amplificación se utiliza como tensión de alimentación de la excitatriz principal del generador y que finalmente se convierte en la tensión de excitación del generador.

El AVR de los alternadores es electrónico y se realiza por medio de rectificadores controlados de silicio que permiten obtener una c.c. de amplitud variable.

b) Control automático de la generación (AGC).

Si en algún momento la energía eléctrica generada del sistema no coincide con la demandada más las perdidas, se produce un desequilibrio en el balance de potencia. Este déficit o exceso de potencia solo se puede obtener mediante la energía cinética almacenada en los generadores. Como la energía cinética depende de la velocidad del generador, cualquier desequilibrio en el balance e potencia activa se traducirá en una variación de la velocidad del generador, y por lo tanto en una desviación de la frecuencia eléctrica.

En las centrales interconectadas con la red el AGC esta formado por tres lazos de control: el primero responde a la señal de frecuencia (velocidad del grupo) y actúa sobre el sistema de admisión de la turbina para mantener el equilibrio entre la potencia activa generada y la demandada; el segundo lazo actúa sobre el cambiador de velocidad del generador para mantener la frecuencia en el valor nominal, haciendo por tanto cero el error de frecuencia y controlar los intercambios de potencia acordados con otras áreas; y por ultimo el tercer lazo de control es el que impone a los generadores el funcionamiento económico.

En nuestro caso el AGC solo estará formado por el primer lazo de control ya que nuestra central está aislada, y los picos de potencia que pueda incurrir nuestro consumidor directo no son lo suficientemente grandes para que nuestra minicentral los absorba sin llegar a perder el sincronismo.

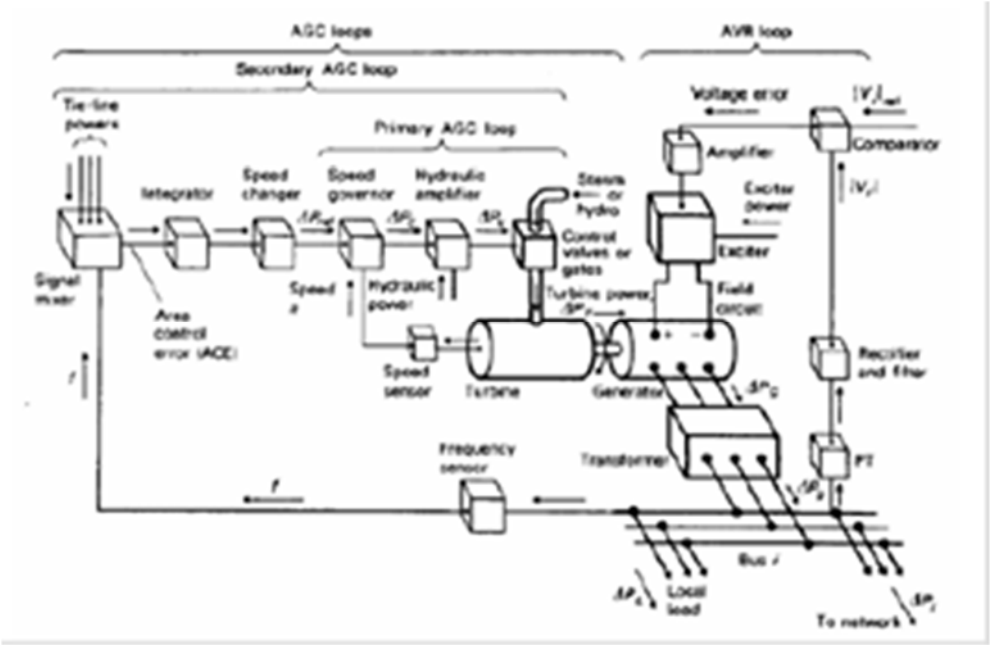



*Ilustración 23: Lazos de control de un grupo turbina/alternador.*

# CALCULOS

[redacted]
Grado en Ingeniería Eléctrica

# INDICE

1. Estudio Hidrológico ..... 2
1.1. Caudal Nominal. ..... 2
1.1.1. Determinación del año de referencia. ..... 2
1.1.2. Determinación del caudal de equipamiento. ..... 3
1.2. Altura neta. ..... 4
1.1.3. Calculo del Salto neto. ..... 4
1.1.4. Perdidas de carga en la tubería forzada. ..... 5
1.1.5. Perdidas de carga en la válvula de mariposa. ..... 10
1.1.6. Calculo del salto neto. ..... 12
2. Características generales de la instalación. ..... 12
2.1. Potencia instalada y número de máquinas. ..... 12
2.2. Turbina. ..... 13
2.2.1. Elección del tipo de turbina. ..... 13
2.2.2. Disposición del grupo. ..... 14
2.2.3. Cálculo de la geometría. ..... 14
2.3. Espesor de la tubería forzada. ..... 18
2.3.1. Introducción. ..... 18
2.3.2. Espesor mínimo. ..... 18
2.3.3. Golpe de ariete. ..... 19
2.4. Válvula de mariposa. ..... 20
3. Cálculos Eléctricos. ..... 20
3.1. El generador. ..... 20
3.1.1. Excitación del generador. ..... 21
3.2. Calculo de los elementos auxiliares. ..... 21
3.2.1. Motor limpia rejas. ..... 21
3.2.2. Bomba de Achique. ..... 21
3.2.3. Excitación Generador Síncrono. ..... 22
3.2.4. Iluminación sala de máquinas. ..... 22
3.2.5. Otros Usos. ..... 22
3.2.6. Servicio de Alimentación Ininterrumpida. ..... 23
3.3. Cuadro de regulación y control. ..... 23
3.4. Puesta a tierra. ..... 23

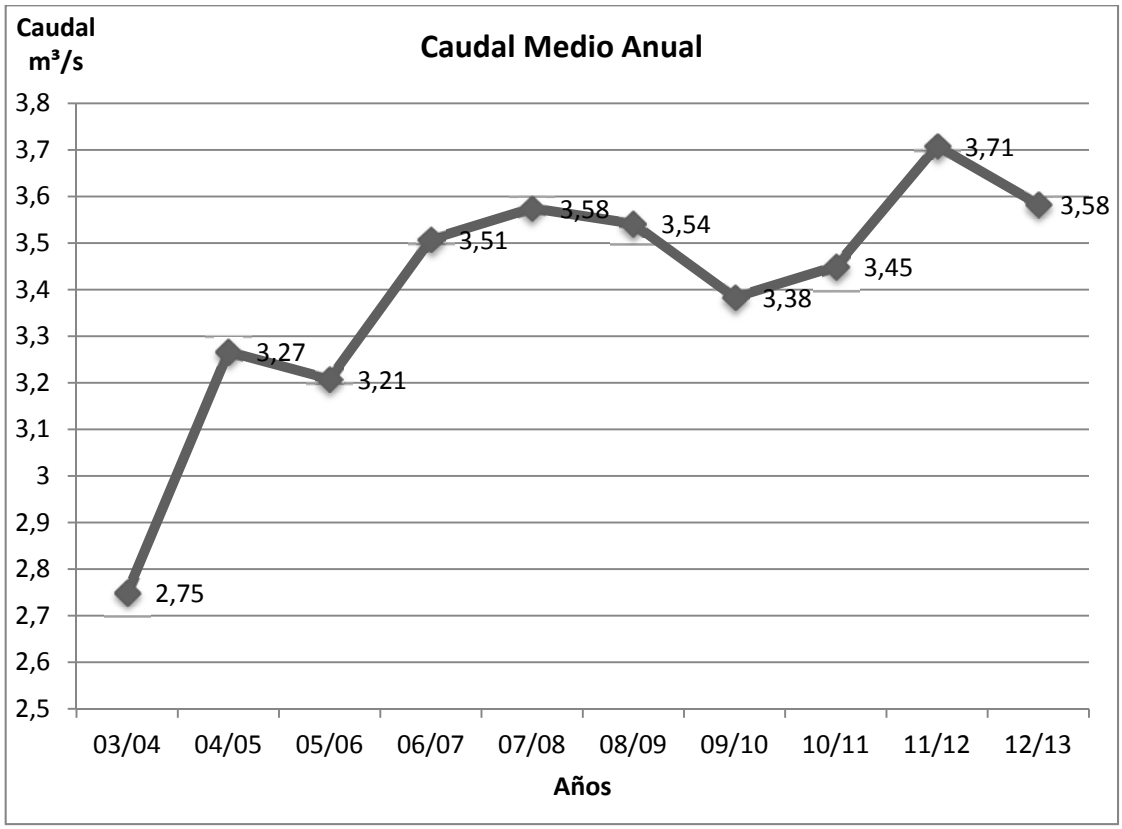
# 1. Estudio Hidrológico

## 1.1.Caudal Nominal.

### 1.1.1. Determinación del año de referencia.

Dado que la potencia eléctrica es proporcional a la altura y al caudal turbinado, la correcta determinación de estas variables es fundamental para el diseño de las instalaciones.

En primer lugar determinaremos el caudal nominal que se elegirá de tal forma que se maximicemos el agua turbinada. Para esto lo primero que debemos hacer es obtener los datos de caudales medios diarios del rio. Con estos datos se realiza la curva caudales medios por años hidrológicos que nos ayudará a determinar el año medio representativo.



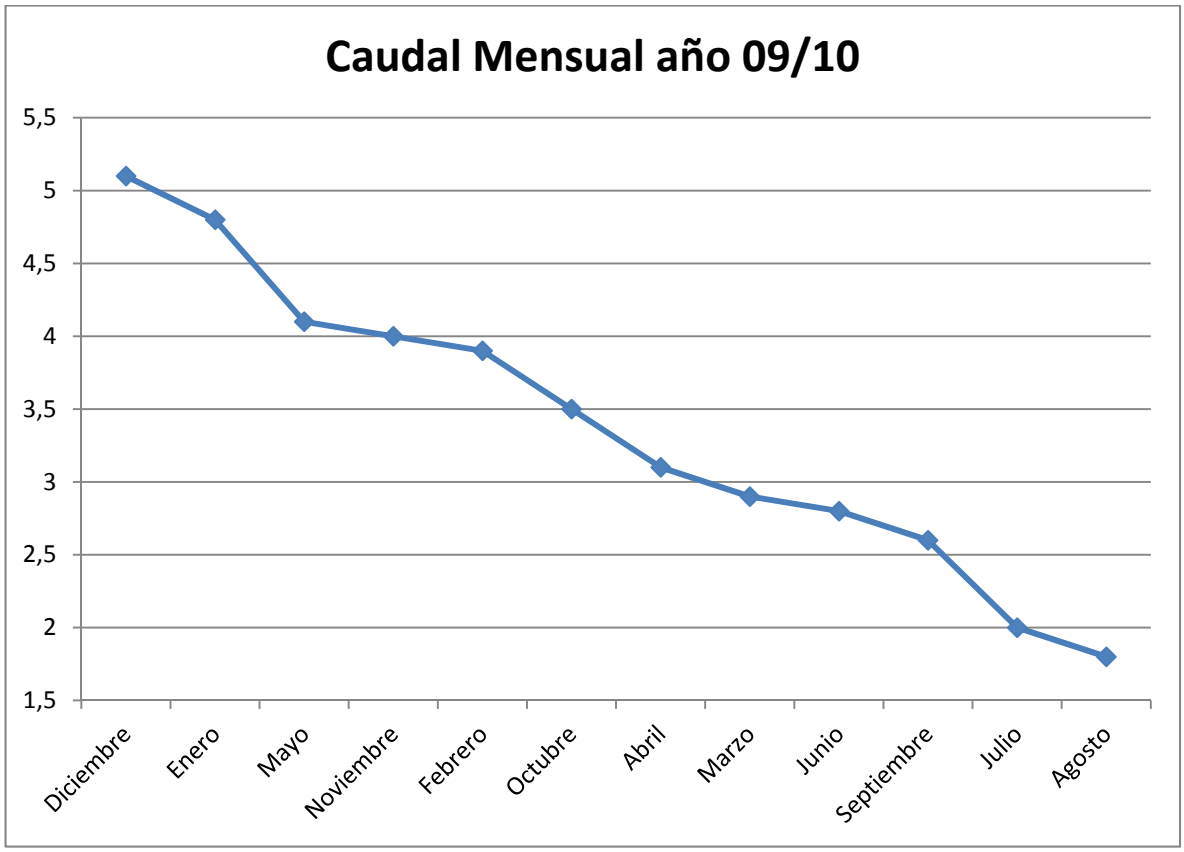

**Grafica 1: Caudales medios anuales.**

El histórico de aportaciones comprende datos de 10 años, siendo el año hidrológico más reciente del que se poseen datos el 2012-2013. Según los datos de los que se dispone los diferentes años hidrológicos se pueden clasificar según sea su valor como:

- Muy húmedos:2011/12; 2012/13;
- Húmedos: 2006/07; 2007/08; 2008/09; 2009/10; 2010/11
- Secos: 2004/05;2005/06
- Muy secos: 2003/04

Se observa que el año que se aproxima más al caudal medio de entre los 10 años (3,4 m³/s) es 2009/10 con 3,38 m³/s.

A continuación se obtiene la curva de caudales medios mensuales clasificados que nos dá el caudal medio en función del mes del año hidrológico.




Grafica 2: Caudal mensual año 09/10.

### 1.1.2. Determinación del caudal de equipamiento.

Es necesario obtener un caudal de equipamiento adecuado para las maquinas a instalar, de forma que la energía producida sea la máxima posible en función de la hidrología.

Dependiendo del tipo de turbina que se utilice en la instalación será necesario tener en cuenta un caudal mínimo técnico ($Q_{mt}$) que sea proporcional al caudal nominal con un factor de proporcionalidad K que depende del tipo de turbina:

$$Q_{mt} = K \cdot Q_n$$

El coeficiente K depende del tipo de turbina:

- Pelton: K = 0,1;
- Kaplan: K= 0,25;
- Francis: K = 0,4;

Como veremos más adelante la turbina de la minicentral será tipo Francis, y por tanto K = 0,4.

$$Q_{mt} = 0{,}4Q_n$$

El caudal nominal se elegirá de forma que el volumen turbinado sea máximo, es decir, que la integral bajo la curva de caudales clasificados entre el caudal mínimo técnico y el caudal nominal sea máxima. Por tanto, teniendo en cuenta las limitaciones de caudal, las áreas de la gráfica de caudales mensuales turbinados variando el caudal de equipamiento de la turbina Francis son:

| $Q_n$ | $Q_{\min_tec}$ | Área |
|---|---|---|
| 1 | 0,4 | 3,16 |
| 2 | 0,8 | 5,92 |
| 3 | 1,2 | 8,37 |
| 3,5 | 1,4 | 9,49 |
| 4 | 1,6 | 8,56 |

**Tabla 1: Calculo del área bajo la curva en función del $Q_n$ y del $Q_{\min_tec}$;**

Vemos que la opción que maximiza el agua a turbinar es aquella en la que el caudal nominal es 3,5 m³/s, siendo en este caso el caudal mínimo técnico igual a 1,4 m³/s. Esta es la opción óptima debido a que los caudales máximos mensuales son muy superiores a los que se dan en los meses con poco caudal, por lo que compensa aprovechar a los primeros al máximo.

## 1.2. Altura neta.

### 1.1.3. Calculo del Salto neto.

Según datos cedidos por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía la caseta de máquinas y la entrada de la tubería tienen las siguientes coordenadas y altura con respecto al nivel del mal:

| Caseta de Maquinas | Entrada Tubería |
|---|---|
| 37º13'43.16" N | 37º13'47.42" N |
| 4º05'23.95" O | 4º05'31.39" O |
| 592 m | 639 m |

**Tabla 2: Datos de coordenadas y cotas Caseta Máquinas y Entrada tubería.**

Como podemos observar la diferencia de alturas es de 47 m, que es la altura bruta de la instalación.

Ilustración 1: Imagen aérea de la zona.

### 1.1.4. Perdidas de carga en la tubería forzada.

La tubería forzada es el elemento encargado de conducir el agua hasta la turbina de la minicentral. Su longitud viene dada por la posición de la turbina y la desembocadura del azud.

#### 1.1.1.1 Perdidas Primarias.

Las perdidas primarias son las imputadas al rozamiento que el fluido experimenta con la pared de la tubería por la que circula, el rozamiento que existe entre capas de fluido y el rozamiento generado por el choque de partículas de fluido. Su valor viene dado por la siguiente relación:

$$H_{rp} = \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{L}{D} \cdot \lambda$$

Donde:

V es la velocidad del fluido en m/s;

g es la constante de la gravedad, 9,81 m/s²;

L es la longitud de la tubería en m;

D es el diámetro de la tubería;

λ es el factor adimensional que expresa las perdidas por rozamiento viscoso en la tubería. Se puede calcular de varias maneras, pero según libros consultados la forma más rápida de calcular y que más se asemeja a la realidad es la Correlación de Coolebrook-white:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log\left[\frac{\frac{k}{D}}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right]$$

Donde

Re es el número de Reynolds.

k es una constante que depende de la rugosidad de la tubería:

| TUBERÍA O REVESTIMIENTO | K, mm |
|---|---|
| Tubos estirados de acero | 0,0024 |
| Tubos de latón o cobre | 0,0015 |
| Fundición revestida de cemento | 0,0024 |
| Fundición con revestimiento bituminoso | 0,0024 |
| Fundición centrifuga | 0,003 |
| Fundición asfaltada | 0,06-0,18 |
| Fundición | 0,12.0,6 |
| Acero Comercial y soldado | 0,03-0,09 |
| Hierro forjado | 0,03-0,09 |
| Hierro galvanizado | 0,06-0,24 |
| Hormigón | 0,3-3 |
| Acero roblonado | 0,9-9 |
| Acero laminado | 0,15-0,25 |

**Tabla 3: Valores de la constante k para distintos materiales de la tubería forzada.**

En nuestro caso la tubería será de acero laminado, por tanto tomaremos $k = 0{,}2$.

Sabiendo que D=0,85 m, L= 154m y que $Q_n$= 3,5 m³/s, obtenemos que:

$$Q = V \cdot A \rightarrow V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = 6{,}17 \frac{m}{s};$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\upsilon} = 5{,}2218 \cdot 10^6$$

La viscosidad cinemática del agua varia con la temperatura y la presión, si bien es cierto que para el rango de temperaturas ambientales, que serán las temperaturas a las que estará sometido el fluido, la variación es insignificante, lo mismo ocurrirá, dadas las condiciones del problema a tratar con la presión, y por tanto tomaremos la viscosidad como valor constante para todos los cálculos.

De la fórmula de Coolebrook-white obtenemos: λ= 0,031.

Y por tanto:

$$H_{rp} = \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{L}{D} \cdot \lambda = 12{,}6\ m$$

Obteniendo unas pérdidas primarias de 12,6 m.

#### 1.1.1.2 Perdidas secundarias.

Son las que se producen en transiciones de la tubería (estrechamientos o ensanchamientos) y en los accesorios como válvulas, codos, etc.,

##### 1.1.1.2.1 Perdidas en la rejilla de limpieza.

A la entrada de la tubería forzada se suele instalar una rejilla de cara a impedir la entrada de objetos a la tubería forzada. El agua al pasar por esta rejilla genera una turbulencia, y con ella una cierta pérdida de carga, que en general toma valores reducidos, pero que es necesario tener en cuenta.

El valor de esta pérdida de carga se calcula mediante la ecuación de Kirchner:

$$H_{rejilla} = K_{t.} \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot sen\ \theta;$$

Donde:

$H_{rejilla}$ son las perdidas en la rejilla.

$K_{t.}$ es una constante que depende de la forma de la rejilla.

$t$ es el espesor de la barra

$b$ es la separación entre barras.

$V$ es la velocidad del agua

θ es el ángulo la rejilla.

En caso de que la rejilla no se coloque perpendicular a la corriente, se crea una pérdida de carga adicional, cuyo valor se calcula:

$$H_{\beta} = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot sen\ \beta;$$

En nuestro caso no es necesario el cálculo de esta pérdida ya que la rejilla se colocará totalmente perpendicular a la corriente.

En nuestro caso se tomara como valores $t = 0{,}01\ m$ y $b = 0{,}1\ m$, ya que aún no se sabe cuál será la configuración de la rejilla se tomara para $K_t.$ el valor de una configuración de barras de bordes rectos, $K_t. = 2$. Por lo tanto las pérdidas en la rejilla son:

$$H_{rejilla} = K_t. \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot sen\ \theta = 0.6896\ m;$$

#### 1.1.1.2.2 Salida del azud a la tubería forzada.

Estando el Azud en posición relativa de casi 90º respecto al trazado de la tubería forzada, se ha construido un pequeño habitáculo el cual albergara la reja de desbaste y una toma en forma de embudo o plano inclinado respecto al eje del rio para que se dé el cambio de dirección del agua del azud a la tubería.

Al tratarse de un estrechamiento suave aplicaremos la siguiente formula:

$$H_{entrada} = K \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right);$$

Don K, al tratarse de este tipo de estrechamiento vale 0,5. Por lo tanto el valor de estas perdidas $H_{entrada} = 0{,}9695\ m$.

#### 1.1.1.2.3 Perdidas en los codos.

Se produce una pérdida de carga cuando el agua atraviesa una curvatura que cambia la dirección del flujo. Dicha perdida de carga viene dada por la ecuación siguiente

$$H_{codo} = K_b \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g};$$

En la instalación hay dos codos de 45º. Uno se encuentra a la entrada de la tubería forzada y otro justo antes de la válvula de mariposa que controla el caudal.

En la siguiente figura podemos observar los distintos valores que puede tomar $K_b$ para los distintos ángulos de codo.

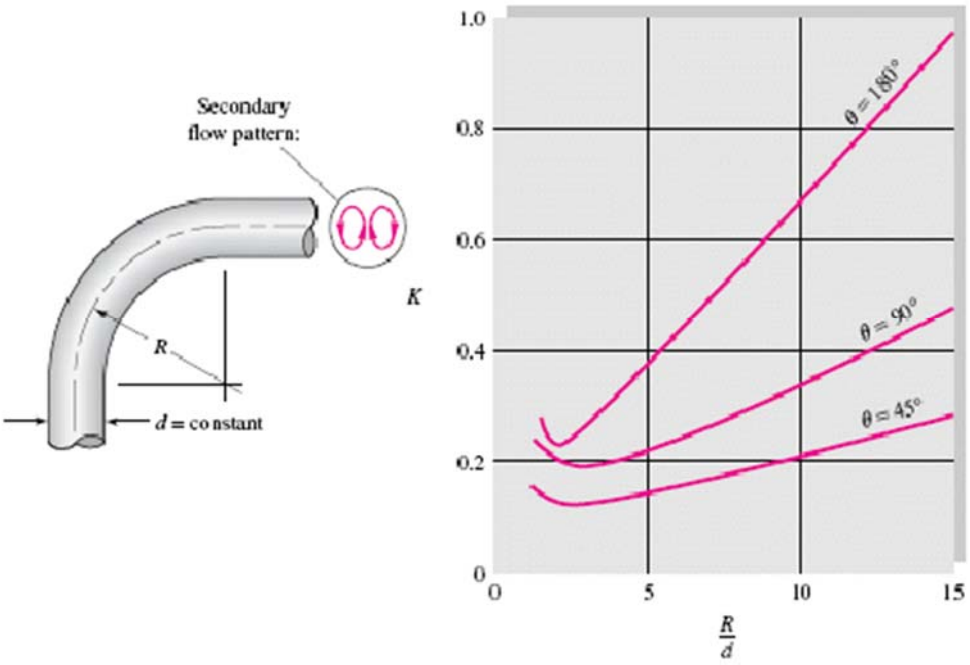



Ilustración 2: Valor de Kb para los distintos ángulos de codo.

Sabiendo el valor que el radio de curvatura es 8 veces el diámetro de la tubería, por lo tanto el valor de $K_b$ es cercano a 0.15.

Aplicando a la ecuación de pérdidas los valores se obtiene que la perdida en los codos es:

$$H_{codo} = 2 \cdot 0.15 \cdot \frac{6{,}17^2}{2 \cdot g} = 0.582;$$

#### 1.1.1.2.4 Perdidas en la válvulas de compuerta.

El coeficiente de perdidas depende del tipo de válvula y del grado de apertura de la misma, en nuestro caso calcularemos las dos válvulas que hay a la entrada y la salida de la tubería, la primera de ellas es de compuerta. El coeficiente adimensional de pérdidas se calculara teniendo en cuenta que esta estará totalmente abierta o totalmente cerrada, ya que no se utilizara para regular el caudal. Teniendo esto en cuenta el valor de K es 0.1 y por tanto el valor de las pérdidas que la válvula produce es:

$$H_{valv} = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot 0{,}1 = 0{,}1939\ m;$$

### 1.1.5. Perdidas de carga en la válvula de mariposa.

Debido a que el diámetro de la tubería forzada y el de la brida de entrada de la cámara en espiral no coinciden, es necesaria la instalación de una contracción que lleva aparejada una cierta pérdida de carga. Esta instalación se puede realizar de varias formas:

- Instalar el estrechamiento antes de la válvula de mariposa, lo que conlleva que esta tendrá el mismo diámetro interior que la brida de entrada a la cámara en espiral.
- Instalar el estrechamiento tras la válvula de mariposa, lo que hace que esta tenga el diámetro de la tubería forzada.
- Hacer que la virola de entrada a la cámara en espiral tenga este estrechamiento.

Sea cual sea la opción elegida, el estrechamiento no debe tener un ángulo característico mayor de 10 grados, porque las pérdidas de carga aumentarían considerablemente. A continuación se exponen las distintas alternativas antes mencionadas y sus consecuencias.

#### 1.1.1.3 Instalación del estrechamiento antes de la válvula de mariposa.

Esta opción conlleva que la pérdida de carga en la válvula de mariposa sea mayor que en las otras opciones debido a la mayor velocidad con la que el agua la atravesará al ser su diámetro interno el mismo que el de la entrada a la cámara en espiral. Las pérdidas en la válvula de mariposa serán:

$$H_{val_mar} = K_v \cdot \frac{V_e^2}{2 \cdot g};$$

Siendo $V_e$ la velocidad en la entrada de la cámara espiral.

Por otra parte, las pérdidas por estrechamiento son:

$$H_{estrech} = K_c \frac{V_e^2}{2 \cdot g};$$

La velocidad de la fórmula es la mayor de las dos del estrechamiento, o sea, la del conducto de menor diámetro, por lo que $V_e$ depende del radio de curvatura y del material. Las pérdidas de esta opción son:

$$H_{antes_valv} = H_{valv_mar} + H_{estrech};$$

#### 1.1.1.4 Instalación del estrechamiento después de la válvula de mariposa.

Esta opción hace que el diámetro interno de la válvula de mariposa sea el de la tubería forzada, lo que implica que la velocidad media del agua en ella es inferior respecto a la opción anterior. Esto hace que las pérdidas en la válvula de mariposa disminuyan y tomen el valor:

$$H_{val_mar} = K_v \cdot \frac{V_T^2}{2 \cdot g};$$

Siendo $V_T$ la velocidad del agua en la tubería forzada y $V_e$ la velocidad de entrada a la cámara espiral, $V_e$ es mayor que $V_T$ al ser el diámetro en la entrada de la cámara que el de la tubería forzada.

#### 1.1.1.5 Instalación del estrechamiento en la cámara espiral.

Como ya se ha comentado que el estrechamiento debe tener un ángulo característico no superior a 10 grados de cara a reducir las pérdidas. Los diámetros del estrechamiento son el de la tubería forzada y el de la entrada a la cámara, que se obtiene a partir del de la máquina de referencia.

#### 1.1.1.6 Pérdidas en la válvula de mariposa.

Se optara por instalar el estrechamiento entre la entrada a la cámara espiral y la válvula de mariposa, debido a que las pérdidas en esta opción son menores a las que provocaría la configuración contraria ya que esto causaría una aceleración desproporcional dentro de la válvula.

Las pérdidas que genera el estrechamiento son las mismas en las dos opciones, debido a que los datos son los mismos para ambas. Hay que tener en cuenta que la velocidad que se usa para el cálculo es la de la parte más estrecha.

Primero calcularemos las pérdidas en la válvula, tomaremos la válvula como totalmente abierta, por lo que $K_v = 0{,}05$.

$$H_{val_mar} = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot K_v = 0{,}0969\ m$$

Para el cálculo de las pérdidas en el estrechamiento necesitamos saber cuál será su la velocidad en la parte más estrecha:

$$V_e = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{0{,}6^2}{4}} = 12{,}3787 \frac{m}{s};$$

Como $\frac{d}{D} = 0{,}7 \leq 0{,}76 \rightarrow K_C = 0{,}42 \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 = 0.1057;$

$$H_{estrech} = \frac{V_e^2}{2 \cdot g} \cdot K_C = 0{,}8255\ m;$$

### 1.1.6. Calculo del salto neto.

Se define el salto neto como la altura de columna de agua que queda al restarle las pérdidas totales al salto bruto. Será el salto neto el aprovechado por la turbina para generar la potencia demandada.

A continuación se hace un resumen de las pérdidas que se ha calculado a lo largo del apartado:

- Perdidas Primarias: $H_{rp} = 12{,}6\ m$
- Perdidas Secundarias:
  - $H_{rejilla} = 0{,}6896\ m$
  - $H_{entrada} = 0{,}9695\ m$
  - $H_{codos} = 0{,}582\ m$
  - $H_{valv} = 0{,}1939\ m$
  - $H_{val_mar} = 0{,}0969\ m$
  - $H_{estrech} = 0{,}8255\ m$

Todas estas pérdidas suman un total: 15,96 m

Por lo tanto, la altura neta será $H_{neta} = 47 - 15{,}96 = 30{,}04\ m$.

El dimensionamiento de la turbina se realizara para una altura de 30 m.

## 2. Características generales de la instalación.

### 2.1.Potencia instalada y número de máquinas.

Una vez conocido el salto neto se tienen todos los parámetros necesarios para calcular la potencia que entregará nuestra central. La potencia nominal de una turbina hidráulica viene dada por la siguiente expresión:

$$P = Q \cdot H_n \cdot \rho \cdot g \cdot \eta;$$

Dónde:

- Q = 3,5 m³/s.;
- P = 1000 kg/m³;
- g = 9,81 m/s²;
- $H_n$= 30 m.
- $\eta$ = 90% (se aproximara a este valor de momento por ser un valor típico de rendimiento en minicéntrales hidráulicas).

Con los datos anteriores se estima que la potencia nominal de la central será de 927 kW.

Para esta potencia será suficiente la instalación de una sola máquina. La instalación de un número mayor de máquinas tiene una serie de ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas destacan el hecho de que se puede turbinar una mayor cantidad de agua, ya que en caso de que el caudal no sea suficiente para que trabajen las dos máquinas, lo puede hacer una sola. Además, el rendimiento de la turbina será mayor, debido a que las turbinas trabajarán en condiciones más próximas a las de diseño. Entre los inconvenientes se encuentran el que la inversión inicial sería superior, ya que se duplicaría el número de turbinas, alternadores y otros elementos de la instalación, por otra parte no se producen reducciones de costes de explotación de una cuantía destacable. Por lo que se cree innecesaria la instalación de dos turbinas y se opta por la solución de una sola turbina.

## 2.2.Turbina.

### 2.2.1. Elección del tipo de turbina.

La elección de una turbina Francis se debe a las características del emplazamiento y del rio donde se va a instalar. Ya que con el salto disponible (30 metros) nos es lo suficientemente grande para poder instalar una turbina tipo Pelton, ni tampoco los suficientemente bajo para el empleo de una turbina tipo Kaplan. En cuanto al caudal (3,5 m³/s) como, no se dispone de un caudal elevado como para utilizar una Kaplan ni lo suficientemente bajo como para hacer aconsejable el uso de una Pelton.

Por todas estas conclusiones, como dije al principio del apartado se cree que la turbina que mejor se adapta a las condiciones que presenta el emplazamiento se debe de instalar una turbina tipo Francis.

### 2.2.2. Disposición del grupo.

La turbina Francis puede instalarse de forma horizontal o vertical. Debido a que la potencia de la turbina es reducida, se procederá a la instalación de una turbina horizontal, entre los motivos figuran la ausencia de problemas de espacio, y la reducción de costes en el edificio de la central, debido a que toda la maquinaria es instalada en un único nivel. El coste de la maquinaria también es menor en una disposición horizontal que en una vertical. Otra ventaja adicional es un acceso más sencillo a los diversos órganos de la turbina para operaciones de mantenimiento y reparación.

Entre los inconvenientes de esta disposición se encuentra un menor rendimiento por parte de la turbina, pero dada la reducida potencia de esta central, la variación de rendimiento no justifica el incremento de la inversión.

### 2.2.3. Cálculo de la geometría.

Como ya se explicó en la memoria descriptiva las turbinas Francis se componen de los siguientes elementos: cámara espiral, anillos fijos, distribuidor Fink (alabes fijos y móviles), rodete, eje y tubo de aspiración.

El cálculo de la turbina se realiza en función del número específico de revoluciones ($n_s$). Este número fue introducido por primera vez por Kramer, adquiriendo actualmente un uso muy frecuente en el estudio de turbo-máquinas hidráulicas, y constituye el parámetro más significativo en el estudio de turbinas.

Para una turbina, el número específico de revoluciones es un parámetro asociado a una familia dada de turbinas que operan con eficiencia máxima. Para el cálculo de la geometría de la turbina se aplicara el método que se explica en el *libro Modern trends in selecting and designing Francis turbines, De Siervo, F y de Leva F. International Water Power and Dam Construction. Vol. 30 p28-35.* Según este libro, teniendo en cuenta experiencias empíricas, la velocidad especifica está relacionada con el salto neto por la siguiente expresión:

$$n_s = 3470\, H_n^{-0,625} =$$
$$n_s = 405\, r.p.m;$$

Expresión que sirve para dar una velocidad especifica de prueba, lo que permitirá hallar la velocidad síncrona de la máquina y una velocidad especifica definitiva para el dimensionamiento de la turbina y sus componentes. Para el cálculo se tomara una velocidad síncrona (n) de 500 r.p.m que se atribuye a un generador de 6 pares de polos

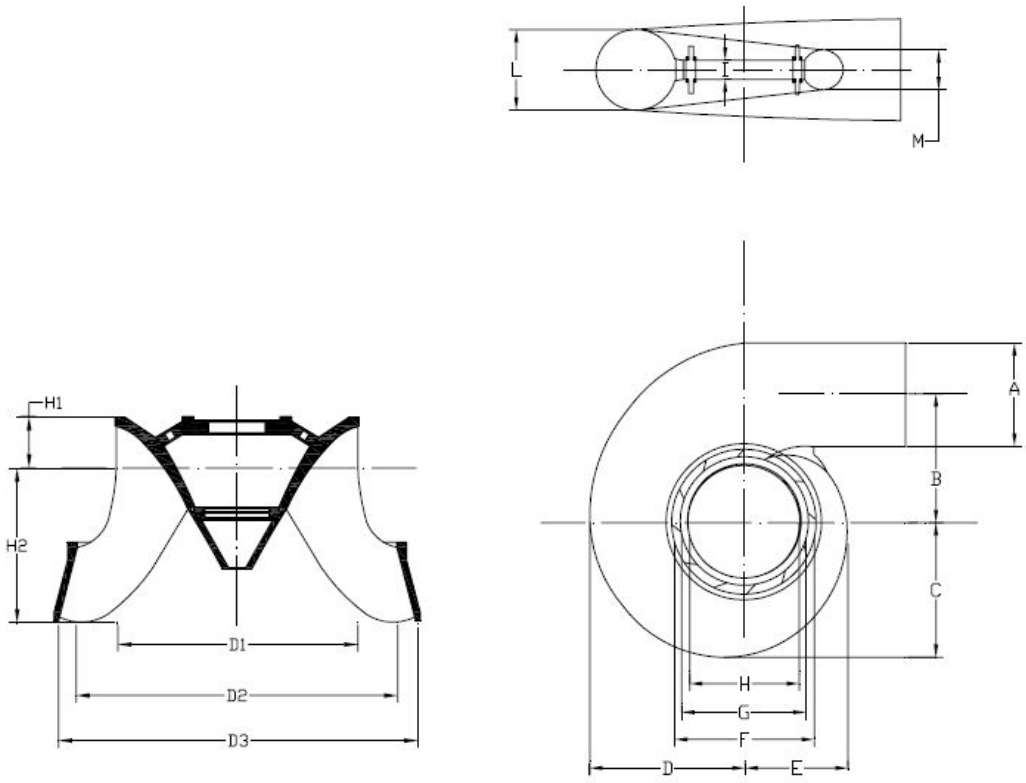



**Ilustración 3: Nomenclatura de las diferentes partes del rodete y la cámara espiral.**

**a) Dimensionamiento del rodete.** Se obtiene el coeficiente de velocidad periférica $K_u$ con la siguiente expresión:

$$k_u = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n}{60 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}};$$

Dónde:

$D_3$ es el diámetro de salida o descarga de la turbina.

$n$ es la velocidad de sincronismo.

De la ecuación anterior se puede despejar el diámetro $D_3$, una vez se han remplazado los valores constantes:

$$D_3 = \frac{84.5 \cdot k_u \cdot \sqrt{H_n}}{n};$$

Sabiendo que el coeficiente de velocidad periférica se relaciona con la velocidad especifica según la siguiente ecuación:

$$k_u = 0.31 + 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot n_s = 1{,}3225;$$

Una vez obtenido $k_u$ el valor de $D_3$ es 1,20 m.

Las otras dimensiones se obtienen en función de la velocidad específica referidas al diámetro $D_3$:

$$\frac{D_1}{D_3} = 0{,}4 + \frac{94{,}1}{n_s};\ D_1 = 0{,}75\ m;$$

$$\frac{D_2}{D_3} = \frac{1}{0{,}96 + 0{,}00038 \cdot n_s};\ D_2 = 1\ m;$$

$$\frac{H_1}{D_3} = 0{,}0094 + 0{,}00025 \cdot n_s;\ H_1 = 0{,}10\ m;$$

$$\frac{H_2}{D_3} = \frac{1}{3{,}16 - 0{,}0013 \cdot n_s};\ H_2 = 0{,}45\ m;$$

**b) Dimensiones de la cámara espiral del tubo de aspiración.** Las principales dimensiones de la cámara espiral se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones, obtenidas como función de la velocidad específica y referidas al diámetro $D_3$.

$$\frac{A}{D_3} = 1{,}2 - \frac{19{,}56}{n_s}; A = 1{,}35\ m;$$

$$\frac{B}{D_3} = 1{,}1 + \frac{54{,}8}{n_s}; B = \ 1{,}45$$

$$\frac{C}{D_3} = 1{,}32 + \frac{49{,}25}{n_s}; C = \ 1{,}7\ m$$

$$\frac{D}{D_3} = 1{,}5 + \frac{48{,}8}{n_s}; D = \ 1.95\ m;$$

$$\frac{E}{D_3} = 0{,}98 + \frac{63{,}60}{n_s}; E = \ 1{,}35\ m;$$

$$\frac{F}{D_3} = 1 + \frac{131{,}4}{n_s}; F = 1{,}59\ m;$$

$$\frac{G}{D_3} = 0{,}89 + \frac{96{,}5}{n_s}; G = \ 1{,}35\ m;$$

$$\frac{H}{D_3} = 0{,}79 + \frac{81{,}75}{n_s}; H = 1{,}20\ m;$$

$$\frac{I}{D_3} = 0{,}1 + 0{,}00065 \cdot n_s; I = \ 0{,}44\ m;$$

$$\frac{L}{D_3} = 0{,}88 + 0{,}00049 \cdot n_s; L = 1{,}29\ m;$$

$$\frac{M}{D_3} = 0{,}6 + 0{,}000015 \cdot n_s; M = \ 0{,}73\ m;$$

$$\frac{N}{D_3} = 1{,}54 - \frac{203{,}5}{n_S}; N = 1{,}20\ m;$$

$$\frac{O}{D_3} = 0{,}83 + \frac{140{,}7}{n_S}; O = 1{,}41\ m;$$

$$\frac{P}{D_3} = 1{,}37 - \frac{n_S}{1785{,}7}; P = 1{,}37\ m;$$

$$\frac{R}{D_3} = 0{,}58 + \frac{22{,}6}{n_S}; R = 0{,}76\ m;$$

$$\frac{S}{D_3} = \frac{1}{0{,}4 - \frac{9{,}28}{n_S}}; S = 3{,}20\ m;$$

$$\frac{T}{D_3} = 1{,}5 + \frac{n_s}{5263{,}2}; T = 1{,}8\ m;$$

$$\frac{V}{D_3} = 0.58 + \frac{53{,}69}{n_s}; V = 0{,}86\ m;$$

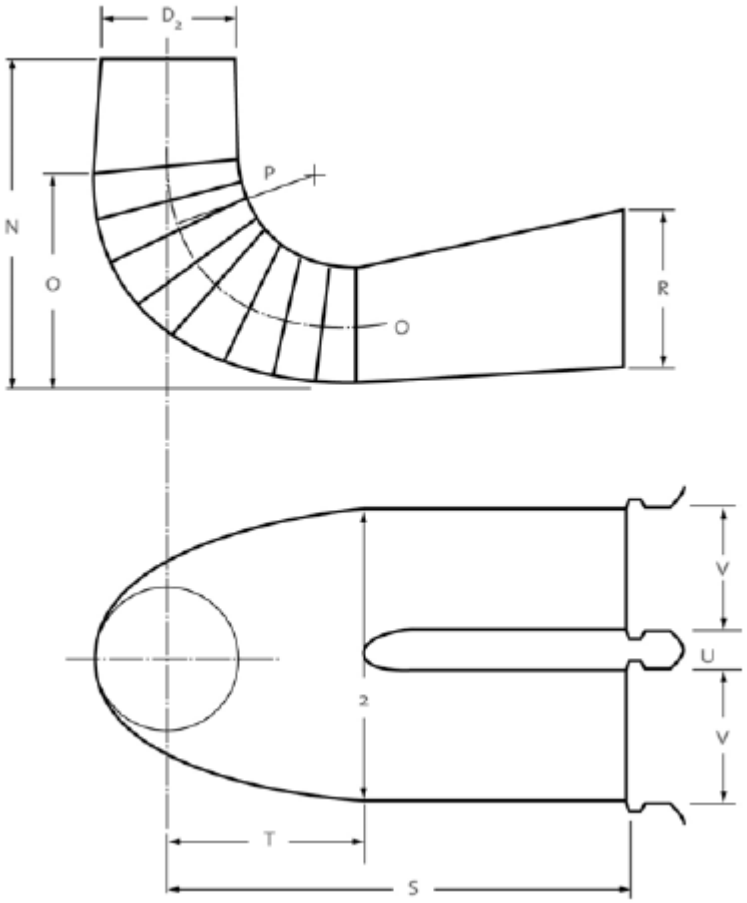



Ilustración 4: Dimensiones principales del tubo de aspiración.

c) **Altura máxima de colocación del tubo de aspiración.** La altura máxima a la que se podrá instalar la salida del agua de la turbina hidráulica respecto al nivel máximo del agua en la descarga es:

$$H_{max} = H_{atm} - H_{vap} - \sigma_T \cdot H_{neto};$$

La instalación de una mayor altura en el tubo de aspiración lleva aparejado el riesgo de que la turbina cavite, lo que puede provocar daños en los alabes. Debido a esto, es necesario asegurar que la instalación del tubo de aspiración sea correcta. Para las turbinas Francis, se define:

$$\sigma_T = 7{,}54 \cdot 10^{-5} \cdot n_s^{1{,}41} = 0{,}31;$$

$$H_{atm} = 10{,}2\ m.c.a.$$

$$H_{vap} = 0{,}061\ m$$

Por tanto $H_{max}$ es igual a 0,53 m.

## 2.3.Espesor de la tubería forzada.

### 2.3.1. Introducción.

El espesor a emplear en la tubería forzada depende de la presión a la que está sometida, y las características del material del que está formada. En este caso, al emplearse acero, habrá un exceso de espesor también para prever el efecto de la corrosión. Habrá que tener en cuenta también las sobrepresiones por golpe de ariete, en caso de que estas se produzcan.

### 2.3.2. Espesor mínimo.

La presión máxima que la tubería forzada debe aguantar estará producida en la parte más cercana a la turbina, al ser su cota la más baja.

La presión que se va a considerar es la correspondiente a la altura bruta, con un coeficiente de mayoración del 20%. Dicha altura son 47 m, que mayorada suponen 56 m.

A esta altura le corresponde la siguiente presión:

$$P_{max} = \rho \cdot g \cdot H_{max} = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 56 = 549360\ Pa$$

El espesor de la tubería forzada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_f \cdot k_f} + e_s;$$

Siendo:

- P la presión.
- D el diámetro de la tubería forzada, en nuestro caso 0,85 m.
- $\sigma_f$ la resistencia a la tracción del material, 137,2 $137{,}2 \cdot 10^6 N/m^2$
- $k_f$ el coeficiente de eficiencia de uniones soldadas, cuyo valor más desfavorable es 0,9.
- $e_s$ el sobreespesor que se va a añadir para tener en cuenta la corrosión a la que se expone la tubería, se le va añadir 1 mm.

La ecuación da el siguiente resultado:

$$e = 2{,}9\ mm;$$

Se aproximara a 3 mm.

### 2.3.3. Golpe de ariete.

El golpe de ariete se produce ante cambios bruscos en el flujo de agua, por ejemplo el cierre instantáneo de una válvula, el resultado de esto es una onda de sobrepresión que puede dañar a la tubería forzada si esta no tiene el espesor adecuado. Esta onda viaja por la tubería a una velocidad:

$$c = \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot K}{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot T}}};$$

Dónde:

- c es la velocidad de propagación de la onda.
- K es el módulo de elasticidad del fluido, que en el caso del agua vamos a tomar como valor $K = 2{,}1 \cdot 10^9\ {}^{N}/_{m^2}$;
- D es el diámetro interior de la tubería forzada.
- E es el módulo de elasticidad del material que compone la tubería forzada, en el caso del acero: $E = 206 \cdot 10^9\ {}^{N}/_{m^2}$;
- T es el espesor de la tubería forzada.

De la ecuación anterior obtenemos que $c = 734{,}8979\ {}^{m}/_{s}$; Una vez obtenemos la velocidad de propagación procedemos a calcular el tiempo crítico, que es el que tarda la onda de presión en recorrer en ambos sentidos la tubería. La ecuación es la siguiente:

$$T_{cri} = \frac{2 \cdot L}{c};$$

- L es la longitud de la tubería forzada, 154 m.
- c es la velocidad de propagación de la onda.

De la ecuación anterior se obtiene $T_{cri} = 0{,}42\ s$.

Normalmente se desprecia el efecto del golpe de ariete si el tiempo crítico es diez veces menor al tiempo de cierre de la válvula. Dado que normalmente una válvula de este tamaño tarda alrededor de 5 segundos en cerrarse completamente, se desprecia definitivamente, por lo que no será necesario tener en cuenta la sobrepresión debida a este efecto ni habrá que considerar instalar una chimenea de equilibrio.

### 2.4.Válvula de mariposa.

La válvula de mariposa funciona según lo descrito en la memoria descriptiva del presente proyecto. La que se empleara es de la marca PREZASA, con un diámetro interno de 0,85, coincidente con el de la tubería.

## 3. Cálculos Eléctricos.

### 3.1.El generador.

- **Tipo:** Síncrono
- **Marca:** Cummins Generator Technologies.
- **Referencia:** AvK_DSG114
- **Fases:** 3
- **Potencia Aparente:** 2000 kVA
- **Potencia activa:** 1600 kW
- **Tensión:** 400-660 V.
- **Frecuencia:** 50 Hz.
- **Nº de Polos:** 6
- **Rotor:** Bobinado
- **Tipo de Excitación:** sin escobillas, con tecnología estática.
- **Velocidad nominal o de sincronismo:** 500 r.p.m.
- **Clase de calentamiento:** H
- **Altitud** < 1000 m.
- **Tª ambiente de entrada del aire:** 85º
- **Grado de protección:** IP 23
- **Construcción:** Paralelo al eje de la turbina.
- **Método de refrigeración:** IC-21
- **Nivel de ruido:** CEI 34,9
- **Nivel de vibraciones:** CEI 32.14

### 3.1.1. Excitación del generador.

La excitación de la maquina síncrona se compone de un rectificador controlado alimentado por la tensión y la corriente de la máquina. Se trata de un rectificador controlado totalmente por el autómata para así poder controlar la tensión de salida en todo momento, es decir es una parte importantísima del lazo de control del AVR.

## 3.2.Calculo de los elementos auxiliares.

### 3.2.1. Motor limpia rejas.

Potencia del motor: 3 kW;

Tensión de alimentación: 400 V;

Caída de tensión máxima: 5 % (20 V);

Cos φ: 0,85;

Distancia: 154 m

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot cos\varphi} = 5{,}1\ A;$$

$$S = \frac{I \cdot L \cdot cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot \rho}{\Delta V} = 1{,}03\ mm^2$$

Siendo ρ la resistividad del cobre a 20º igual a 0,0175 Ωmm²/m.

La sección normalizada que le corresponde es 1,5 mm², aunque nos iremos a la siguiente sección 2,5 mm², para que los picos de arranque del motor no puedan incurrir en problemas en el conductor.

### 3.2.2. Bomba de Achique.

Potencia del motor: 5 kW;

Tensión de alimentación: 400 V;

Caída de tensión máxima: 5 % (20 V);

Cos φ: 0,85;

Distancia: 25 m

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot cos\varphi} = 8{,}5\ A;$$

$$S = \frac{I \cdot L \cdot cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot \rho}{\Delta V} = 0{,}3\ mm^2$$

Siendo ρ la resistividad del cobre a 20º igual a 0,0175 Ωmm²/m.

La sección normalizada que le corresponde es 1,5 mm², aunque nos iremos a la siguiente sección 2,5 mm², para que los picos de arranque del motor no puedan incurrir en problemas en el conductor.

### 3.2.3. Excitación Generador Síncrono.

La excitación del alternador será alimentada con una parte de la energía generada, y en un primer instante será dada por baterías. La potencia de excitación esta entre el 0,1y el 0,3% de la potencia del generador, por lo que en el peor de los casos será de 4,8 kW.

### 3.2.4. Iluminación sala de máquinas.

La iluminación exterior de la minicentral está constituida por 8 focos. Cada foco tendrá una potencia de 0,5 kW.

Potencia iluminación: 8·0,5= 4 kW;

Tensión de alimentación: 230 V;

Caída de tensión máxima: 5 % (11,5 V);

Cos φ: 0,9;

Distancia: 160 m (el que se encuentra en la cabecera)

$$I = \frac{P}{V \cdot cos\varphi} = 19{,}32\ A;$$

$$S = \frac{I \cdot L \cdot cos\varphi \cdot \rho}{\Delta V} = 4{,}23\ mm^2$$

Siendo ρ la resistividad del cobre a 20º igual a 0,0175 Ωmm²/m.

La sección normalizada que le corresponde es 6 mm.

La iluminación de la caseta de máquinas estará formada por pantallas estancas de 2x36 W junto con dos pantallas de emergencia de 315 lúmenes, por lo que se alimentaran con conductor de sección 1,5, ya que la potencia que absorben es mínima.

### 3.2.5. Otros Usos.

En la caseta de máquinas se distribuirán dos cuadros estancos, los cuales albergaran 3 enchufes trifásicos y 2 monofásicos, la potencia que se le ha estimado a estos es de 5kW cada cuadro, por lo que se alimentaran con conductor de 6 mm².

### 3.2.6. Servicio de Alimentación Ininterrumpida.

Al tratarse de una minicentral aislada, en caso de que la central deje de funcionar por diferentes causas, se debe garantizar el suministro de los servicios mínimos de la minicentral (bomba de achique, controlador, iluminación de emergencia, excitación generador, válvulas de regulación). Para ello se ha decidido colocar en la misma un SAI en paralelo con la alimentación con el cuadro de baja tensión, el cual da alimentación a todos los elementos de la minicentral. Este contara con una autonomía de 24 h. En previsión de que las averías puedan ser de más tiempo, la central cuenta con una pequeña instalación solar que dará alimentación al SAI y que así la autonomía del mismo se prolongue en el tiempo.

## 3.3.Cuadro de regulación y control.

Este cuadro alimentado en trifásica a 400 V es el corazón de la central. Está dividido en una celda de entrada de potencia con un interruptor/seccionador automático, diferencial, fusible de protección y embarrado.

El modulo anexo alberga todos los relés y conductores de accionamiento de los servicios de la Minicentral como: bombas de achique, válvulas, central oleo-hidráulica, etc.,

Finalmente como cerebro de la central en un módulo adyacente se encuentra el autómata de control, quien se encarga de controlar de forma automática la minicentral. Como ya se dijo en la memoria descriptiva toda la parte de control pertenece a la arquitectura Hydro Plant Control de Alstom.

## 3.4. Puesta a tierra.

La puesta a tierra de la central, irá conectada a las partes metálicas de las carcasas de los cuadros de control y maniobra, así como a la carcasa del generador. Esta se efectuará con picas de acero cobrizado, de 2 m de longitud que serán registrables por medio de arquetas, el conductor de unión será de 50 mm² de sección de cobre desnudo. La resistencia de disipación de puesta a tierra tendrá un valor inferior a 10 Ω.

Según las instrucciones ITC-BT-18 y ITC-BT-24 queda prohibido conectar en serie las masas y elementos metálicos, con lo que el circuito de puesta a tierra formará una línea continua. Siempre la conexión de las masas y elementos metálicos al circuito de puesta a tierra se efectuará por derivación de este.

Según la instrucción ITC-BT-18 el valor de la resistencia a tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V, en locales conductores, y 50 V en los demás casos.

Para cumplir con esta diferencia de potencial máxima y siguiendo con las instrucciones de la ITC-BT-18 fijamos la resistividad del terreno como 500 Ω con lo que la longitud del electrodo a meter en tierra para obtener una resistencia menor a 10 Ω se calcula:

$$R = \frac{C}{L}; L = \frac{C}{R} = \frac{500}{10} = 50\ m;$$

Siendo C la resistividad del terreno, R la resistencia que pretendemos conseguir y L la longitud de la pica o del conductor.

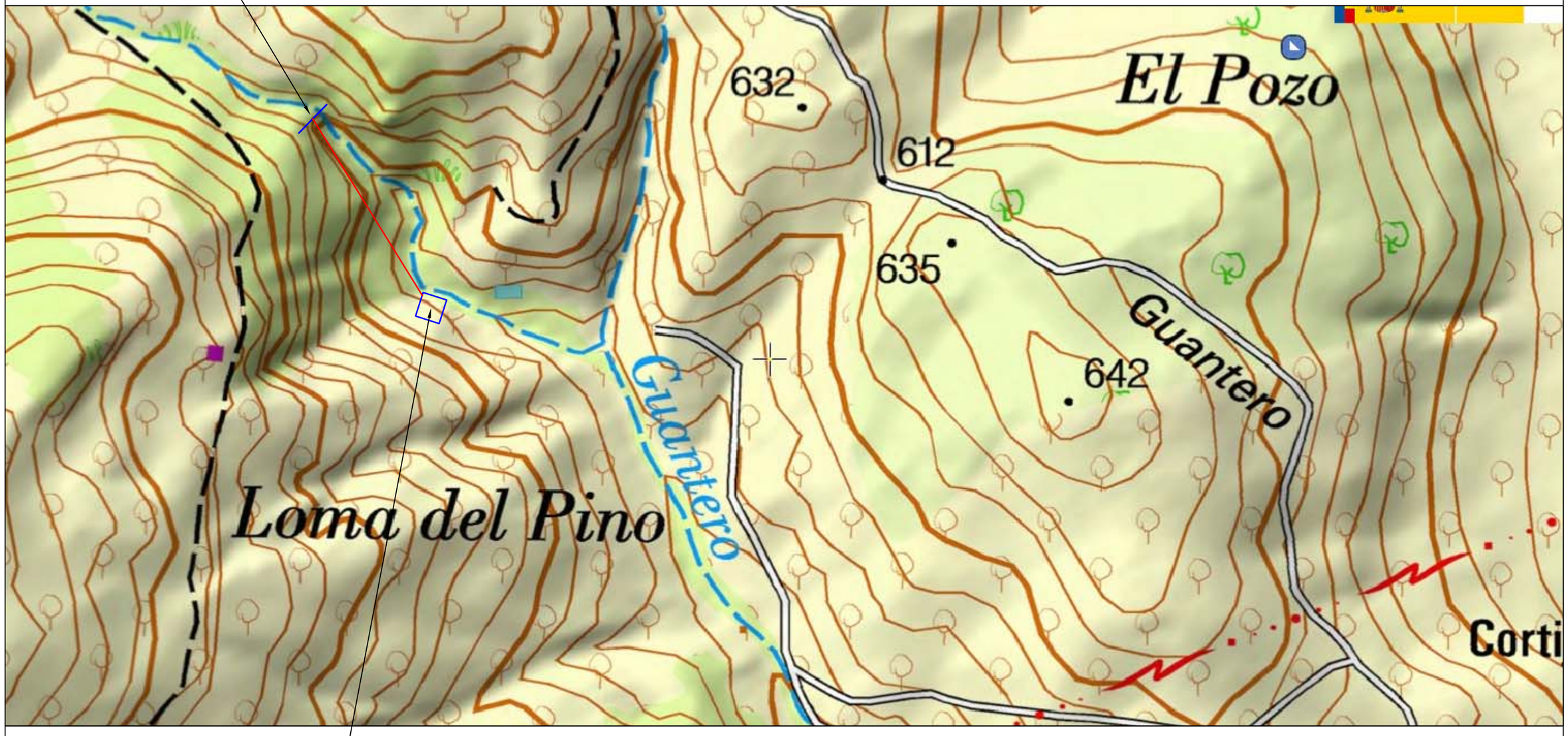
Para la puesta a tierra de la sala de máquinas de la Minicentral distribuiremos uniformemente 20 picas de 2,5 metros de longitud de acero cobrizado.

# PLANOS

| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |
|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | |
| Comprobado | | | | |
| | | | | |

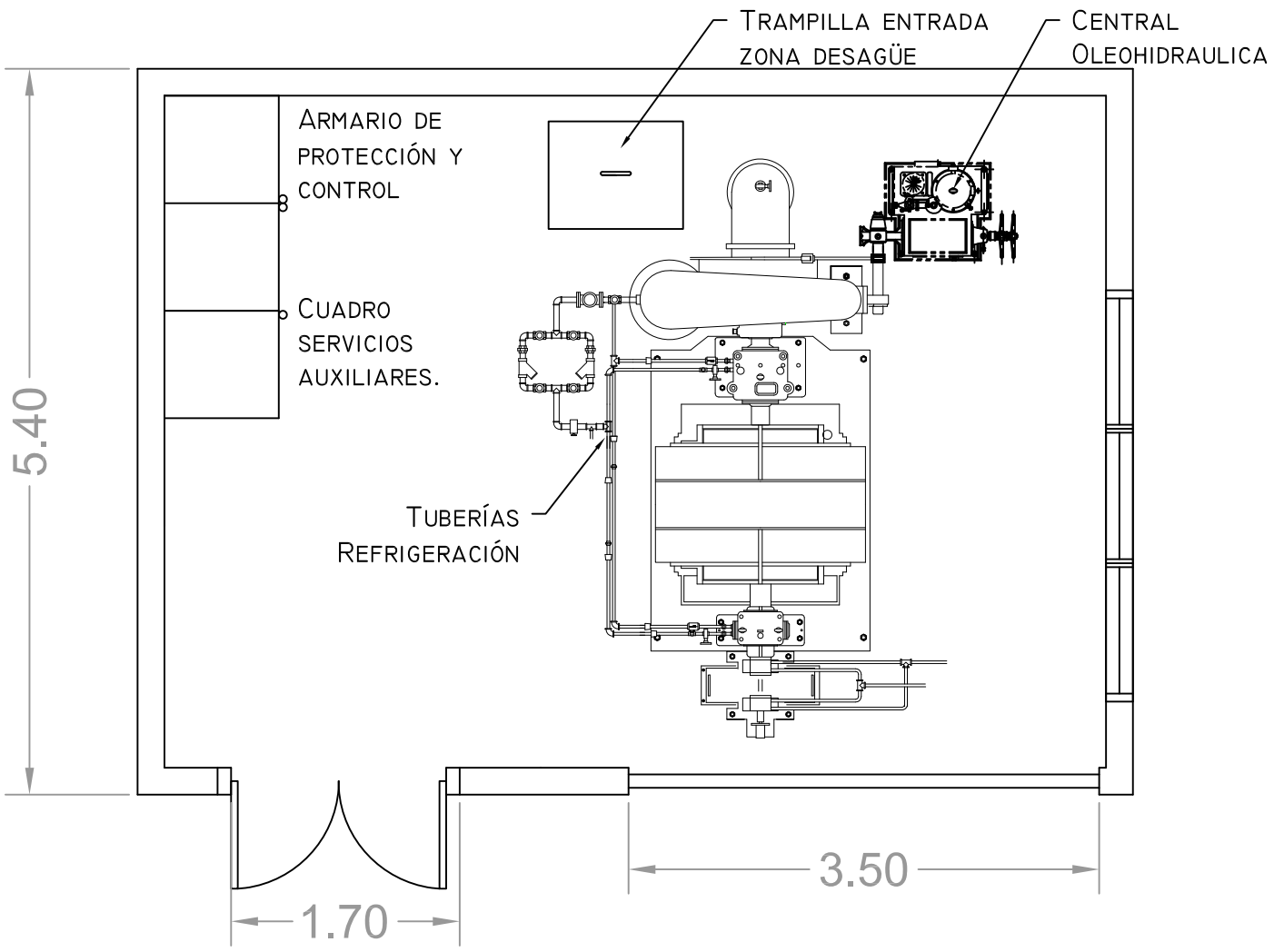
| Escala : S/E | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Situación y Emplazamiento del Proyecto | Nº Plano : 1 |
|---|---|---|
| | | Sustituye a : |
| | | Sustituido por : |

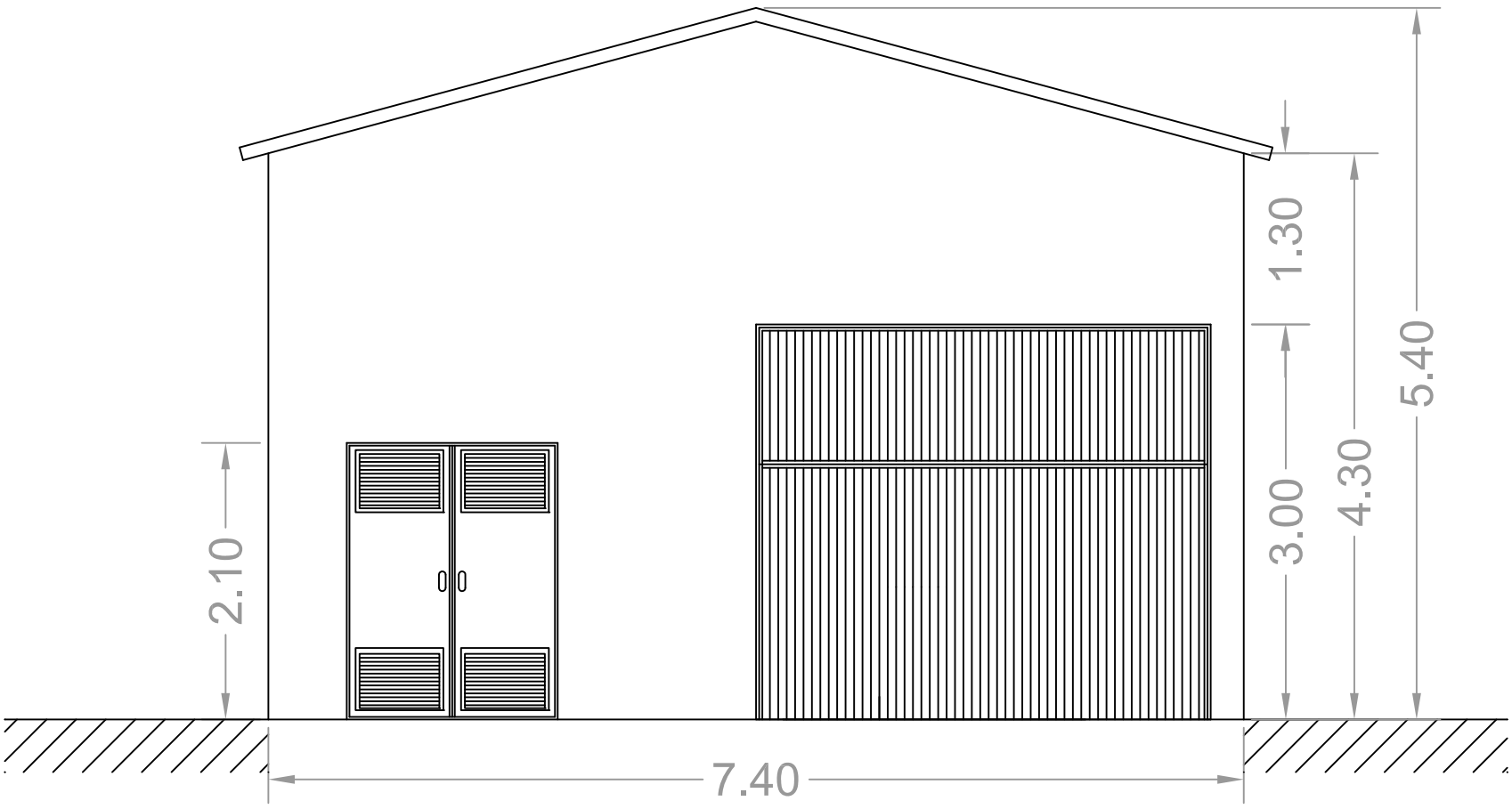
SITUACION AZUD




SITUACIÓN CASA DE MÁQUINAS

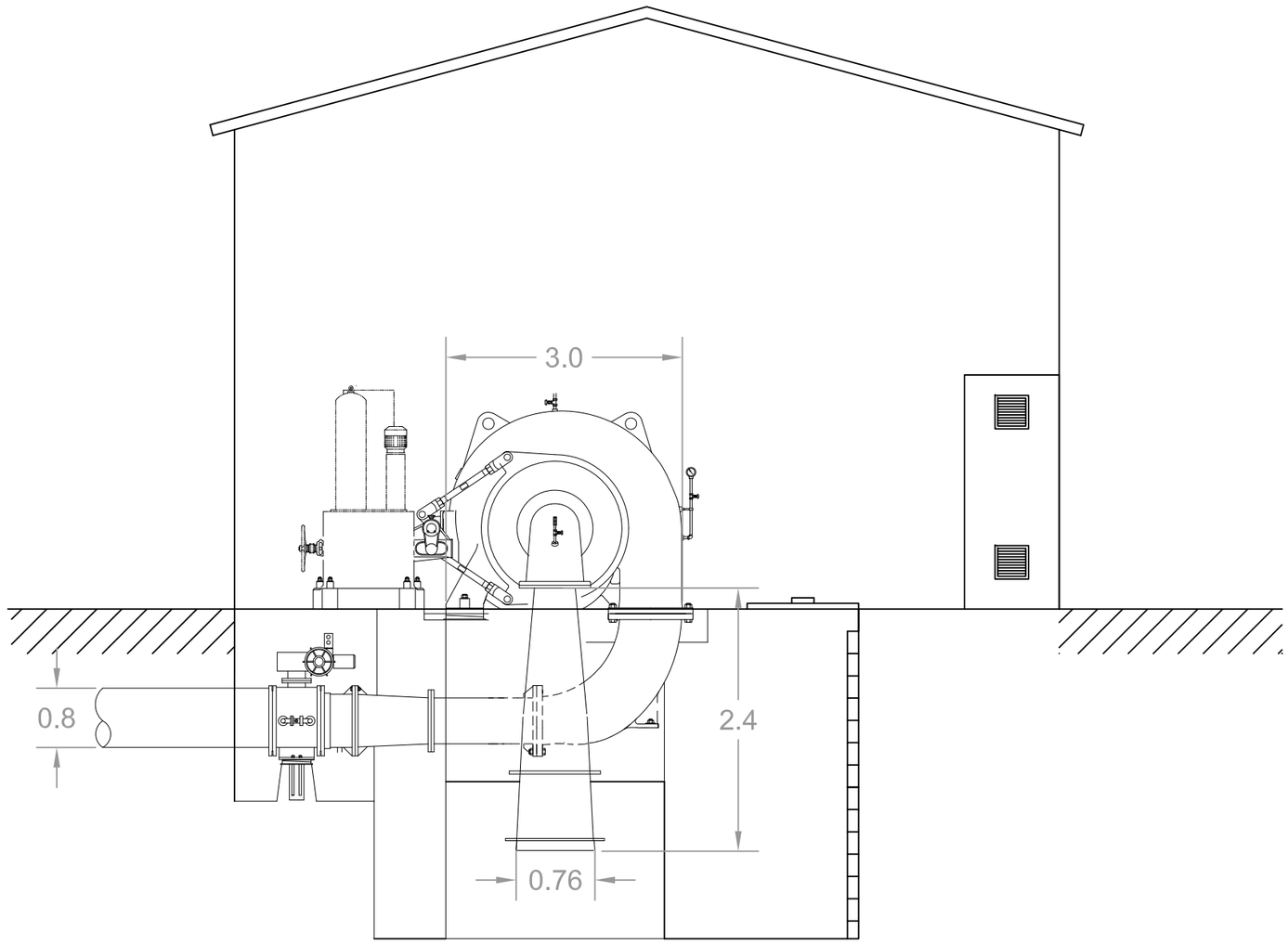
| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | | |
| Comprobado | | | | | |
| | | | | | |
| Escala : S/E | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Vista Topográfica Paraje Tajos del Guantero | | | | Nº Plano : 2 |
| | | | | | Sustituye a : |
| | | | | | Sustituido por : |



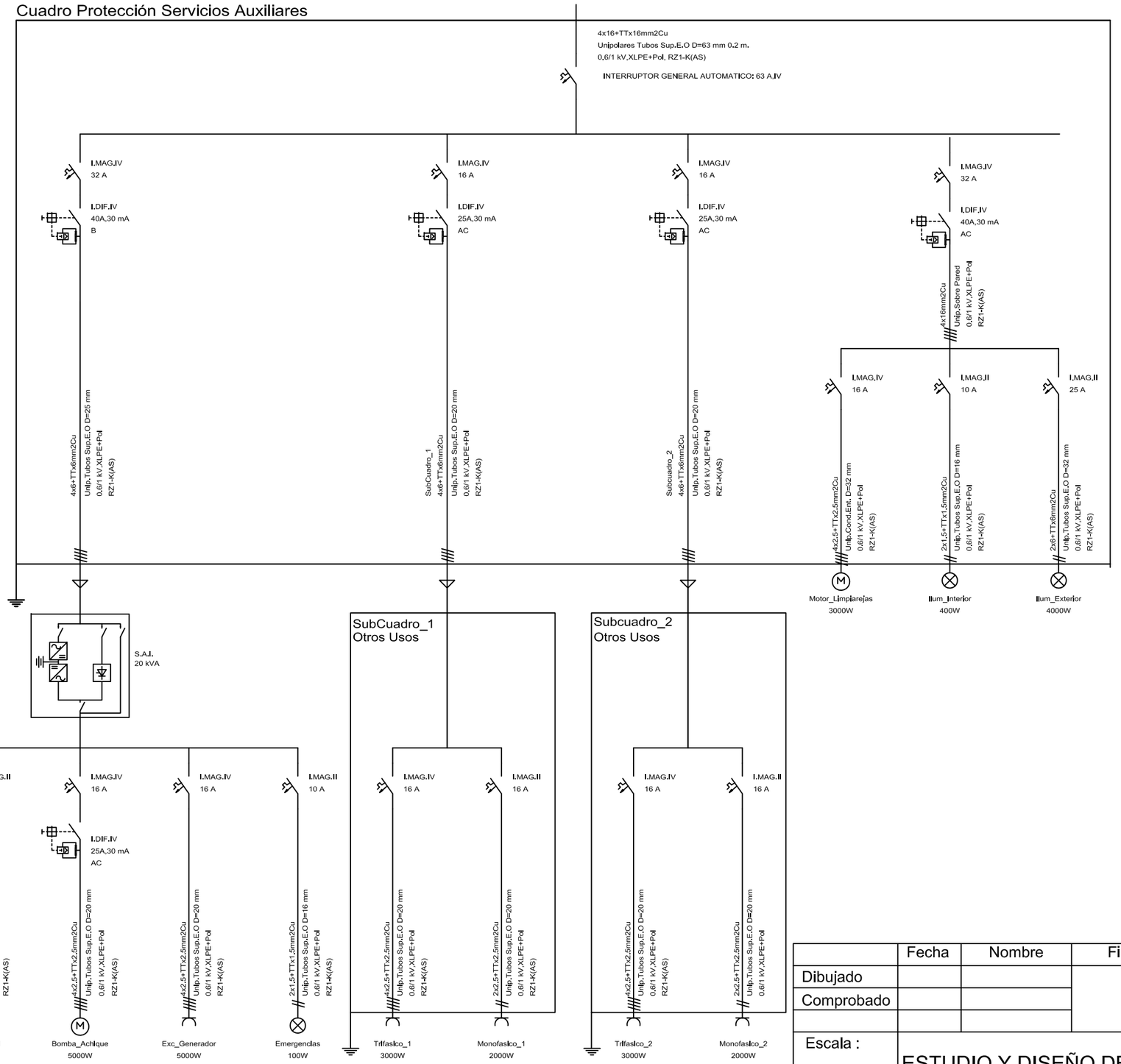

| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |
|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | |
| Comprobado | | | | |
| | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Escala : 1:50 | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Caseta de Máquinas | Nº Plano : 3<br>Sustituye a :<br>Sustituido por : |



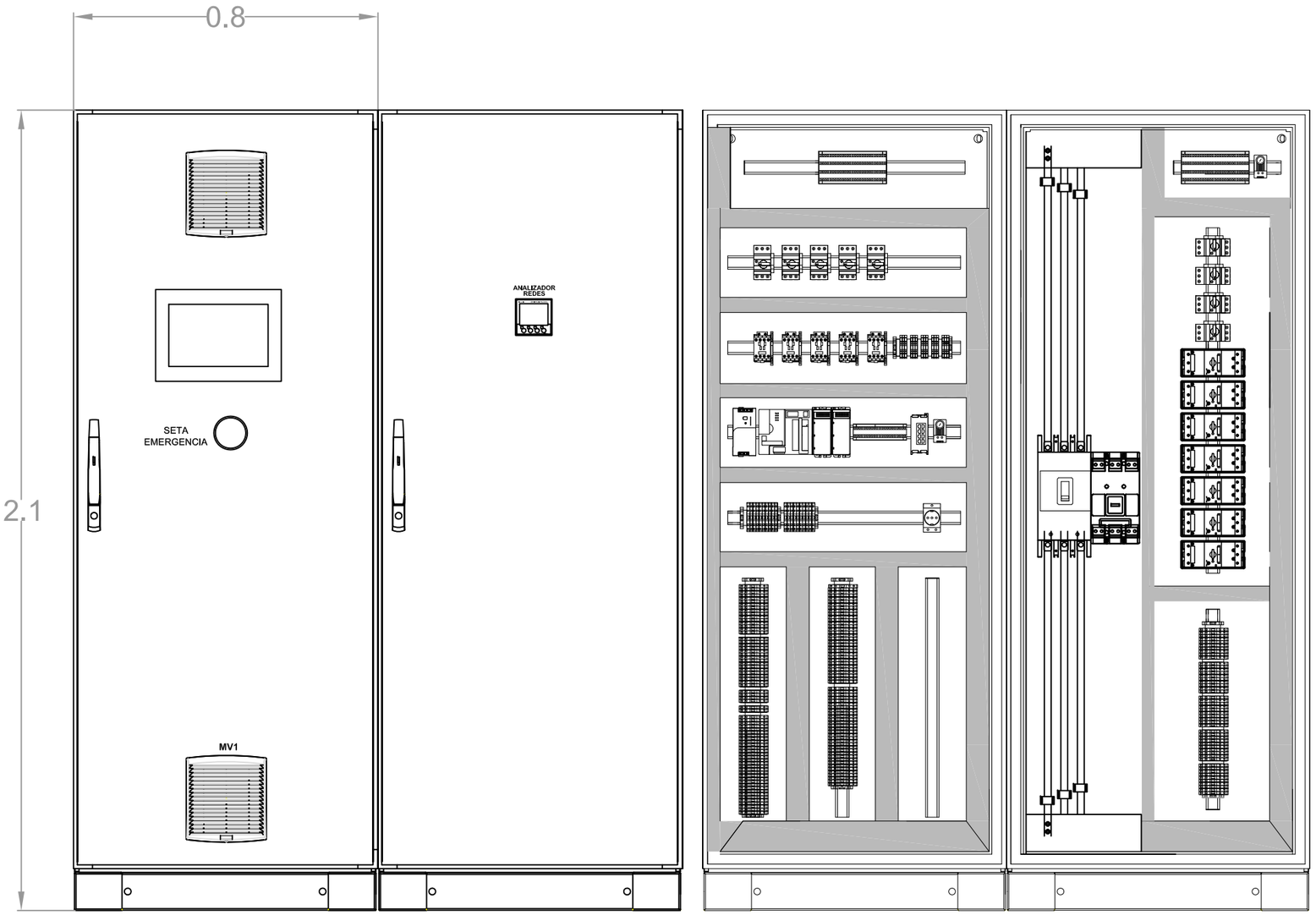

| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | | |
| Comprobado | | | | | |
| | | | | | |
| Escala : 1:50 | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Detalle zona desagüe y entrada de caudal a la turbina | | | Nº Plano : 4 | |
| | | | | Sustituye a : | |
| | | | | Sustituido por : | |

## Cuadro Protección Servicios Auxiliares

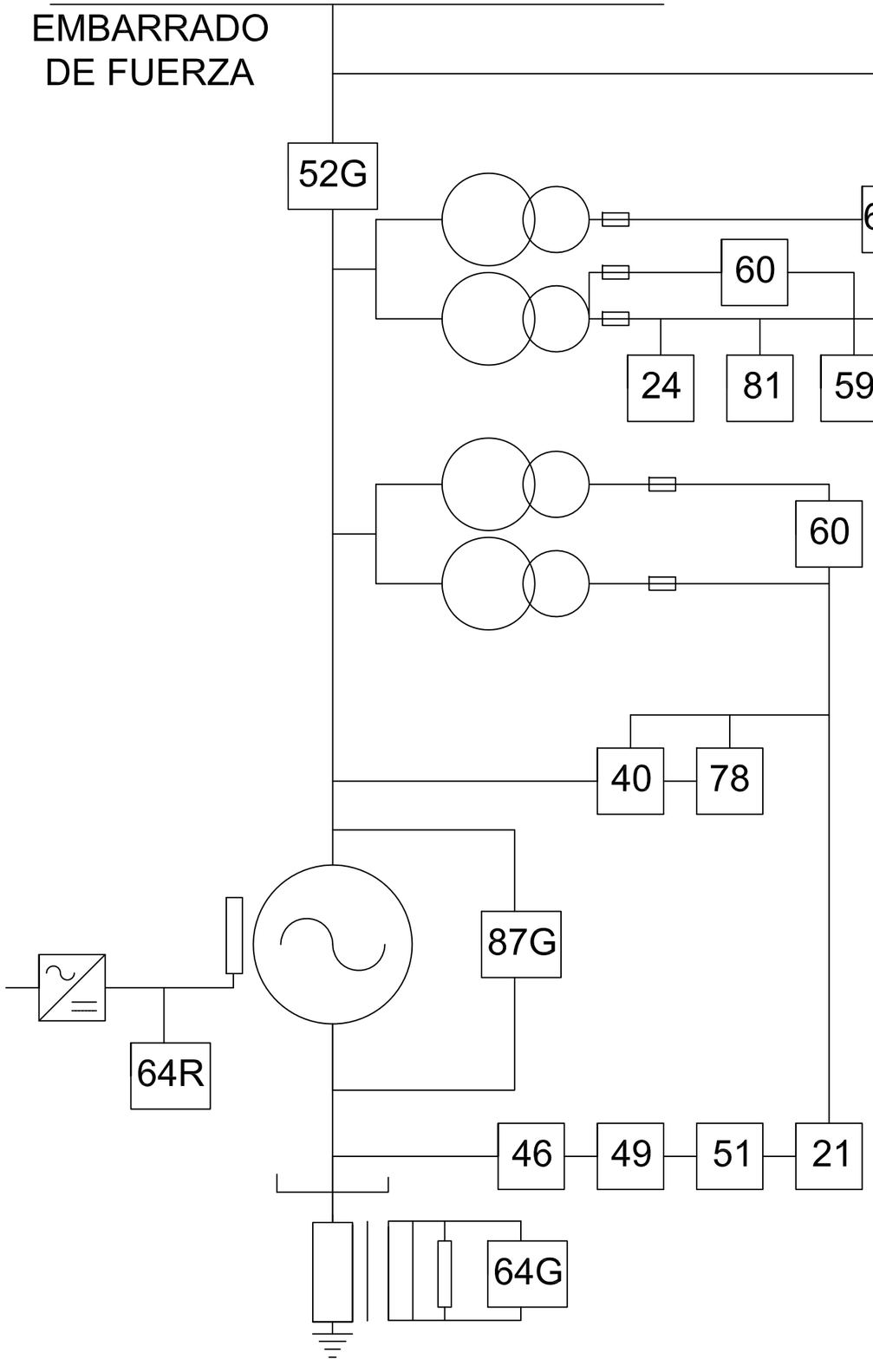



| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |
|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | |
| Comprobado | | | | |
| | | | | |

| Escala : | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Esquema Unifilar Servicios Auxiliares | Nº Plano : 5 |
|---|---|---|
| | | Sustituye a : |
| | | Sustituido por : |



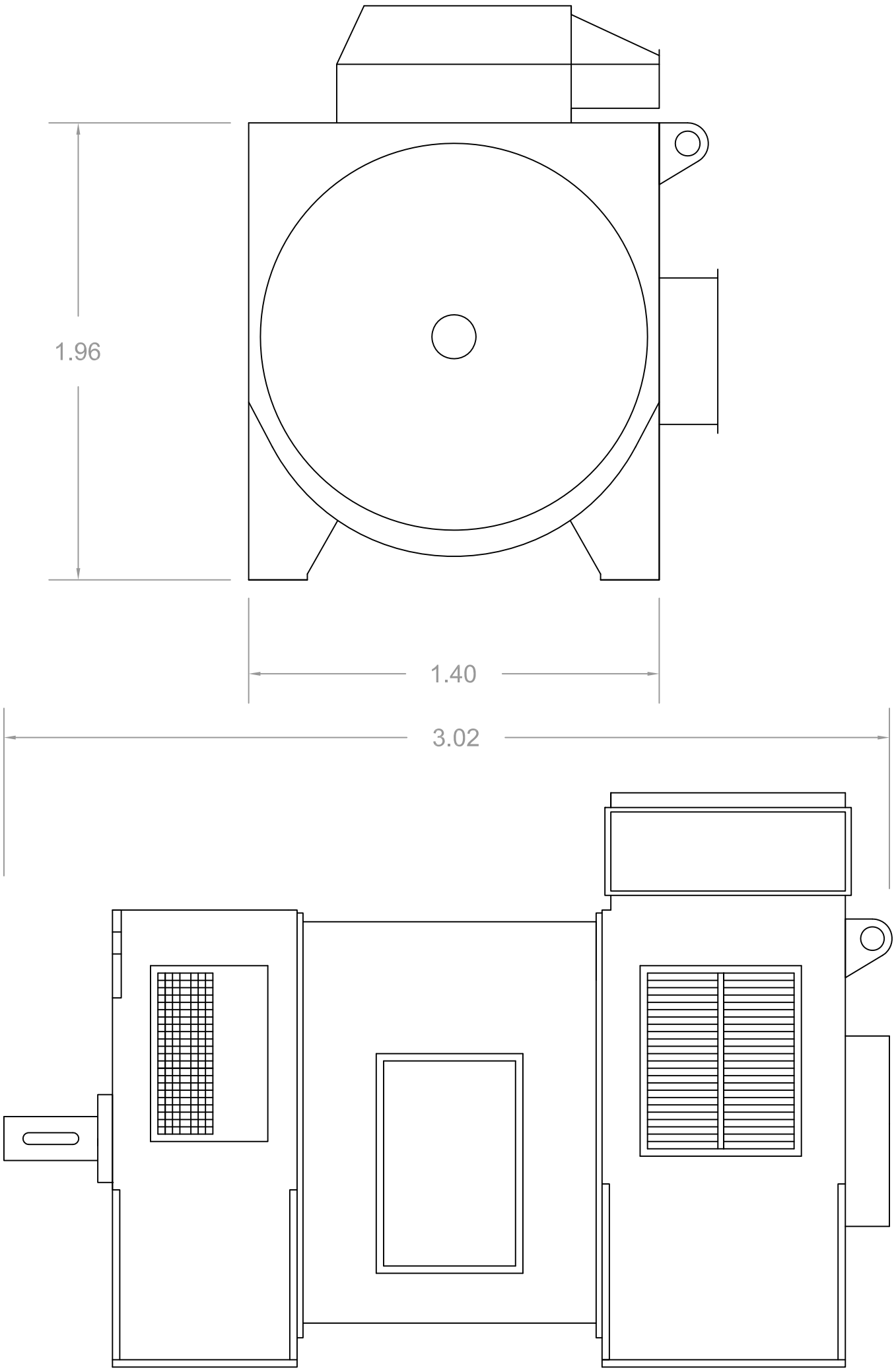

| | Fecha | Nombre | Firmas | |
|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |
| Comprobado | | | | |
| | | | | |
| Escala : 1:200 | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Topográfico armario de protección y control | | | Nº Plano : 6 |
| | | | | Sustituye a : |
| | | | | Sustituido por : |




| FUNCIÓN ANSI/IEEE | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| 87G | PROTECCIÓN DIFERENCIAL DEL GENERADOR |
| 64G | PROTECCIÓN DE FALTA A TIERRA DEL ESTATOR |
| 64R | PROTECCIÓN DE FALTA A TIERRA DEL ROTOR |
| 64B | PROTECCIÓN DE FALTA A TIERRA DE BARRAS |
| 46 | PROTECCIÓN CONTRA SECUENCIA INVERSA CORRIENTES |
| 49 | PROTECCIÓN SOBRECARGA TÉRMICA DEL GENERADOR |
| 51 | PROTECCIÓN SOBREINTENSIDAD DE FASE |
| 40 | PROTECCIÓN CONTRA PERDIDA DE EXCITACIÓN |
| 78 | PERDIDA DE SINCRONISMO |
| 60 | PERDIDA DE SUPERVISIÓN DE TRAFOS DE TENSIÓN |
| 24 | PROTECCIÓN DE SOBREEXCITACIÓN |
| 81 | PROTECCIÓN DE FRECUENCIA |
| 59 | PROTECCIÓN DE SOBRETENSION DE FASE |
| 27B | PROTECCIÓN DE MÍNIMA TENSIÓN |
| 52G | INTERRUPTOR SECCIONADOR |

| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |
|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | |
| Comprobado | | | | |
| | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Escala : S/N | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Esquema de Protecciones | Nº Plano : 7<br>Sustituye a :<br>Sustituido por : |




| | Fecha | Nombre | Firmas | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |
|---|---|---|---|---|
| Dibujado | | | | |
| Comprobado | | | | |
| | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| Escala : 1:25 | ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA<br>Generador | Nº Plano : 8<br>Sustituye a :<br>Sustituido por : |

# MEDICIONES Y PRESUPUESTO

[redacted]
Grado en Ingeniería Eléctrica

# INDICE

1. **Mediciones. ..... 2**
2. **Precios Unitarios. ..... 3**
3. **Sumas Parciales. ..... 4**
4. **Presupuesto General. ..... 5**

# 1. Mediciones.

| Concepto | Cantidad | Unidad |
|---|---|---|
| **Azud** | 1 | Ud. |
| Hormigón HA-25 | 9 | m³ |
| Acero Corrugado 500 S | 1300 | kg |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1 | Ud |
| **Cámara de Carga** | 1 | Ud. |
| Hormigón HA-25 | 3 | m³ |
| Acero Corrugado 500 S | 450 | kg |
| Reja | 1 | Ud. |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1 | Ud. |
| **Tubería Forzada** | 1 | Ud. |
| Tubería de Acero Laminado | 160 | m |
| Hormigón HA-25 | 200 | m³ |
| Accesorios (empalmes, abrazaderas, tapas registro, etc.,) | 1 | Ud. |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1 | Ud. |
| **Válvulas** | 1 | Ud. |
| Válvula de Compuerta | 1 | Ud. |
| Válvula de Mariposa | 1 | Ud. |
| **Caseta de Maquinas** | 1 | Ud. |
| Acondicionamiento del solar y destierro | 45 | h |
| Hormigón HA-25 | 34 | m³ |
| Acero Corrugado 500 S | 2000 | kg |
| Placas Prefabricadas de Hormigón | 14 | Ud. |
| Acero Estructural | 1800 | kg |
| Chapa Tipo Sandwich | 28 | m² |
| Carpintería Metálica (Portón, Puerta y Ventanas) | 1 | Ud. |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1 | Ud. |
| **Grupo Oleo-Hidráulico** | 1 | Ud. |
| **Turbina Francis** | 1 | Ud. |
| **Generador** | 1 | Ud. |
| **Control y Mando** | 1 | Ud. |
| **Ingeniería** | 450 | h |
| **Mano de Obra** | 2400 | h |
| **Gastos Varios (Transporte de materiales, seguros, cambios en los precios materiales, legalización, etc.,)** | 12 | % (Total) |

## 2. Precios Unitarios.

| Concepto | Precio | |
|---|---|---|
| **Azud** | | |
| Hormigón HA-25 | 55 | €/m³ |
| Acero Corrugado 500 S | 1,2 | kg |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 2000 | |
| **Cámara de Carga** | | |
| Hormigón HA-25 | 55 | €/m³ |
| Acero Corrugado 500 S | 1,2 | €/kg |
| Reja | 350 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1200 | € |
| **Tubería Forzada** | | |
| Tubería de Acero Laminado | 9 | €/m |
| Hormigón HA-25 | 55 | €/m³ |
| Accesorios (empalmes, abrazaderas, tapas registro, etc.,) | 1300 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 4000 | € |
| **Válvulas** | | |
| Válvula de Compuerta | 23669 | € |
| Válvula de Mariposa | 27945 | € |
| **Caseta de Maquinas** | | |
| Acondicionamiento del solar y destierro | 80 | €/h |
| Hormigón HA-25 | 55 | €/m³ |
| Acero Corrugado 500 S | 1,2 | €/kg |
| Placas Prefabricadas de Hormigón | 800 | € |
| Acero Estructural | 3,1 | €/kg |
| Chapa Tipo Sandwich | 35 | €/m² |
| Carpintería Metálica (Portón, Puerta y Ventanas) | 4000 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 8600 | € |
| **Grupo Oleo-Hidráulico** | **35000** | **€** |
| **Turbina Francis** | **150000** | **€** |
| **Generador** | **200000** | **€** |
| **Control y Mando** | **20500** | **€** |
| **Ingeniería** | 39 | €/h |
| **Mano de Obra** | 34 | €/h |

## 3. Sumas Parciales.

| Concepto | Cantidad | Precio | | Cantidad | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Azud** | 1 | | | **4055** | **€** |
| Hormigón HA-25 | 9 | 55 | €/m³ | 495 | € |
| Acero Corrugado 500 S | 1300 | 1,2 | €/Kg | 1560 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1 | 2000 | | 2000 | € |
| **Cámara de Carga** | 1 | | | **2325** | **€** |
| Hormigón HA-25 | 3 | 55 | €/m³ | 165 | € |
| Acero Corrugado 500 S | 450 | 1,2 | €/kg | 540 | € |
| Reja | 1 | 420 | € | 420 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte, etc.,) | 1 | 1200 | € | 1200 | |
| **Tubería Forzada** | 1 | | | **17740** | **€** |
| Tubería de Acero Laminado | 160 | 9 | €/m | 1440 | € |
| Hormigón HA-25 | 200 | 55 | €/m³ | 11000 | € |
| Accesorios (empalmes, abrazaderas, tapas registro, etc.,) | 1 | 1300 | € | 1300 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte.,) | 1 | 4000 | € | 4000 | € |
| **Válvulas** | 1 | | | **51614** | **€** |
| Válvula de Compuerta | 1 | 23669 | € | 23669 | € |
| Válvula de Mariposa | 1 | 27945 | € | 27945 | € |
| **Caseta de Maquinas** | 1 | | | **29080** | **€** |
| Acondicionamiento del solar y destierro | 45 | 80 | €/h | 3600 | € |
| Hormigón HA-25 | 34 | 55 | €/m³ | 1870 | € |
| Acero Corrugado 500 S | 2000 | 1,2 | €/kg | 2400 | € |
| Placas Prefabricadas de Hormigón | 14 | 800 | € | 11200 | € |
| Acero Estructural | 1800 | 3,1 | €/kg | 5580 | € |
| Chapa Tipo Sandwich | 28 | 35 | €/m² | 980 | € |
| Carpintería Metálica (Portón, Puerta y Ventanas) | 1 | 4000 | € | 4000 | € |
| Montaje (Alquiler de Equipos y Herramientas, Transporte) | 1 | 8600 | € | 8600 | € |
| **Grupo Oleo-Hidráulico** | 1 | **35000** | **€** | **35000** | **€** |
| **Turbina Francis** | 1 | **150000** | **€** | **150000** | **€** |
| **Generador** | 1 | **200000** | **€** | **200000** | **€** |
| **Control y Mando** | 1 | **20500** | **€** | **20500** | **€** |
| **Ingeniería** | 450 | 39 | €/h | **17550** | **€** |
| | | | | 17550 | € |
| **Mano de Obra** | 2400 | 34 | €/h | **81600** | **€** |
| | | | | 81600 | € |

# 4. Presupuesto General.

| Concepto | Importe |
|---|---|
| **Azud** | 4055 € |
| **Cámara de Carga** | 2325 € |
| **Tubería Forzada** | 17740 € |
| **Válvulas** | 51614 € |
| **Caseta de Maquinas** | 29080 € |
| **Grupo Oleo-Hidráulico** | 35000 € |
| **Turbina Francis** | 150000 € |
| **Generador** | 200000 € |
| **Control y Mando** | 20500 € |
| **Ingeniería** | 17550 € |
| **Mano de Obra** | 81600 € |
| **Gastos Varios** | 60581 € |
| **TOTAL (SIN IMPUESTOS)** | 666395 € |
| **I.V.A** | 139943 € |
| **TOTAL IMPUESTOS INCLUIDOS** | 806338 € |

En el presupuesto general del presente proyecto están incluidos fabricación, transporte, mano de obra, montaje, control de calidad e ingeniería para cada uno de los elementos que forman la minicentral. Además se incluyen impuestos, tasas de seguro y mantenimiento de la instalación durante el primer año de operación.

El importe total de la realización del proyecto de aprovechamiento del salto del paraje natural de los Tajos del Guantero mediante una minicentral hidroeléctrica incluyendo impuestos y tasas es de OCHOCIENTOS SEIS MIL TRESCIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS (806338 €).

# ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

[redacted]
Grado en Ingeniería Eléctrica

# Índice

**1 Objeto del Estudio. ..... 3**

**2 Descripción de las Obras. ..... 3**

**2.1 Adecuación de caminos de acceso. ..... 3**

**2.2 Desbroce del Área de Afección. ..... 3**

**2.3 Excavación. ..... 3**

**2.4 Desagües de fondo. ..... 3**

**2.5 Obra Civil. ..... 3**

**2.6 Instalación Eléctrica. ..... 3**

**3 Riesgos. ..... 4**

**3.1 Riesgos Profesionales. ..... 4**

**3.1.1 En excavaciones. ..... 4**

**3.1.2 En sostenimientos. ..... 4**

**3.1.3 En transporte, vertido, extendido y compactación. ..... 4**

**3.1.4 En hormigones. ..... 5**

**3.1.5 En soldaduras. ..... 5**

**3.1.6 Riesgos Eléctricos. ..... 5**

**3.1.7 Riesgo de incendio. ..... 5**

**3.2 Riesgo de daños a terceros. ..... 5**

**4 Prevención de Riesgos Profesionales. ..... 5**

**4.1 Protecciones Individuales. ..... 5**

**4.2 Protecciones Colectivas. ..... 6**

**4.2.1 En excavación. ..... 6**

**4.2.2 En transporte, vertido, extendido, y compactación. ..... 7**

**4.2.3 En hormigones. ..... 7**

**4.2.4 En soldaduras. ..... 7**

**4.2.5 En riesgos eléctricos. ..... 7**

**4.2.6 En incendios. ..... 7**

**4.2.7 Equipo de rescate. ..... 7**

**4.3 Formacion. ..... 8**

**4.4 Medicina Preventiva y Primeros Auxilios. ..... 8**

**4.4.1 Botiquines. ..... 8**

**4.4.2 Asistencia de accidentados. ..... 8**

**4.4.3 Reconocimiento Médico. ..... 8**

**5 Prevención de Riesgos de Daños a Terceros. ..... 8**

**6 Maquinaria. ..... 9**

**6.1 Normas y condiciones de seguridad. ..... 9**

**6.1.1 Bulldozers. ..... 9**

**6.1.2 Palas Cargadoras. ..... 9**

**6.1.3 Retroexcavadoras. ..... 10**

**6.1.4 Rodillos. ..... 11**

**6.1.5 Motoniveladoras. ..... 11**

**6.1.6 Camiones. ..... 12**

**6.1.7 Camión Grúa. ..... 13**

**6.1.8 Camión Bomba de Hormigón. ..... 13**

**6.1.9 Dumpers. ..... 14**

**6.1.10 Compresores. ..... 15**

**6.2 Normas generales de circulación. ..... 16**

**6.3 Circulación de Maquinaria en Obra. ..... 16**

**7 Descripción y dimensionamiento de los servicios de higiene y bienestar. .... 18**

**8 Organización de la seguridad y salud en la obra. ..... 18**

**8.1 Personas y servicios responsables. ..... 18**

**8.2 Libro de incidencias. ..... 18**

**9 Valoración del Estudio de Seguridad y Salud. ..... 19**

# 1 Objeto del Estudio.

Este Estudio de Seguridad y Salud establece, durante la construcción de esta obra, las previsiones respecto a prevención de riesgos de accidentes y enfermedades profesionales, así como los derivados de los trabajos de reparación, conservación, entretenimiento y mantenimiento, y las instalaciones preceptivas de salud y bienestar de los trabajadores.

Servirá para dar unas directrices básicas a la empresa constructora para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de riesgos profesionales, facilitando su desarrollo, bajo el control de la Dirección Facultativa, de acuerdo con el RD 1627/1997, del 24 de Octubre en el que se establecen las disposiciones mínimas de prevención en seguridad y salud en las obras de construcción.

# 2 Descripción de las Obras.

## 2.1 Adecuación de caminos de acceso.

Acondicionamiento del camino existente hasta la parte superior del salto. Realizando una derivación que lleve hasta la parte donde se construirá la casa de máquinas.

## 2.2 Desbroce del Área de Afección.

Limpieza de la zona por donde discurrirá la tubería forzosa y el Azud. Deforestación de la zona donde se encontrara la casa de máquinas.

## 2.3 Excavación.

Se realizaran excavaciones durante todas las fases de la obra. Para ello se utilizaran máquinas de gran tamaño.

## 2.4 Desagües de fondo.

La obra se realiza con una tubería de ϕ850 mm que parte de la parte baja del azud. En ese punto se dispone de unas rejas de paso, que apoyan en una estructura realizada con hormigón convencional.

La tubería discurre embebida en un dado de hormigón hasta la casa de máquinas.

## 2.5 Obra Civil.

Realización del Azud, cimentación, estructura y acabados de la casa de máquinas. Posterior realización del dado de hormigón que albergara la tubería.

## 2.6 Instalación Eléctrica.

Realización de los trabajos de cableado, conexionado de elementos y colocación de armarios de control y fuerza en la casa de máquinas.

# 3 Riesgos.

## 3.1 Riesgos Profesionales.

### 3.1.1 En excavaciones.

- Desprendimientos.
- Caídas de personas al mismo y a distinto nivel.
- Vuelco por accidente de vehículos y máquinas.
- Atropellos por maquinas o vehículos.
- Atrapamientos.
- Cortes y golpes.
- Ruido.
- Vibraciones.
- Proyección de partículas a los ojos.
- Polvo.

### 3.1.2 En sostenimientos.

- Golpes de o contra objetos.
- Atrapamientos.
- Sobreesfuerzos.
- Caídas de personal al mismo y a distinto nivel.
- Salpicaduras.
- Proyecciones.

### 3.1.3 En transporte, vertido, extendido y compactación.

- Accidentes de vehículos.
- Atropellos por maquinas o vehículos.
- Atrapamientos.
- Caídas de material.
- Cortes y golpes.
- Vibraciones.
- Polvo.

### 3.1.4 En hormigones.

- Caídas de personal al mismo y a distinto nivel.
- Caída de materiales.
- Electrocuciones.
- Dermatosis por cemento.
- Cortes y golpes.
- Salpicaduras.
- Proyección de partículas a los ojos.
- Heridas producidas por objetos punzantes y cortantes.
- Atropellos por maquinas o vehículos.

### 3.1.5 En soldaduras.

- Explosiones.
- Humos metálicos.
- Radiaciones.

### 3.1.6 Riesgos Eléctricos.

Derivados de maquinaria, conducciones, cuadros, útiles, etc., que utilizan o producen electricidad en la obra.

### 3.1.7 Riesgo de incendio.

En almacenes, vehículos, encofrados de madera, etc.,

## 3.2 Riesgo de daños a terceros.

Derivan de la circulación de los vehículos de transporte de tierras por carreteras públicas y caminos aledaños a la obra.

# 4 Prevención de Riesgos Profesionales.

## 4.1 Protecciones Individuales.

- Cascos: para todas las personas que participan en la obra, incluidos visitantes.
- Monos: se tendrán en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra, según Convenio Colectivo o Provincial.
- Prendas reflectantes.
- Botas de seguridad de lona (Clase III).
- Botas impermeables al agua y a la humedad.
- Botas dieléctricas.
- Guantes.
- Guantes de goma.

- Guantes de soldador.
- Guantes dieléctricos.
- Cinturón de seguridad de sujeción.
- Cinturón antivibratorio.
- Mascarillas antipolvo.
- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Protecciones auditivas.
- Pantalla de seguridad para soldador eléctrico.
- Polainas de soldador.
- Manguitos de cuero.
- Mandriles de cuero.
- Trajes de agua.
- Gafas de soldadura autógena.
- Muñequeras.
- Equipo autónomo de respiración.
- Trajes ignífugos.

### 4.2 Protecciones Colectivas.

#### 4.2.1 En excavación.

- Redes o telas metálicas de protección para desprendimientos localizados.
- Vallas de limitación y protección.
- Cinta de balizamiento.
- Señales acústicas y luminosas de aviso de maquinaria.
- Barandillas.
- Señales de tráfico.
- Señales de seguridad.
- Detectores de corrientes erráticas.
- Marquesinas o pasillos de seguridad.
- Regado de pistas.
- Topes en vertederos.

### 4.2.2 En transporte, vertido, extendido, y compactación.

- Vallas de limitación y protección.
- Cinta de balizamiento.
- Señales acústicas y luminosas de aviso de maquinaria.
- Señales de tráfico.
- Señales de seguridad.
- Regado de pistas.

### 4.2.3 En hormigones.

- Iluminación de emergencia en túnel artificial.
- Pasillo de seguridad.
- Vallas de limitación y protección.
- Cinta de balizamiento.
- Señales de seguridad.
- Redes o lonas de protección.
- Barandillas.
- Cables de sujeción de cinturones de seguridad.

### 4.2.4 En soldaduras.

- Válvulas antirretorno.

### 4.2.5 En riesgos eléctricos.

- Interruptor diferencial.
- Tomas de tierra.
- Transformadores de seguridad.
- Pórticos limitadores de gálibo para líneas eléctricas.

### 4.2.6 En incendios.

- Extintores portátiles.

### 4.2.7 Equipo de rescate.

- Oxigeno.
- Camilla.
- Grupo electrógeno.
- Lámpara autónoma.
- Gatos.

### 4.3 Formación.

Todo el personal debe recibir al ingresar en la obra, una exposición de los métodos de trabajo y los riesgos que estos pudieran entrañar, juntamente con las medidas de seguridad que deberá emplear.

Se impartirá formación en materia de seguridad y salud en el trabajo al personal de la obra.

Eligiendo al personal más cualificado, se impartirán cursillos de socorrismo y primeros auxilios, de forma que todos los tajos dispongan de algún socorrista.

### 4.4 Medicina Preventiva y Primeros Auxilios.

#### 4.4.1 Botiquines.

Se prevé la instalación de un local para botiquín, atendido por un A.T.S. y varios botiquines de obra para primeros auxilios.

Se prevé el servicio de una ambulancia a pie de obra.

#### 4.4.2 Asistencia de accidentados.

Se deberá informar a la obra del emplazamiento de los diferentes Centros Médicos (Servicios propios, Mutuas Patronales, Mutualidades Laborales, Ambulatorios, etc.,) donde debe trasladarse a los accidentados para su más rápido y efectivo tratamiento.

Es muy conveniente disponer en la obra, y en un sitio visible, de una lista con los teléfonos y direcciones de los Centros asignados para urgencias, ambulancias, taxis, etc., para garantizar un rápido transporte de los posibles accidentados a los Centros de asistencia.

#### 4.4.3 Reconocimiento Médico.

Todo el personal que empiece a trabajar en la obra, deberá pasar un reconocimiento médico previo al trabajo, y que será repetido en el periodo de un año.

Si el suministro de agua potable para el personal no se toma alguna red municipal de distribución, sino de fuentes, pozos, etc., hay que vigilar su potabilidad. En caso necesario se instalaran aparatos para su cloración.

## 5 Prevención de Riesgos de Daños a Terceros.

En evitación de posibles accidentes a terceros, se colocaran las oportunas señales de advertencia de salida de camiones y de limitación de velocidad en la carretera a las distancias reglamentarias del entronque con ella.

Se señalizaran los accesos naturales a la obra, prohibiéndose el paso a todo personal ajeno a la misma, colocándose, en su caso, los cerramientos necesarios.

# 6 Maquinaria.

## 6.1 Normas y condiciones de seguridad.

### 6.1.1 Bulldozers.

- La hoja deberá estar bajada para desplazarse con seguridad, tanto hacia delante como hacia atrás.
- Cuando la maquina este aparcada o durante la revisión, la hoja deberá descansar sobre el suelo.
- No se empleara innecesariamente la alta velocidad, especialmente cuando no haya buena visibilidad, o cuando las condiciones del terreno sean adversas.
- En general, se utilizaran velocidades moderadas.
- No se trabajara en pendientes excesivamente pronunciadas susceptibles de producir vuelco.
- Cuando se quiten obstáculos como troncos de árboles, piedras de gran tamaño, etc., no se cargara contra ellos a alta velocidad, se eliminaran haciendo la excavación a modo de palanca.
- Cuando se trabaje en un vertedero no se llegara nunca hasta el borde, se utilizaran topes de frenado.

### 6.1.2 Palas Cargadoras.

- Se inspeccionara el terreno en que ha de trabajar la máquina, ante el peligro de posibles agujeros, surcos, hierros o encofrados.
- Se desconectara el motor cuando se aparque y siempre sobre terreno firme y llano, si existiese una pequeña inclinación no es suficiente con aplicar los frenos, se colocaran calzos en las ruedas o cadenas.
- Se llevara ropa adecuada.
- Se revisara el funcionamiento de todos los elementos de la maquina antes de empezar cada turno, especialmente luces, frenos, claxon. Se vigilara también que no haya derrame de aceites o combustibles.
- Cuando las revisiones se lleven a cabo en el lugar de trabajo porque no haya ningún foso de inspección disponible, lo normal es levantar la maquina con la pala de un extremo, permitiendo así el poderse situar debajo de la máquina. Cuando se hace esta operación la maquina debe estar bloqueada en la posición elevada, por ejemplo utilizando traviesas de ferrocarril.
- No se excavara de manera que se forme un saliente.

- No se circulará nunca con la cuchara en alto, tanto si está llena como vacía.
- No se subirán pendientes marcha atrás con el cucharon lleno.
- Se irá siempre hacia delante.

### 6.1.3 Retroexcavadoras.

- Cuando no están trabajando, deben estar paradas con los frenos puestos. Las maquinas con ruedas deben tener estabilizadores.
- Se colocaran de manera que las ruedas o las cadenas estén a 90 grados respecto de la superficie de trabajo, siempre que sea posible. Esto permite mayor estabilidad y un rápido retroceso.
- En operaciones con pala frontal, sobre masas de una cierta altura, se empezara atacando las capas superiores para evitar derrumbamientos.
- Cuando haya varias máquinas trabajando a diversos niveles, se hará que la maquina ensanche suficientemente su corte antes de comenzar otro más bajo, esto impide que caigan sobre maquina inferior rocas o tierras. Se evitara que la situada en la parte inferior excave bajo la plataforma superior.
- Cuando sea necesario trabajar en una pendiente se hará hacia arriba, así el agua no se introducirá en la excavación.
- Cuando se suba o baje por un camino con una pendiente pronunciada, es necesario situar la cuchara a una altura que no choque con los posibles obstáculos, pero lo suficientemente baja como para actuar de soporte de la maquina en caso de que esta fuese a volcar.
- Otro método, cuando se sube por una pendiente, será llevar el brazo y la cuchara hacia delante y baja, actuando así de contrapeso.
- La cuchara no debe usarse nunca para golpear rocas, especialmente si están medio desprendidas.
- Cuando se circula con retroexcavadora de orugas deben de actuar las ruedas cabillas en la parte trasera para que las cadenas, en contacto con el suelo, estén en tensión.
- Por la razón antes mencionada cuando se usa cucharon retroexcavador, las ruedas cabillas deben estar en la parte delantera (extremo de trabajo).
- Se debe cargar el material en los camiones de manera que la cuchara nunca pase por encima de la cabina del camión o del personal de tierra.

- Cuando se realice la carga, el conductor del vehículo debe estar fuera de la cabina, alejado del alcance de la posible pérdida de material y en un punto de buena visibilidad para que pueda actuar de guía. Si el vehículo tiene una cabina de seguridad, estará mejor dentro de ella.
- Si se instalan en la retroexcavadora una extensión y un gancho grúa, se alteran las características de trabajo. Siempre que se cambien accesorios, nos aseguraremos que el brazo esta abajo y parado. Cuando sea necesario, en algunas operaciones de mantenimiento por ejemplo, trabajar con el brazo levantado, utilizaremos puntales para evitar que vuelque. Esta advertencia también es válida para las palas cargadoras.
- Se descargara la tierra a una distancia prudencial del borde de la zanja.

### 6.1.4 Rodillos.

- Se solicitara al operador la instrucción necesaria, si con anterioridad no ha manejado máquinas de la misma marca y tipo.
- Antes de subirá la máquina para iniciar la marcha, se comprobara que no hay nadie en las inmediaciones, así como la posible existencia de manchas que indiquen perdidas de fluidos.
- S atenderá siempre al sentido de la parcha.
- No se transportara pasajero alguno.
- Cuando se tenga que circular por superficies inclinadas, se hará siempre según la línea de máxima pendiente.
- Se comunicara a los responsables del Parque de Maquinaria, cualquier anomalía observada y se hará constar en el parte de trabajo.
- Al abandonar la maquina se dejara en horizontal, frenada con el motor parado.
- Para abrir el tapón del radiador, se eliminara previamente la presión interior y se tomaran precauciones para evitar quemaduras.
- Se efectuaran todas las normas indicadas en el manual de mantenimiento.
- No se realizaran revisiones o reparaciones con el motor en marcha.

### 6.1.5 Motoniveladoras.

- Preparación adecuada del operador de la máquina.
- Se cuidara especialmente la visibilidad, se mejorara el rendimiento y se evitaran accidentes.
- El maquinista dispondrá de casco de seguridad.

- La motoniveladora es para mover materiales ligeros y efectuar refinos. No debe emplearse como si fuera un buldócer.
- Se comprobara frecuentemente el correcto funcionamiento de los indicadores de la máquina.
- Se atenderá escrupulosamente las normas dictadas por el fabricante para el mantenimiento de la motoniveladora.
- Dispondrán de dispositivo de aviso sonoro.
- Dispondrán de luz indicadora de macha atrás.
- No se transportaran personas.
- Dispondrá de extintor en cabina.
- Se podrá blocar la caja de marchas o dirección cuando se esté parado.
- Dispondrá de cartel adhesivo indicativo de "Prohibido permanecer en el radio de acción de esta máquina".

### 6.1.6 Camiones.

- Las maniobras de marcha atrás, al estar el conductor invadiendo zonas que no ve, son causas de accidentes graves. Se puede evitar mediante señalización acústica y óptica que actúe automáticamente, al colocar la palanca de cambio en la posición de marcha atrás.
- Deberá existir una persona que facilite las maniobras señaladas anteriormente, así como aquellas de aproximación al vaciado o borde de excavación, independiente de la colocación de topes que impidan de una manera efectiva la caída del camión o de la máquina.
- Dispondrá de cartel adhesivo indicativo de "Prohibido permanecer en el radio de acción de esta máquina".
- Se comprobara frecuentemente el estado de los frenos.
- Se podrá bloquear la dirección cuando se esté parado.
- Se comprobara periódicamente todos sus mandos y luces.
- Perfecta visibilidad del conductor.
- Uso de casco.
- Disponer de extintor.
- Se comprobara antes de poner en marcha la máquina que no hay personas ni obstáculos en su alrededor.
- No transportar personas en las maquinas.

- El operario estará dotado de cinturón antivibratorio.
- Se conservaran adecuadamente las vías de servicio.
- Se colocaran carteles de "Precaución movimiento de máquinas pesadas".
- No se cargara por encima de la cabina.
- En caso de reparación se parara primero el motor.

### 6.1.7 Camión Grúa.

- Todas las indicaciones en el punto anterior.
- Durante la elevación, la grúa ha de estar bien asentada sobre terreno horizontal, con todos los gatos extendidos adecuadamente, para que las ruedas queden en el aire. De existir barro o desniveles, los gatos se calzaran convenientemente.
- Durante el desarrollo de los trabajos, el operador vigilara atentamente la posible existencia de líneas eléctricas aéreas próximas. En caso de contacto con una línea eléctrica, el operador permanecerá en la cabina sin moverse hasta que no exista tensión en la línea o se haya deshecho el contacto. Si fuese imprescindible bajar de la máquina, lo hará de un salto.
- En los trabajos de montaje y desmontaje de tramos de pluma, se evitara situarse debajo de ella.
- A fin de evitar atrapamientos entre la parte giratoria y el chasis, nadie deberá permanecer en el radio de acción de la máquina.
- El desplazamiento de la grúa con carga es peligroso. Si el realizarlo fuera imprescindible, deberán observarse minuciosamente las siguientes reglas:
  - Poner la pluma en la dirección del desplazamiento.
  - Evitar las paradas y arranques repentinos.
  - Usar la pluma más corta posible.
  - Guiar la carga por medio de cuerdas.
  - Llevar recogidos los gatos.
  - Mantener la carga lo más baja posible.

### 6.1.8 Camión Bomba de Hormigón.

- El operador utilizara gafas protectoras.
- Se revisara la tubería, principalmente el tramo de goma.
- En los casos que la tubería sea de enchufe rápido, se tomaran medidas para evitar la apertura intempestiva de los pestillos.

- Se asentaran los gatos en terreno firme, calzándolos con tablones en caso necesario.
- Se tendrá especial cuidado cuando haya que evolucionar en presencia de líneas eléctricas aéreas en carga, manteniéndose en todo momento las distancias de seguridad.
- Se vigilara frecuentemente los manómetros, un aumento de presión indicaría que se ha producido un atasco.
- Con la maquina en funcionamiento, no manipular en las proximidades de las tajaderas.
- No intentar nunca actuar a través de la rejilla de la tolva receptora. En caso ineludible, para el agitador.
- Para deshacer un atasco no emplear aire comprimido.
- Al terminar el bombeo limpiar la tubería con la pelota de esponja, poniendo la rejilla en el extremo. Si una vez introducida la bola de limpieza y cargado el compresor, hubiera que abrir la compuerta antes de efectuar el disparo, se eliminaría la presión previamente.
- Se comunicara cualquier anomalía detectada y se reflejara en el parte de trabajo.

### 6.1.9 Dumpers.

- Dispondrán de señalización óptica conectada con la marcha atrás. En los casos que se haga necesaria, se conectara también señal acústica.
- Deberá existir una persona que facilite las maniobras señaladas anteriormente, así como aquellas de aproximación al vaciado o borde de excavación, independiente de la colocación de topes que impidan de una manera efectiva la caída del camión o de la máquina.
- Dispondrá de cartel adhesivo indicativo de “Prohibido permanecer en el radio de acción de esta máquina”.
- Se comprobara frecuentemente el estado de los frenos.
- Se podrá bloquear la dirección cuando se esté parado.
- Se comprobara periódicamente todos sus mandos y luces.
- Perfecta visibilidad del conductor.
- Uso de casco.
- Disponer de extintor.

- Se comprobara antes de poner en marcha la máquina que no hay personas ni obstáculos en su alrededor.
- No transportar personas en las máquinas.
- El operario estará dotado de cinturón antivibratorio.
- Se conservaran adecuadamente las vías de servicio.
- Se colocaran carteles de "Precaución movimiento de máquinas pesadas".
- No se cargara por encima de la cabina.
- En caso de reparación se parara primero el motor.

### 6.1.10 Compresores.

- Solamente estarán encargados de su mantenimiento, limpieza, manipulación y desplazamiento los operarios instruidos y aleccionados de los riesgos propios.
- Nunca se engrasaran, limpiaran o echara aceite a mano, a elementos que estén en movimiento, ni se efectuaran trabajos de reparación, registro, control, etc., Tampoco se utilizarán cepillos, trapos y, en general, todos los medios que puedan ser enganchados llevando tras de sí un miembro a la zona de peligro.
- El engrase debe hacerse con precaución, ya que un exceso de grasa o de aceite puede ser, por elevación de temperatura, capaz de provocar su inflamación, pudiendo ser origen de una explosión.
- El filtro del aire debe limpiarse diariamente.
- La válvula de seguridad no debe regularse a una presión superior a la efectiva de utilización. Este reglaje debe efectuarse frecuentemente.
- Se llevara un control de toda clase de pérdidas.
- Las protecciones y dispositivos de seguridad no deben quitarse ni ser modificados por los encargados de los aparatos, solo podrán autorizar un cambio de estos dispositivos los jefes responsables, adoptando inmediatamente medios preventivos del peligro.
- Las poleas correas, volantes, árboles y engranajes situados a una altura de 2,50 m deberán estar protegidos. Estas protecciones habrán de ser desmontables para los casos de limpieza, reparaciones, engrase, sustitución de piezas, etc.,
- Estarán dotados, en caso de motores eléctricos de toma de tierra, y en caso de motores de gasolina de cadenas, para evitar la acumulación de corriente estática.

## 6.2 Normas generales de circulación.

Dentro del recinto de la obra está vigente el código de circulación, en este punto se destacan las siguientes normas sin carácter limitativo:

- Como norma general, cuando se conduce un vehículo se debe circular por la derecha aun cuando el centro de la calzada este libre.
- La velocidad debe adaptarse en todo momento a las características de la calzada, de la visibilidad y de cualquier otra circunstancia.
- Antes de iniciarse la marcha se asegurara que las ventanillas estén limpias y que nada impida la visibilidad o dificulte el uso de los controles.
- Se ajustaran los espejos retrovisores.
- Al iniciar la marcha se comprobara que se puede realizar sin dificultar el paso de los vehículos que se aproximen.
- Una vez estacionado el vehículo se adoptaran las medidas necesarias para que no pueda ponerse accidentalmente en movimiento.
- Antes de realizar las operaciones de carga y descarga se asegurara que el vehículo está en terreno firme.
- La carga se acondicionara a la caja del vehículo, no debiendo sobresalir por el borde del mismo.
- Está prohibido cargar carburante con el motor en funcionamiento.
- No se transportaran pasajeros a menos que el vehículo este provisto de un asiento adecuado. Es responsabilidad del conductor evitar que persona alguna viaje en estribo, guardabarros o defensas del mismo.
- Es obligatorio el uso del casco.
- En camiones de gran tonelaje el conductor estará dotado de cinturón antivibratorio.
- En zonas de terraplenes o zanjas no circularan ni se estacionaran vehículos a menos de 2 m. del borde.

## 6.3 Circulación de Maquinaria en Obra.

- Prever accesos de maquinaria en obra separándolos de la entrada peatonal.
- Las pendientes máximas autorizadas no serán superiores al 12% en tramos rectos y al 8% en tramos curvos.
- Toda la máquina de obra cumplimentara la correspondiente normativa, que será entregada a los operadores.

- Colocar en todas las maquinas, en lugar visible, el carel de "Prohibido Permanecer en el radio de acción de la maquina".
- Las maquinas estarán dotadas con medios de iluminación y dispositivos sonoros de aviso.
- Está prohibido el estacionamiento bajo las cargas durante la elevación.
- Durante un trabajo con equipo de empuje, es necesario vigilar para no exponerse a derrumbamientos peligrosos.
- Durante un trabajo de equipo de retro, es necesario hacer retroceder la máquina en cuanto la cuchara comience a excavar por debajo del chasis.
- Cuando las maquinas trabajen en zona peligrosa, se colocaran balizas que indiquen claramente la zona donde pueden trabajar.
- Nunca rebasar las velocidades aconsejables.
- Evitar curvas excesivamente cerradas que puedan producir vuelco.
- Todo el personal hará uso de casco de seguridad.
- Las maniobras que representen riesgo para el operario y estabilidad de la máquina, serán auxiliadas y dirigidas por otra persona.
- Se podrá bloquear la caja de mandos-cambios y la dirección cuando se esté parado.
- Nunca transportar personas en la máquina.
- No emplear la pala como grúa.
- Proveer a la máquina de cadenas para evitar la corriente estática, sobre todo si son de gasolina.
- Nunca emplear las cuchillas como frenos.
- Al aparcar las máquinas de cazo o cuchillas, bajar estas hasta el suelo.
- Al realizar una reparación o control, parar primero el motor.
- Nunca utilizar las máquinas para transportar materiales inflamables.
- Nunca rebasar las cargas máximas.
- Está totalmente prohibido desconectar o inutilizar los aparatos y accesorios de control y seguridad o trabajar deliberadamente con ellos estropeados.
- Los operarios encargados de manipular vehículos y máquinas tendrán edad de al menos 18 años. Dispondrán, en cada caso, de las autorizaciones dispuestas por las Normas en España.

## 7 Descripción y dimensionamiento de los servicios de higiene y bienestar.

El número máximo de trabajadores en la obra se estima en 30 personas.

La obra dispondrá de locales para vestuarios, servicios higiénicos y comedores debidamente dotados.

El vestuario y aseos tendrán como mínimo dos metros cuadrados por persona y el primero dispondrá de taquillas individuales con llave, asientos e iluminación.

Los servicios higiénicos tendrán un lavabo y una ducha por cada 10 trabajadores, con agua fría y caliente, y un WC por cada 25 trabajadores, disponiendo de espejos e iluminación.

El comedor con una superficie de aproximadamente 45 m² dispondrá de mesas, asientos, pila, lavavajillas, calienta comidas e iluminación. Se dispondrá de recipiente para las basuras.

Se ventilaran oportunamente los locales, manteniéndolos además en buen estado de limpieza y conservación por medio de un trabajador que podrá compatibilizar este trabajo con otros de la obra.

## 8 Organización de la seguridad y salud en la obra.

### 8.1 Personas y servicios responsables.

Los Delegados de Prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo. Serán designados por y entre los representantes del personal, en el ámbito de los órganos de representación previstos en las normas vigentes. En el caso que nos ocupa y por hallarse un número inferior a 50, será preceptiva la existencia de un único Delegado de prevención.

### 8.2 Libro de incidencias.

En el centro de trabajo existirá un libro de incidencias con el fin del control y seguimiento del plan de seguridad, el cual constara con hojas por duplicado. Sera facilitado por el colegio profesional del Técnico que haya aprobado el Proyecto.

## 9 Valoración del Estudio de Seguridad y Salud.

Solo serán objeto de valoración las unidades de protección colectiva y protecciones especiales, así como las instalaciones de higiene y bienestar, medicina preventiva y formación, todas ellas indicadas en el Estudio de Seguridad y Salud de este Proyecto y las aprobadas en el Plan de Seguridad y Salud que sea aprobado para la obra.

El resto de elementos y medios de Seguridad y Salud se consideran costos indirectos de la obra, estando incluida su valoración en la parte proporcional de cada precio unitario, no siendo por tanto objeto de abono independiente.

# PLIEGO DE CONDICIONES

[redacted]
Grado en Ingeniería Eléctrica

## INDICE

**1. DISPOSICIONES GENERALES. ..... 6**

**1.1 OBJETO. ..... 6**

**2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN LAS OBRAS. ..... 6**

**2.1 COMPATIBILIDAD ENTRE DOCUMENTOS. ..... 7**

**2.2 REPRESENTANTES DE LA ADMINISTRACIÓN Y DEL CONTRATISTA. ..... 7**

**3. DISPOSICIONES OFICIALES DE APLICACIÓN. ..... 8**

**4. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA. ..... 9**

***4.1.1 Condiciones de los materiales. ..... 9***

**5. MATERIALES PARA HORMIGONES Y MORTEROS. ..... 11**

**5.1 ÁRIDOS. ..... 11**

***5.1.1 Procedencia. ..... 11***

***5.1.2 Árido fino. ..... 11***

***5.1.3 Árido grueso. ..... 11***

***5.1.4 Forma. ..... 11***

***5.1.5 Granulometría. ..... 11***

***5.1.6 Tamaño del árido para hormigones armados. ..... 11***

***5.1.7 Ensayos pertinentes. ..... 12***

**5.2 CEMENTOS. ..... 12**

**5.3 ARMADURAS. ..... 15**

***5.3.1 Redondos de Acero. ..... 15***

***5.3.2 Mallas electrosoldadas. ..... 15***

**6. CARPINTERÍA DE ARMAR. ..... 16**

***6.1.1 Maderas en general. ..... 16***

***6.1.2 Maderas para encofrados. ..... 16***

***6.1.3 Encofrados metálicos. ..... 16***

***6.1.4 Hierro y acero para elementos metálicos. ..... 16***

**7. ENSAYOS. ..... 16**

**8. ELEMENTOS DE ALBAÑILERÍA. ..... 17**

**9. YESOS. ..... 18**

**10. TUBERÍAS A PRESIÓN. ..... 18**

**10.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACERO. ..... 18**

**10.2 PRUEBAS EN LOS TUBOS. ..... 19**

**10.3 ENSAYOS A TRACCIÓN. ..... 19**

**10.4 PRUEBAS DE SOLDADURA. ..... 19**

**10.5 MATERIALES QUE NO SE INCLUYEN EN EL PRESENTE PLIEGO. ..... 20**

**11. CONTROL DE CALIDAD. ..... 20**

**11.1 GENERALIDADES. ..... 20**

**11.2 ZAHORRAS NATURALES. ..... 20**

**11.3 ZAHORRAS ARTIFICIALES. ..... 21**

**11.4 ZAHORRAS NATURALES O ARTIFICIALES DRENANTES O FILTRANTES. .. 21**

**11.5 MATERIAL DRENANTE. ..... 21**

**11.6 CRITERIOS DE FILTRO. ..... 22**

**11.7 ZAHORRAS NATURALES O ARTIFICIALES DRENANTES O FILTRANTES. MATERIAL DRENANTE. ..... 22**

**11.8 ESCOLLERA PARA REVESTIMIENTOS. ..... 23**

**11.9 HORMIGONES. ..... 23**

**11.10 MORTERO DE CEMENTOS. ..... 24**

**11.11 BARRAS DE ACERO CORRUGADO. ..... 25**

**11.12 MALLAS ELECTRO SOLDADAS. ..... 26**

**12. CONDICIONES DE EJECUCIÓN. ..... 26**

**12.1 REPLANTEOS. ..... 26**

**13. INSTALACIONES Y MEDIOS AUXILIARES. ..... 27**

**14. MOVIMIENTO DE TIERRAS. ..... 27**

**14.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO. ..... 27**

**14.2 EXCAVACIONES. ..... 28**

**14.3 EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO. ..... 28**

**15. EXCAVACIÓN DE ZANJAS Y POZOS. ..... 28**

**16. DEPÓSITO DE LOS PRODUCTOS PROCEDENTES DE**

**EXCAVACIONES Y LIMPIEZA DE TERRENOS. ..... 29**

**17. EXCAVACIÓN EN ZONA DE PRÉSTAMO. ..... 29**

**18. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS. ENTIBACIONES Y VOLADURAS. ..... 30**

**19. MOVIMIENTO DE TIERRAS: TERRAPLENADOS. ..... 30**

**19.1 HUMEDAD. ..... 30**

**19.2 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE TONGADAS Y DEL NÚMERO DE PASADAS DEL COMPACTADOR. ..... 31**

**19.3 PRESCRIPCIONES ESPECIALES PARA LA EJECUCIÓN DE TERRAPLENES. ..... 32**

**19.4 ENSAYOS QUE SE HAN DE REALIZAR PARA ASEGURAR LA CORRECTA EJECUCIÓN DE LOS TERRAPLENES. ..... 33**

**20. MOVIMIENTOS DE TIERRAS: RELLENOS. ..... 34**

**21. MOVIMIENTOS DE TIERRAS: DERRIBOS. ..... 34**

**22. TRANSPORTE DE TIERRAS. ..... 34**

**23. HORMIGONES Y MORTEROS. ..... 35**

**23.1 LIMPIEZA DE LAS EXCAVACIONES ANTES DEL HORMIGONADO. ..... 35**

**23.2 COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN. ..... 35**

**23.3 FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN. ..... 36**

**23.4 PRUEBAS DEL HORMIGÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN. ..... 36**

**23.5 RESISTENCIA DEL HORMIGÓN. ..... 37**

**23.6 DOSIFICACIÓN, DENSIDAD Y CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN. ..... 37**

**23.7 PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN. ..... 38**

**23.8 CURADO DEL HORMIGÓN. ..... 38**

**23.9 JUNTAS DE HORMIGONADO. ..... 39**

**23.10 PRECAUCIONES EN TIEMPO FRÍO O CALUROSO. ..... 39**

**23.11 PARAMENTOS DE HORMIGÓN Y ENCOFRADOS. ..... 40**

**23.12 DESENCOFRADOS. ..... 40**

**23.13 HORMIGONES PREFABRICADOS. ..... 41**

**23.14 ARMADURAS. ..... 42**

**23.15 TUBERÍAS DE PRESIÓN. ..... 42**

**24. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA. ..... 43**

**24.1 REVISIÓN DE SOLICITUD DE OFERTAS. ..... 43**
**24.2 RESIDENCIA DEL CONTRATISTA. ..... 43**
**24.3 RECLAMACIONES CONTRA LAS ÓRDENES DE DIRECCIÓN. ..... 44**
**24.4 DESPIDO POR INSUBORDINACIÓN, INCAPACIDAD Y MALA FE. ..... 44**
**24.5 COPIA DE LOS DOCUMENTOS. ..... 44**
**24.6 TRABAJOS. MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES. ..... 44**
***24.6.1 Libro de Órdenes. ..... 44***
***24.6.2 Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución. ..... 44***
***24.6.3 Condiciones generales de ejecución de los trabajos. ..... 45***
***24.6.4 Trabajos defectuosos ..... 45***
***24.6.5 Obras y Vicios Ocultos. ..... 45***
***24.6.6 Materiales no utilizables o Defectuosos. ..... 46***
***24.6.7 Medios Auxiliares. ..... 46***
**25. RECEPCIÓN Y LIQUIDACIÓN. ..... 47**
**25.1 RECEPCIONES PROVISIONALES. ..... 47**
**25.2 PLAZO DE GARANTÍA. ..... 47**
**25.3 CONSERVACIÓN DE TRABAJOS RECIBIDOS PROVISIONALMENTE. ..... 47**
**25.4 RECEPCIÓN DEFINITIVA. ..... 48**
**25.5 LIQUIDACIÓN FINAL. ..... 48**
**25.6 LIQUIDACIÓN EN CASO DE RESCISIÓN. ..... 48**
**25.7 FACULTADES EN LA DIRECCIÓN DE OBRA. ..... 49**
**26. PLIEGO DE CONDICIONES DE INDOLE ENCONOMICA. ..... 49**
**26.1 BASE FUNDAMENTAL. ..... 49**
**26.2 GARANTÍAS DE CUMPLIMIENTO Y FIANZAS. ..... 49**
**26.3 FIANZAS. ..... 49**
**26.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA. ..... 49**
**26.5 DEVOLUCIÓN DE LA FIANZA. ..... 50**
**26.6 PRECIOS Y REVISIONES. ..... 50**
***26.6.1 Precios Contradictorios. ..... 50***
***26.6.2 Reclamaciones de Aumento de Precios. ..... 50***
***26.6.3 Revisión de Precios. ..... 51***
***26.6.4 Elementos Comprendidos en el Presupuesto. ..... 52***
***26.6.5 Valoración de Abono de Trabajos. ..... 52***

# 1. Disposiciones Generales.

## 1.1 Objeto.

Las presentes Prescripciones Técnicas serán de aplicación en las obras e instalaciones comprendidas en este Proyecto, complementadas por los Pliegos y Normas que se indican en los artículos que forman este Documento.

En concreto, el presente Proyecto comprende en síntesis las obras necesarias para la ejecución de un aprovechamiento hidroeléctrico situado en el arroyo Guantero en el término municipal de Loja siendo éstas las siguientes:

Implantación y construcción de los diferentes componentes y características definidas en la sección de descripción de la minicentral desarrollada en la Memoria.

Derivación de aguas hacia la minicentral mediante un azud, una cámara de carga donde se aloja una reja y una pequeña compuerta que da paso a la tubería forzada. En la parte baja de la tubería forzada se encuentra una válvula de mariposa que controla el caudal de entrada a la turbina.

Construcción de un edificio de turbinado y aparallaje eléctrico para mando y control del grupo turbina-generador tipo Francis horizontal para una potencia máxima de 958 kW.

Todos los contenidos de los Pliegos o Normas que se prescriben, regirán para las materias expresadas en sus títulos, cuando no se opongan a lo establecido por la Ley de Contratos del Estado, en el Reglamento General de Contratación y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales. En caso contrario prevalecerá siempre el contenido de estas disposiciones, a las cuales precede el presente Pliego en orden de prelación.

# 2. Documentos que definen las obras.

Los documentos que definen las obras y que forman parte del Proyecto pueden tener un valor contractual o meramente informativo.

Los documentos que quedan incorporados al Contrato como contractuales son los siguientes:

- Planos.
- Pliego de Condiciones Facultativas.
- Presupuesto.

La inclusión en el Contrato de las mediciones no implica necesariamente su exactitud respecto a la realidad.

Los datos sobre la procedencia de materiales, ensayos, condiciones locales, condiciones climáticas del terreno, justificación de precios, y en general todos los incluidos en la Memoria del Proyecto, son documentos informativos.

## 2.1 Compatibilidad entre documentos.

En caso de contradicción e incompatibilidad entre Planos y Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, prevalecerá lo prescrito en este último documento.

Lo mencionado en el Pliego y omitido en los Planos o viceversa se considerará como si estuviera expuesto en ambos Documentos.

Las omisiones en los Planos, Pliego, o descripciones erróneas de los detalles de la obra que sean indispensables para llevar a término la intención que se expone en los Planos y en el Pliego de Condiciones, o que por el uso y costumbre hayan de ser realizados, no solo no eximen al Contratista de ejecutar estos detalles de la obra que han sido omitidos sino que tendrán que ser ejecutados como si estuvieran completos y correctamente especificados en los Planos y Pliego de Condiciones.

## 2.2 Representantes de la administración y del contratista.

La Dirección, control y vigilancia de las obras correrán a cargo del personal técnico de la Administración, que designará al Ingeniero Director de las Obras y que por el mismo o por las personas a sus órdenes y en representación, será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del Contrato y asumirá la representación de la Administración ante el Contratista.

El Contratista está obligado a proporcionar al Ingeniero Director o a sus subordinados o delegados toda clase de facilidades para los replanteos, reconocimiento, mediciones y pruebas de materiales, tanto en la obra como en el taller, a fin de comprobar el cumplimiento de las condiciones establecidas en este Pliego de Condiciones.

Una vez adjudicadas las obras definitivamente, el Contratista designará al técnico que asumirá la Dirección de los Trabajos y que actuará como su representante ante la Administración.

## 3. Disposiciones oficiales de aplicación.

Serán preceptivas y obligatorias las siguientes disposiciones de carácter general:

- Ley de Contratos del Estado, aprobada por Decreto 923/65 de 8 de abril, y modificada parcialmente por la Ley de 5/1973 de 17 de marzo y por el Real Decreto legislativo 931/1986 de 2 de mayo para la adaptación de las Directivas de la CE.
- Disposiciones vigentes sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- Cuantas disposiciones sean de cumplimiento obligatorio para este tipo de obras, antes de su contratación.

Además serán de aplicación los siguientes Pliegos, Reglamentos, Instrucciones y Normas:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para las obras de carreteras y puentes.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la recepción de cementos, aprobado por Decreto de la Presidencia del Gobierno.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de abastecimiento de agua, aprobado por Orden Ministerial.
- Instrucción para el Proyecto y Ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado por Real Decreto 824/1988 de 28 de octubre.
- Instrucción para el Proyecto y Ejecución obras de hormigón en masa y armado, aprobado por Real Decreto 1039/1991 de 15 de julio (EH-91).
- Normas M.V. 102, 103, 104, 105 y 106 del Ministerio de la Vivienda sobre estructuras de acero laminado y medios de unión.
- Normas y ensayos del Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto.

Las Normas Tecnológicas de Control de materiales que podrán utilizarse son:

- Normas U.N.E.
- Normas tecnológicas de la edificación.
- Normas NBE AE
- Normas D.I.N.

Habrá de considerarse en el momento de su aplicación, las aclaraciones, modificaciones o disposiciones complementarias de las Normas anteriores y que estén vigentes en el momento de la ejecución de los trabajos.

En caso de discrepancia entre las prescripciones de las distintas disposiciones se entenderá como válida la más restrictiva según el juicio de la Dirección de las obras.

# 4. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA.

## 4.1.1 Condiciones de los materiales.

### 4.1.1.1 Normas generales: Procedencia, ensayos de recepción, acopios, etc.,

El contratista notificará a la Dirección de Obra con tiempo suficiente, la procedencia de los materiales que piense utilizar, a fin y efecto de que la Dirección de Obra pueda ordenar los ensayos necesarios para acreditar la idoneidad de los mismos. La aceptación de la procedencia de los materiales propuesta será requisito indispensable para el acopio de los materiales, sin perjuicio de la facultad de la Dirección de Obra de comprobar en todo momento que la mencionada idoneidad se mantiene tanto en los acopios posteriores, como en los presentes en ese momento, hasta el momento de su utilización.

Si durante la ejecución de las obras se encontraran materiales que pudieran emplearse ventajosamente técnica o económicamente sobre los ya previstos, la Dirección de Obra podrá ordenar el cambio de procedencia. La Dirección de Obra podrá autorizar al Contratista el uso de materiales procedentes de las excavaciones o demoliciones de la propia obra.

Si en base al derecho que se deriva por el Contratista, éste obtuviera materiales en mayor cantidad que la requerida para el contrato, la Dirección de Obra podrá apropiarse los sobrantes, sin perjuicio de las responsabilidades que puedan derivarse para el Contratista.

Para los acopios será de aplicación lo que dispone el artículo 143 del Reglamento General de Contratación, cuanto menos en el emplazamiento de los acopios en los terrenos de las obras o en los marginales que pudieran afectarlos, así como eventuales almacenamientos requerirán la aprobación previa de la Dirección de Obra.

Las superficies utilizadas tendrán de ser acondicionadas, una vez utilizado el acopio, recuperando su estado natural. Todos los gastos e indemnizaciones que se deriven de la utilización de superficies serán con cargo al Contratista.

#### 4.1.1.2 Rellenos y terraplenes.

En los rellenos que van a soportar cargas, tales como futuras construcciones, tránsito de vehículos, etc., o que no estén detrás o sobre obras de fábrica, puede utilizarse cualquier clase de terreno, salvo la arcilla o el fango que se deslicen fácilmente en agua o que experimente grandes variaciones de volumen por las influencias atmosféricas y la tierra mezclada con raíces u otros elementos orgánicos, que al descomponerse puedan dar lugar a asientos en las superficies del terreno.

En los rellenos localizados de material filtrante y en la gravilla de asiento de la tubería forzada, se emplearan áridos naturales o procedentes de machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, o áridos artificiales exentos de arcilla, marga y otros materiales extraños.

En el asiento de la gravilla, el tamaño máximo no será en ningún caso superior a 15 mm.

En rellenos localizados de material filtrante, el tamaño máximo no será, en ningún caso, superior a 76 mm cedazo 80 UNE, y el cernido ponderal acumulado por el tamiz 0,080 UNE, no deberá rebasar el 5%.

En los rellenos de zahorra artificial, procederán del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural, cumpliendo las condiciones.

No se admitirán en los terraplenes, las tierras con contenido orgánico ni, en general, cualquier material que no alcance en el ensayo Proctor Normal una densidad superior a 1,75.

Los suelos utilizados en terraplenes carecerán de piedras con tamaño superior a 10 cm.

Se consideraran como fracción de finos la que pase por el tamiz de 200 A.S.T.M. equivalente a una apertura de mallas de 74 mm. Esta fracción no excederá del 35% en peso.

La fracción no retenida por el tamiz, 40 A.S.T.M. deberá tener un límite líquido inferior a 35, o que se cumpla la condición de que siendo el límite líquido inferior a 65 y superior a 35, el índice de plasticidad sea superior al número que resulta de disminuir 9 unidades el producto del citado limite líquido por un coeficiente de 0,6.

En la parte superior de los terraplenes, desde 1 metro por debajo de la rasante, no se admitirán suelos de límite líquido superior a 40.

La capacidad portante de los materiales utilizables para la formación de terraplenes, medida según el ensayo CBR, será siempre mayor de 3.

El hinchamiento medido en el ensayo CBR será inferior a 2%.

## 5. Materiales para Hormigones y Morteros.

### 5.1 Áridos.

#### 5.1.1 Procedencia.

Los áridos procederán de graveras naturales o bien de machaqueo de rocas u otros materiales inertes suficientemente duros. En todo caso tendrán de cumplir las condiciones mencionadas en la EH-91. El contenido de sustancias nocivas, en los áridos, como son los sulfuros, materias orgánicas o materia inerte, no excederá de los límites marcados en la EH.

#### 5.1.2 Árido fino.

Se entiende como árido fino o arena el que pasa por el tamiz nº 5 UNE 7050. El módulo de finura de al menos 9 muestras de cada 10 de arena, no vanará más del 20% del módulo de finura medio de las mismas, asimismo, deberá cumplir las condiciones exigidas por la EH-91.

#### 5.1.3 Árido grueso.

Se entiende como árido grueso o grava aquel que queda retenido por el tamiz nº 5 UNE 7050. Tendrá que cumplir las condiciones que se exigen en la EH-91.

#### 5.1.4 Forma.

Se rechazaran los áridos de forma laminar o circular con una proporción excesiva. Por lo tanto se limita interiormente el coeficiente de forma de la grava a 0,15, determinado de acuerdo al método de ensayo UNE 7238, tal y como especifica EH-91.

#### 5.1.5 Granulometría.

La composición granulométrica del árido será la que ajustándose a lo prescrito por la EH-91, se determine experimentalmente a fin de satisfacer las condiciones que se imponen a los hormigones en los que se utilicen.

#### 5.1.6 Tamaño del árido para hormigones armados.

Deberá cumplir las condiciones exigidas respecto a las limitaciones de tamaño de la EH-91.

El tamaño máximo del árido se fijará de acuerdo con la distancia libre entre armaduras establecida por cada uno de los elementos del hormigón armado.

### 5.1.7 Ensayos pertinentes.

Los ensayos a realizar sobre los áridos, serán los exigidos por la EH-91.

## 5.2 Cementos.

Se usara cemento 1V/35 SR o I-35a, siempre y cuando el análisis del terreno o de las aguas en contacto con las obras no aparezcan agentes agresivos como son los sulfatos o cloruros, en cuyo caso la Dirección de Obra fijará el tipo de cemento a utilizar, cumpliendo las condiciones exigidas en la RC-88, así como las recomendaciones y prescripciones contenidas en EH-91, y las que en adelante fueran aprobadas con carácter oficial por el MOPT. Se admitirá cualquier otro tipo de cemento siempre que el constructor justifique que con él se puede obtener un hormigón de la calidad exigida en este Pliego.

Las condiciones del vigente Pliego de recepción de cementos que se señalan como especialmente importantes son las siguientes:

- El cemento deberá cumplir las garantías de producción y las características mínimas exigidas por la normativa.
- La expansión en prueba de autoclave deberá ser inferior al 7 por 1000.
- El contenido total de calcio libre u óxido cálcico más hidróxido de calcio, determinado según el ensayo UNE 7251 deberá ser inferior al 1 % del peso total.
- El contenido de aluminato tricálcico no debe exceder del 10 % del peso del cemento.
- El contenido de silicato tricálcico no excederá del 50 % del peso del cemento.
- El cemento deberá tener características homogéneas y no podrá presentar desviaciones en su resistencia, a la ruptura por compresión a los 28 días, superior al 10 % de la resistencia media del 90 % de las probetas ensayadas, eliminando el 5 % de los ensayos que hayan dado resistencias más elevadas y el 5 % de los ensayos que hayan dado las resistencias más bajas.
- EI número de probetas ensayadas por comprobación de la anterior condición no será inferior a 40.

- En la obra en relación con la misma se contará con un laboratorio que permita efectuar los ensayos siguientes con el cemento:
    - Finura de molido
    - Velocidad de forjado
    - Estabilidad del volumen
    - Resistencia a flexotracción y compresión al 1, 3,7, y 28 días con pasta pura y con mortero normal en la proporción de (3:1).
    - No se admitirá ningún cemento que llegue a la obra con una temperatura igual o superior a 70 °C, si se ha de manipular mecánicamente. Si se manipula a mano la mencionada temperatura no excederá del mayor de los dos límites siguientes:
    - 40 °C
    - Temperatura ambiente más de 5 °C

El cemento será transportado, almacenado y manipulado con cuidado suficiente de forma que esté constantemente protegido de la humedad para que en el momento de su uso esté en buenas condiciones.

De cada partida de cemento que se reciba se tomaran muestras y se efectuaran los ensayos indicados. Solo después de un resultado que sea satisfactorio de los ensayos se autorizará la utilización de la partida correspondiente de cemento.

Si se emplean silos para almacenar el cemento que sea recibido al detalle, éstos deberán de estar completamente cerradas y libres de humedad en su interior.

Si el cemento es recibido en sacos, siempre en los mismos envases cerrados en los que fueron expedidos en fábrica, se almacenará en un lugar ventilado y fuera de la intemperie y de la humedad del suelo y paredes.

La capacidad de almacenaje de cemento ha de ser la adecuada a las necesidades de la obra.

En el caso que alguna de las partidas de cemento diera una velocidad de forjado excesivamente rápida por faltarle tiempo de ensilado se almacenará separada de las otras y se dejará descansar hasta comprobar que todas sus características han pasado a ser las adecuadas. Solo en éste caso y previa autorización de la Dirección de Obra, podrá utilizarse.

Si el período de almacenamiento del cemento ha sido superior a un mes se comprobará que 1a resistencia continúe siendo la adecuada. Por lo que dentro de los 20 días anteriores a su utilización se repetirán los ensayos de forjado y resistencia mecánica, sobre una muestra representativa del cemento sin excluir los terrones que se hubieran podido formar.

#### 5.2.1.1 Productos de adición.

Se consideran productos de adición aquellos que se utilicen añadidos al hormigón en pequeñas cantidades a fin de modificar algunas de sus características, como son reducir la retracción y aumentar su resistencia, manejabilidad, impermeabilidad, etc. tales como impermeabilizantes, plastificantes, aireantes, aceleradores de forjado, espumantes, productos de curado, etc.

La utilización de estos productos de adición está supeditada siempre a su aprobación por la Dirección de la Obra.

Estos productos precederán de empresas debidamente especializadas y que ofrezcan suficiente garantía a la Dirección de la Obra.

Antes de utilizar éstos productos será necesario que se justifique mediante los correspondientes ensayos, que añadidos en las debidas proporciones produzcan el efecto deseado en el hormigón sin perturbar las demás características, ni representar un peligro por las armaduras.

Se realizaran probetas, que se romperán a los 28 días para poder comparar sus características con las de otras probetas sin aditivo. Según el resultado de la mencionada comparación, se probará o no el uso del aditivo. La Dirección de la Obra establecerá el número preciso de probetas, en principio 6 con aditivo y 6 sin, además de los ensayos que estime oportunos.

No se podrá utilizar productos acelerantes del forjado del tipo del cloruro de calcio, sin un permiso especial y escrito de la Dirección de Obra y esto únicamente en hormigones en masa.

#### 5.2.1.2 Agua.

El agua que se utilice en el amasado de morteros y hormigones deberá reunir las condiciones prescritas en la vigente EH-91.

Las aguas que contengan cloruros en proporción de más de 6gr/l solo podrán utilizarse previa autorización de la Dirección de Obra en aquellos lugares que determine.

Se rechazará toda el agua cuyas características químicas no cumplan las condiciones siguientes:

- Contenido de anhídrido sulfúrico (SO), menor de 0,2 gr/l.
- Contenido de sulfatos expresados en ion SO, menor de 0,2 gr/l.
- Contenido de materia orgánica expresada en oxigeno consumido, menor de 0.3 gr/l.

- Contenido de sulfuras expresados en azufre, menor de 0,5 g/l.
- Exenta de hidratos de carbono en cualquier cantidad.
- Grado de acidez (pH) entre 4 y 8.

## 5.3 Armaduras.

### 5.3.1 Redondos de Acero.

El acero a utilizar en armaduras estará formado por barras corrugadas de alta adherencia. Podrá ser de dureza natural o endurecida por deformación en frío, y deberá proceder de factoría de reconocido prestigio, a estimación de la Dirección de la Obra.

El límite elástico característico será el indicado en los planos correspondientes, no pudiendo ser inferior a 5100 Kp/cm. Deberán tener las propiedades definidas por la EH-91 y cumplirán con la Norma UNE 36088/ 81.

A la llegada en obra de cada partida se realizará una presa de muestras, y sobre ésta se procederá a efectuar los ensayos de doblado y desdoblado que se mencionan en la EH-91 en al menos 1 por cada 500 metros lineales de cada uno de los calibres recibidos.

La Dirección de la Obra podrá ordenar la realización de los ensayos necesarios para determinar cualquier característica de interés. Si la partida fuera identificable y el Contratista presenta una hoja de ensayos redactada por un Laboratorio Oficial, se tendrá en cuenta la mencionada hoja, realizando únicamente los ensayos precisos para completar la información que se precise y ordene la Dirección de la Obra. Así mismo el ensayo de plegado se realizará ineludiblemente sobre todas las partidas.

Las armaduras se almacenaran de forma que no estén expuestas a una excesiva oxidación, ni se manchen de grasas, ligantes, aceites y otros productos que puedan perjudicar su adherencia.

### 5.3.2 Mallas electrosoldadas.

Las mallas electro soldadas estarán compuestas por dos sistemas de alambres, lisos o corrugados paralelos, formando ángulos rectos entre ellos y unidos mediante una soldadura eléctrica en ¡os puntos de contacto.

Las características y propiedades de las mallas y alambres serán las que figuren en la EH-91, con los parámetros fijados en los pianos.

Para su almacenamiento se tendrán presentes las indicaciones dadas en el punto anterior.

## 6. Carpintería de armar.

### 6.1.1 Maderas en general.

Las maderas utilizadas no tendrán otra limitación que la de estar sanas y con las dimensiones suficientes para ofrecer la necesaria resistencia, con objeto de poner al descubierto la seguridad de la obra y del personal que intervenga.

### 6.1.2 Maderas para encofrados.

Cumplirán lo previsto en la EH-91. Las maderas para encofrados tendrán el menor número posible de nudos y carecerán de defectos que puedan quedar marcados en el hormigón. Tendrán sus superficies lisas, especialmente las dedicadas a encofrados para hormigón visto.

### 6.1.3 Encofrados metálicos.

Las piezas metálicas para encofrados deberán ser lisas en la cara de contacto con el hormigón y dar una junta suficientemente estanca, en su unión con las piezas inmediatas. La Dirección de la Obra rechazará las piezas con abolladas, con rugosidades, defectos en los aparejos de unión y que no ofrezcan suficiente garantía de resistencia a las deformaciones. Todas las piezas deberán estar perfectamente limpias y sin óxido antes de su utilización.

### 6.1.4 Hierro y acero para elementos metálicos.

#### 6.1.4.1 Condiciones generales.

Los hierros y aceros deberán cumplir fas prescripciones indicadas en la vigente "Instrucción para la Redacción de Proyectos y Construcción de Estructuras Metálicas".

#### 6.1.4.2 Valores mínimos de ensayo a tracción.

Todas las piezas de acero laminado para construcciones metálicas, estarán exentas de exfoliaciones, láminas, estrías, fisuras, o pérdidas de sección superiores al 5%.

Las superficies serán regulares y los extremos escuadrados y sin rebordes, los defectos superficiales podrán ser eliminados siempre que la sección resultante cumpla la anterior tolerancia.

## 7. Ensayos.

Los ensayos se llevaran a término de la forma prevista en la "Instrucción para la redacción de Proyectos y Construcciones de Estructuras Metálicas" vigente.

Los aceros laminados en perfiles, placas, tubos, rejillas y pletinas deberán ser de grano fino y homogéneo. Su superficie será lisa y sana, sin grietas o señales que puedan comprometer su resistencia. Estarán bien calibrados cualquiera que sea su perfil y los extremos escuadrados y sin rebabas.

El acero será del tipo A 42-b definido en la vigente norma M.V. 102 del Ministerio de la Vivienda.

**8. Elementos de Albañilería.**

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales de origen industrial son los que especifican las Normas:

NBE-FL-1990: "Muros resistentes de fábrica de ladrillo'*.

NTE-FFB: "Fachadas de bloque".

NTE-FFL: "Fachadas de ladrillo".

NTE-EFB: "Estructuras de fábrica de bloque".

NTE-EFL: "Estructuras de fábrica de ladrillo".

NTE-EFP: "Estructuras de fábrica de piedra".

NTE-RPA: "Revestimiento de paramentos. Alicatados".

NTE-RPE: "Revestimiento de paramento. Enfoscados".

NTE-RPG: "Revestimiento de paramentos. Guarnecidos y enlucidos".

NTE-RPP: "Revestimiento de paramentos. Pinturas".

NTE-RPR: "Revestimiento de paramentos. Revocos".

NTE-RSS: "Revestimiento de escaleras y suelos. Soleras".

NTE-RSB: "Revestimiento de escaleras y suelos. Terrazos".

NTE-RSP: "Revestimiento de escaleras y suelos. Placas".

NTE-RTP: "Revestimiento de techos. Continuos".

NTE-PTL: 'Tabiques de ladrillo".

En las fábricas que hayan de quedar vistas, los ladrillos presentaran igualdad de coloración, siendo ésta uniforme, pero pudiendo variar en cada caso el tono y la intensidad de ella según el proceso de fabricación empleado.

Será de aplicación la norma UNE 7063 en relación con los ensayos de determinación de posibles eflorescencias, que supondrán la no aceptación del material que las posea.

Las tejas podrán ser curvas o planas, según las especificaciones del Proyecto. Deberán estar fabricadas con arcillas limpias y seleccionadas, sin presentar alabeos ni deformaciones; no tendrán caliches ni defectos que las hagan impropias para cumplir su función en la obra.

La resistencia de las tejas será tal que, colocadas en forma análoga a la que deberán tener en obra, soporten el peso de un hombre sin romperse. Deberán además ser impermeables, no absorbiendo más de un 2% del peso propio de agua después de 24 horas de inmersión en dicho líquido.

**9. Yesos.**

El yeso deberá estar bien cocido, molido y limpio de tierras, no admitiéndose el que tenga mas del 8 % de granzas. Deberá absorber, al amasarlo, una cantidad de agua igual por lo menos a su volumen, fraguando con rapidez, y una vez extendido, se exigirá que no se reblandezca ni presente grietas ni eflorescencias salitrosas.

En todas las obras, regirá el Pliego General de Condiciones para la recepción de yesos.

El yeso se empleará para todos los casos especificados en el Proyecto, y como norma general para guarnecidos, enlucidos y blanqueados. En estos casos las condiciones mínimas que deberán cumplir son las siguientes:

- El que se emplee en obras para guarnecidos maestreados será el llamado basto o pardo y de buena calidad.
- El empleado para enlucidos y blanqueados será yeso fino, bien cribado con criba de 100 mallas por centímetro cuadrado y de primera calidad.

Las designaciones, prescripciones, forma de realizar las tomas de muestras, métodos de ensayo, etc. de los distintos tipos de yesos, aparecen claramente indicados en el Pliego antes citado.

**10. Tuberías a Presión.**

**10.1 Características generales del acero.**

Las tuberías para conducir agua a presión serán de acero. El acero empleado en la fabricación de los tubos y piezas especiales será perfectamente soldable. A requerimiento del Director de Obra, el fabricante deberá presentar copia de los análisis de cada colada.

Los ensayos de soldadura se efectuarán a la recepción del material y consistirán en el plegado sobre junta soldada.

### 10.2 Pruebas en los tubos.

Las verificaciones y pruebas de recepción se ejecutarán en fábrica, previamente a la pintura o enlucidos de protección sobre el tubo. Los mecanismos de llaves y fontanería (ventosas, etc.) serán, por otra parte, sometidos a prueba de buen funcionamiento. Las llaves de compuerta serán sometidas a prueba de resistencia y estanquidad.

Serán obligatorias fas siguientes verificaciones y pruebas:

- Examen visual del aspecto general de todos los tubos.
- Comprobación de dimensiones, espesores y rectitud de los tubos.
- Pruebas de estanquidad.
- Pruebas de rotura por presión hidráulica interior sobre un tubo de cada lote.

Junto con las anteriores se realizaran obligatoriamente los ensayos a tracción sobre testigos del material y la prueba de soldadura sobre testigos de materiales o sobre tubo.

### 10.3 Ensayos a tracción.

Las probetas de tracción para el acero se cortarán de las chapas antes de la obtención de los tubos, tal como se indica en el Pliego de prescripciones técnicas generales para tuberías de abastecimiento de agua, del MOPU. Las probetas se someterán a tracción por medio de una máquina, dispositivos y métodos adecuados. Cuando la probeta de ensayo rompa fuera de la semilongitud central útil, debe repetirse la prueba con probetas procedentes de la misma chapa de la probada hasta obtener una rotura en la zona correspondiente a la semilongitud central útil.

### 10.4 Pruebas de soldadura.

El Director de Obra podrá escoger para los ensayos 2 tubos de cada lote de 100 tubos. Si alguna de las 2 muestras no alcanza los resultados que se establecen en el mencionado Pliego, podrán escogerse tantos nuevos tubos para ser probados como juzgue necesario el Director de Obra para considerar satisfactorio el resto del lote. Si las pruebas de soldadura de los nuevos tubos escogidos no fueran satisfactorios, se podrá rechazar el lote o, si así quisiera el fabricante, probar cada uno de los tubos del lote, siendo rechazados los que no alcanzaren los resultados que se señalan en el mencionado Pliego de prescripciones técnicas para tuberías de abastecimiento de agua.

### 10.5 Materiales que no se incluyen en el presente Pliego.

Los materiales que no se incluyen en el presente Pliego, y que hayan de ser empleados en la obra serán de reconocida calidad, habiendo presentado el Contratista cuantos catálogos, muestras, informes y certificados de los correspondientes fabricantes a la Dirección de Obra, a fin de obtener la aprobación de ésta.

La Dirección de Obra podrá rechazar aquellos materiales que no reúnan, a su parecer, la calidad y condiciones necesarias para la finalidad a la que estén destinadas.

La Dirección de Obra podrá señalar al Contratista un plazo breve para que retire de los terrenos de la obra los materiales rechazados. En caso de incumplimiento de esta orden, procederá a su retirada siendo los gastos que ocasione esta operación a cargo del Contratista.

## 11. Control de Calidad.

### 11.1 Generalidades.

Además de las condiciones especificadas en los artículos anteriores para los distintos materiales, éstos deberán cumplir las especificaciones más restrictivas entre esas y las siguientes, debiéndose realizar los ensayos especificados según la Norma y la periodicidad que se indican en cada caso:

### 11.2 Zahorras Naturales.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| Granulométrico | 104/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | % pasa # 0.080 ≤ 2/3 % pasa # 0.40<br>Curvas S1 ... S3 y $\phi$max < 1/2 espesor capa |
| Límite líquido de Atterberg | 105/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | LL < 25 |
| Límite plástico de Atterberg | 106/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | IP < 6 |
| Proctor modificado | 108/72 | 2 cada 1.000 m3 o 2 veces por semana | $\delta_{PM} \geq \delta_{proyecto}$ |
| CBR | 111/78 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | CBR > 20 |
| Equivalente arena | 113/72 | 1 cada 1.000 m3 o 2 veces por semana | EA > 30 |
| Materia orgánica | 117/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | MO ≤ 0.1 % |
| Desgaste Los Angeles | 149/72 | 1 cada 4.000 m3 o 1 vez cada 2 semana | Coeficiente < 50 |

*Tabla 1: Zahorras Naturales.*

## 11.3 Zahorras Artificiales.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| Granulométrico | 104/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | % pasa # 0.080 ≤ 1/3 % pasa # 0,40<br>Curvas Z1 ... Z3 y $\phi$max < 1/2 espesor capa |
| Límite líquido de Atterberg | 105/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | No plástico |
| Límite plástico de Atterberg | 106/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | No plástico |
| Proctor modificado | 108/72 | 2 cada 1.000 m3 o 1vez por semana | $\delta_{mu} \geq \delta_{proyecto}$ |
| CBR | 111/78 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | CBR > 20 |
| Equivalente arena | 113/72 | 1 cada 1.000 m3 o 2 veces por semana | EA > 30 |
| Materia orgánica | 117/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | MO ≤ 0.1 % |
| Desgaste Los Angeles | 149/72 | 1 cada 4.000 m3 o 1 vez cada 2 semana | Coeficiente < 35 |
| % elementos con 2 o mas caras fracturadas sobre fracción retenida # 5. | 358/74 | 1 cada 4.000 m3 o 1 vez cada 2 semana | > 50 % en peso |

*Tabla 2: Zahorras Artificiales.*

## 11.4 Zahorras Naturales o Artificiales Drenantes o Filtrantes.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Granulométrico (terreno y zahorras) | 104/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | Ver criterios de filtro |
| Límites de Atterberg | 105-106/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | IP zahorras = 0 (No plástico) |
| Proctor modificado | 108/72 | 2 cada 1.000 m3 o 2 veces por semana | $\delta_{mu}$ (zahorras) $\geq \delta_{proyecto}$ |
| CBR | 111/78 | 1 cada 2.000 m3 o 1vez por semana | CBR (zahorras) > 20 |
| Equivalente arena | 113/72 | 1 cada 1.000 m3 o 2 veces por semana | EA (zahorras) > 35 |
| Materia orgánica | 117/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | MO (zahorras) ≤ 0.1 % |
| Desgaste Los Angeles | 83116 | 1 cada 4.000 m3 o 1 vez cada 2 semana | Coeficiente (zahorras) < 50 |

*Tabla 3: Zahorras Naturales o Artificiales Drenantes o Filtrantes.*

## 11.5 Material Drenante.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| Análisis granulométrico (filtro y dren) | 104/72 | 1 cada 2.000 m3 o 1 vez por semana | Ver criterios de filtro |
| Límites de Atterberg | 105-106/72 | 1 cada 500 m3 | IP (dren) = 0 (plástico) |
| Proctor modificado | 108/72 | 1 cada 500 m3 | $\delta_{mu} \geq \delta_{proyecto}$ |
| Equivalente arena | 113/72 | 1 cada 500 m3 | EA dren > 20 |
| Desgaste Los Angeles | 83116 | 1 cada 500 m3 | EA > 30<br>Coeficiente < 50 |

*Tabla 4: Material Drenante.*

## 11.6 Criterios de Filtro.

| TAMIZ 200 ASTM | TIPO SUELO | TAMIZ 4 ASTM (1) | CONDICIONES DE FILTRO I | TIPO DE FILTRO | CONDICIONES DE FILTRO II | CURVA GRANULOMÉTRICA DEL SUELO | UNIFORMIDAD | AUTOESTABILIDAD Sherard (3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.074 ≥ $\varnothing_{85}^{terreno}$ | Arcillas y limos arcillosos | 5 ≥ $\varnothing_{85}^{terreno}$ | $\varnothing_{15}^{filtro} < 9\ \varnothing_{85}^{terreno}$ | Arenas o gravas arenosas [1] con $\varnothing_{15}^{filtro} \in (0.2 \ldots 0.7)$ | $\varnothing_{85}^{filtro} < 50$ $\varnothing_{15}^{filtro} < 5$ | Se aplican los criterios independiente de la curva | $\varnothing_{60}^{filtro} / \varnothing_{10}^{filtro} <$ - | $I_F = \varnothing_{15}^{filtro} / \varnothing_{85}^{filtro} < 5$ $\varnothing_{15}^{filtro} > 0.074$ |
| 0.074 $\in (\varnothing_{85}^{terreno} \ldots \varnothing_{85}^{terreno})$ | Arcillas o limos arenosos y arenas arcillosas o limosas. | 5 ≥ $\varnothing_{85}^{terreno}$ | $\varnothing_{15}^{filtro} < 0.7$ | Arenas o gravas arenosas [1] con $\varnothing_{15}^{filtro} \in (0.5 \ldots 1)$ | $\varnothing_{85}^{filtro} < 50$ $\varnothing_{15}^{filtro} < 5$ | Se aplican los criterios independiente de la curva | $\varnothing_{60}^{filtro} / \varnothing_{10}^{filtro} <$ - | $I_F = \varnothing_{15}^{filtro} / \varnothing_{85}^{filtro} < 5$ $\varnothing_{15}^{filtro} > 0.074$ |
| 0.074 $\in (\varnothing_{15}^{terreno} \ldots \varnothing_{85}^{terreno})$ | Intermedio | 5 ≥ $\varnothing_{85}^{terreno}$ | $\varnothing_{15}^{filtro} < (40\text{-}p) / (40\text{-}15) * [4\ \varnothing_{85}^{terreno} \text{-} 0.7]$ | $\varnothing_{15}^{filtro} \in (7.5 \ldots 9)\ \varnothing_{85}^{terreno}$ | | Se aplican los criterios uniformes. Si presenta discontinuidades se dimensiona respecto la porción fina de la curva del suelo. | $\varnothing_{60}^{filtro} / \varnothing_{10}^{filtro} <$ - | $I_F = \varnothing_{15}^{filtro} / \varnothing_{85}^{filtro} < 5$ $\varnothing_{15}^{filtro} > 0.074$ |
| 0.074 < $\varnothing_{85}^{terreno}$ | Arenas y gravas arcillosas | | $\varnothing_{15}^{filtro} < 4\ \varnothing_{85}^{terreno}$ | | | Se aplican los criterios uniformes. Si presenta discontinuidades se dimensiona respecto la porción fina de la curva del suelo. | $\varnothing_{60}^{filtro} / \varnothing_{10}^{filtro} <$ - | $I_F = \varnothing_{15}^{filtro} / \varnothing_{85}^{filtro} < 5$ $\varnothing_{15}^{filtro} > 0.074$ |

Los datos numéricos están expresados en milímetros.
El material del filtro que pasa por el tamiz 200 ASTM tiene que ser no cohesivo.
$K^{filtro}$ = Tiene que ser unas 20 veces superior a la $K^{terreno}$, y mejor si lo es 50 veces o mas.
$\varnothing_j^a$= el j % de las partículas del material a tienen un $\varnothing < \varnothing_j^a$. Por ejemplo: $\varnothing_5^{filtro}$ = 5 mm = el 15 % de las partículas del filtro tienen un diámetro igual o menor que 5 mm.
p = porcentaje de elementos que pasan por el tamiz 200 ASTM.
(1) = Cribado de suelo con tamiz 4 según resultado del cribado con el tamiz 200. Las condiciones de filtro se ha de cumplir en la fracción del terreno que pasa por este tamiz.
(2) = Condiciones a satisfacer por el filtro formado por gravas arenosas.
(3) = Este criterio se ha de comprobar para cualquier separación arbitraria del filtro en dos mitades (gruesa y fina).

*Tabla 5: Criterios de Filtro.*

## 11.7 Zahorras Naturales o Artificiales Drenantes o Filtrantes. Material Drenante.

| ZAHORRA NATURAL O ARTIFICIAL DRENANTE O FILTRANTE | | MATERIAL DRENANTE | |
|---|---|---|---|
| TIPO DE TERRENO A DRENAR | | TIPO DE TERRENO A DRENAR | |
| COHESIVO | NO COHESIVO | FILTRO NO COHESIVO | |
| $\%_{pasa}^{zahorra}$ #80 = 100 %<br>$\%_{pasa}^{zahorra}$ #0.080 < 5 %<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} < 0.1$<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} / \varnothing_{15}^{terreno} > 5$<br>$\varnothing_{50}^{zahorra} / \varnothing_{50}^{terreno} < 25$<br>$\varnothing_{60}^{zahorra} / \varnothing_{10}^{terreno} < 20$ | $\%_{pasa}^{zahorra}$ #80 = 100<br>$\%_{pasa}^{zahorra}$ #0.080 < 5 %<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} / \varnothing_{85}^{terreno} < 5$<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} / \varnothing_{15}^{terreno} > 25$<br>$\varnothing_{50}^{zahorra} / \varnothing_{50}^{terreno} < 25$<br>$\varnothing_{60}^{zahorra} / \varnothing_{10}^{terreno} < 20$ | $\%_{pasa}^{dren}$ #80 = 100<br>$\%_{pasa}^{dren}$ #0.080 < 5 %<br>$\varnothing_{15}^{dren} / \varnothing_{85}^{filtro} < 5$<br>$\varnothing_{15}^{dren} / \varnothing_{15}^{filtro} > 25$<br>$\varnothing_{50}^{dren} / \varnothing_{50}^{filtro} < 25$<br>$\varnothing_{60}^{dren} / \varnothing_{10}^{filtro} < 20$ | |
| COMPACTADO HOMOGÉNEO SIN ARENA FINA O LIMOS | CON ARENA FINA Y LIMOS | FILTRO CON ARENA FINA Y LIMOS | |
| $\varnothing_{15}^{zahorra} < 0.4$<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} > 0.1$<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} / \varnothing_{50}^{terreno} < 25$<br>$\varnothing_{60}^{zahorra} / \varnothing_{10}^{terreno} < 20$ | $\varnothing_{15}^{zahorra} < 1$<br>$\varnothing_{15}^{zahorra} / \varnothing_{85}^{terreno} > 5$<br>$\varnothing_{50}^{zahorra} / \varnothing_{50}^{terreno} < 25$<br>$\varnothing_{60}^{zahorra} / \varnothing_{10}^{terreno} < 20$ | $\varnothing_{15}^{dren} < 1$<br>$\varnothing_{15}^{dren} / \varnothing_{85}^{filtro} > 5$<br>$\varnothing_{50}^{dren} / \varnothing_{50}^{filtro} < 25$<br>$\varnothing_{60}^{dren} / \varnothing_{10}^{filtro} < 20$ | |
| SISTEMA DE DRENAJE | | SISTEMA DE DRENAJE | |
| TIPO DE TUBO | PARÁMETRO | TIPO DE TUBO | PARÁMETRO |
| Con juntas abiertas<br>Perforados<br>Hormigón poroso<br>Con espiga | $\varnothing_{85}^{zahorra} / e^{junta} > 1.20$<br>$\varnothing_{85}^{zahorra} / \varnothing^{agujero} > 1$<br>$\varnothing_{85}^{zahorra} / \varnothing^{granulado} > 0.2$<br>$\varnothing_{85}^{zahorra} / \varnothing^{espiga} > 1$ | Con juntas abiertas<br>Perforados<br>Hormigón poroso<br>Con espiga | $\varnothing_{85}^{dren} / e^{junta} > 1.20$<br>$\varnothing_{85}^{dren} / \varnothing^{agujero} > 1$<br>$\varnothing_{85}^{dren} / \varnothing^{granulado} > 0.2$<br>$\varnothing_{85}^{dren} / \varnothing^{espiga} > 1$ |

*Tabla 6: Zahorras naturales o artificiales drenantes o filtrantes. Material drenante.*

## 11.8 Escollera para revestimientos.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| Geometría | | 1 cada 500 m3 | Bloques paralelepípedos con una cara plana<br>Wunitario ≥500 kp.<br>L aristas ≥0.5 m y Lmin/Lmax < 2<br>$W_{CaCO3}$ / $W_o$ ≥95 % |
| Composición química | 116/72 | 1 cada 5.000 m3 | γ ≥2.500 kp / m3 |
| Peso específico | | 1 cada 5.000 m3 | Wf - Wo / Wf ≤5 % |
| Absorción de agua | 83133 | 1 cada 5.000 m3 | No debe presentar alteraciones |
| Resistencia a las heladas | 22184 | 1 cada 5.000 m3 | f c,real ≥500 Kp/cm2 |
| Resistencia a compresión | 148/72<br>305/90 | 1 cada 5.000 m3 | Coeficiente ≤35 |
| Desgaste Los Angeles | 149/72 | 1 cada 5.000 m3 | Wo - Wf / Wf ≤10 % |
| Fiabilidad<br>Estabilidad a los sulfatos | 158/72 | 1 cada 5.000 m3 | |

*Tabla 7: Escollera para revestimientos.*

## 11.9 Hormigones.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| AGUA | | | |
| Sustancias disueltas | 7130 | | [ ] ≤15 gr / l |
| Sulfatos expresados en SO4 | 7131 | | [SO4] ≤1 gr / l |
| Hidratos de carbono | 7132 | | No existirán |
| Cloruros en Cl⁻ | 7178 | | [Cl] ≤6 gr / l |
| Exponente de hidrógeno pH | 7234 | | pH ≥5 |
| Sustancias orgánicas solubles en éter | 7235 | | [ ] ≤15 gr / l |
| ARENA | | | |
| Densidad | | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | $Color_{muestra} \geq Color_{patrón}$ |
| Contenido materia organica | 7082 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ( ≥= mas oscuro ) |
| Terrones de arcilla | 7133 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤1 % |
| Finos que pasan #0.080 | 7135 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤6 % |
| Reactividad potencial con los álcalis del cemento | 7137 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | No debe presentar |
| Fiabilidad de la arena | 83115 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | IF ≤ 40 |
| Compuestos de azufre | 83120 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤ 0.4 % granulado seco |
| Equivalente de arena | 83131 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | EA ≥75 |
| Absorción de agua | 83133 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | Wf - Wo / Wf ≤5 % |
| Análisis granulométrico | 104/72 | 1 cada semana | Curva ± 10 % Dosificación |
| Humedad | 102/72 | 1 cada día | Ajuste del agua de dosificación |
| GRAVAS | | | |
| | | | ≤0.25 % |
| Densidad | | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤5 % |
| Terrones de arcilla | 7133 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤1 % |
| Partículas blandas | 7134 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | Wo - Wf / Wo ≤18 % |
| Finos que pasan # 0.080 | 7135 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | No debe presentar |
| Resistencia al ataque del sulfato magnésico | 7136 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | CF ≥0.15 % |
| Reactividad potencial con los álcalis del cemento | 7137 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤0.5 % |
| Coeficiente de forma | 7238 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | Coeficiente ≤0.5 |
| Material retenido por el # 0.063 que flota en un líquido de γ= 2 gr/cm3. | 7244 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | Coeficiente ≤40 |
| Desgaste de Los Angeles | 83116 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | ≤0.4 % granulado seco |
| Compuestos de azufre | | | |
| Absorción de agua | 83120 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m. | Wf - Wo / Wf ≤5 % |
| Análisis granulométrico | 83133<br>104/72 | 1 cada 5.000 m3 o 1 cada 6 m.<br>1 cada semana | Curva ± 10 % Dosificación |

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CEMENTOS | | | | 2 DIAS (min) | 7 DIAS (min) | 28 DIAS | |
| Resistencia a compresión | 80101 | 1 cada 500 T | | | | (min) | (máx) |
| | | | 55 A | 30 | -- | 55 | -- |
| | | | 55 | 25 | -- | 55 | -- |
| | | | 45 A | 20 | -- | 45 | 65 |
| | | | 45 | -- | 30 | 45 | 65 |
| | | | 35 A | 13.5 | -- | 35 | 55 |
| Principio y final de fragua | 80102 | 1 cada 500 T | 35 | -- | 20 | 35 | 55 |
| | | | 25 | -- | 15 | 25 | -- |
| Principio y fin de fraguado | 80102 | 1 cada 500 T | | TIPO I | | TIPO I - O | |
| | | | | Después de | Antes de | Después de | Antes de |
| | 80103 | 1 cada 500 T | | | | | |
| | 80215 | 1 cada 500 T | 55 | 45 ´ | 12 h | 45 ´ | 12 h |
| | 80215 | 1 cada 500 T | 45 | 60 ´ | 12 h | 60 ´ | 12 h |
| | 80215 | 1 cada 500 T | 35 | 60 ´ | 12 h | 60 ´ | 12 h |
| | 80215 | 1 cada 500 T | 25 | 60 ´ | 12 h | 60 ´ | 12 h |
| | | | | TIPO I | | TIPO I - O | |
| Agujas de Le Chatelier | 80103 | 1 cada 500 T | 55,45,35 | Expansión ≤10 mm | | Expansión ≤10 mm | |
| Pérdida al fuego | 80215 | 1 cada 500 T | 55, 45, 35 | PF ≤5 % | | PF ≤3.5 % | |
| Residuo insoluble | 80215 | 1 cada 500 T | 55,45, 35 | RI ≤5 % | | RI ≤2.5 % | |
| Cloruros | 80215 | 1 cada 500 T | 55, 45, 35 | Cl ≤0.1 % | | Cl ≤0.1 % | |
| Trióxido de azufre | 80215 | 1 cada 500 T | 55 | SO3 ≤4.5 % | | SO3 ≤4.5 % | |
| | | | 45 | SO3 ≤4.5 % | | SO3 ≤4.5 % | |
| | | | 35 | SO3 ≤4 % | | SO3 ≤4 % | |

*Tabla 8: Hormigones.*

## 11.10 Mortero de Cementos.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| AGUA | | | |
| Sustancias disueltas | 7130 | | [ ] ≤15 gr / l |
| Sulfatos expresados en SO4 | 7131 | | [ SO4 ] ≤1 gr / l |
| Hidratos de carbono | 7132 | | No existirán |
| Cloruros en Cl⁻ | 7178 | | [ Cl ] ≤6 gr / l |
| Exponente de hidrógeno pH | 7234 | | pH ≥5 |
| Sustancias orgánicas solubles en éter | 7235 | | [ ] ≤15 gr / l |
| ARENA | | | |
| Densidad | | 1 cada fracción | |
| Contenido materia orgánica | 7082 | 1 cada fracción | Color $_{disolución}$ ≥Color $_{patrón}$ ( ≥ = mas oscuro ) ≤1 % |
| Terrones de arcilla | 7133 | 1 cada fracción | ≤6 % |
| Finos que pasan #0.080 | 7135 | 1 cada fracción | No debe presentar |
| Reactividad potencial con los álcalis del cemento | 7137 | 1 cada fracción | IF ≤ 40 |
| Friabilidad de la arena | 83115 | 1 cada fracción | ≤ 0.4 % granulado seco |
| Compuestos de azufre | 83120 | 1 cada fracción | EA ≥75 |
| Equivalente de arena | 83131 | 1 cada fracción | Wf - Wo / Wf ≤5 % |
| Absorción de agua | 83133 | 1 cada fracción | Curva ± 10 % Dosificación |
| Análisis granulométrico | 104/72 | 1 cada semana | Ajuste del agua de dosificación |
| Humedad | 102/72 | 1 cada día | |

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CEMENTOS | | | | 2 DIAS (mín) | 7 DIAS (mín) | 28 DIAS | |
| Resistencia a compresión | 80101 | 1 cada fracción | | | | (mín) | (máx) |
| | | | 55 A | 30 | – | 55 | – |
| | | | 55 | 25 | – | 55 | – |
| | | | 45 A | 20 | – | 45 | 65 |
| | | | 45 | – | 30 | 45 | 65 |
| | | | 35 A | 13.5 | – | 35 | 55 |
| | 80102 | | 35 | – | 20 | 35 | 55 |
| | | | 25 | – | 15 | 25 | – |
| Principio y fin de fraguado | 80102 | 1 cada fracción | | TIPO I | | TIPO I - O | |
| | | | | Después de | Antes de | Después de | Antes de |
| | 80103 | | | | | | |
| | 80215 | | 55 | 45 ' | 12 h | 45 ' | 12 h |
| | 80215 | | 45 | 60 ' | 12 h | 60 ' | 12 h |
| | 80215 | | 35 | 60 ' | 12 h | 60 ' | 12 h |
| | 80215 | | 25 | 60 ' | 12 h | 60 ' | 12 h |
| | | | | TIPO I | | TIPO I - O | |
| Agujas de Le Chatelier | 80103 | 1 cada fracción | 55,45,35 | Expansión ≤10 mm | | Expansión ≤10 mm | |
| Pérdida al fuego | 80215 | 1 cada fracción | 55, 45, 35 | PF ≤5 % | | PF ≤3,5 % | |
| Residuo insoluble | 80215 | 1 cada fracción | 55,45, 35 | RI ≤5 % | | RI ≤2,5 % | |
| Cloruros | 80215 | 1 cada fracción | 55, 45, 35 | Cl ≤0.1 % | | Cl ≤0.1 % | |
| Trióxido de azufre | 80215 | 1 cada fracción | 55 | SO3 ≤4.5 % | | SO3 ≤4.5 % | |
| | | | 45 | SO3 ≤4.5 % | | SO3 ≤4.5 % | |
| | | | 35 | SO3 ≤4 % | | SO3 ≤4 % | |

*Tabla 9: Mortero de Cementos.*

## 11.11 Barras de Acero Corrugado.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| CONTROL DE MATERIALES | | | |
| Identificación | 36068 / 36088 | | Requisitos este Pliego |
| Certificados de adherencia | | | Requisitos este Pliego |
| Doblado simple | 36068 / 36088 | 2 probetas cada ⌀cada 20 Tn | No deben presentar grietas |
| Doblado-desdoblado | 36068 / 36088 | 2 probetas cada ⌀cada 20 Tn | No deben presentar grietas |
| Ensayo a tracción | 36401 | 2 probetas cada ⌀cada 20 Tn con un mínimo de 3 ensayos. | TIPO $F_y$ $F_s$ $\varepsilon_u$ $F_s/F$<br>AEH 400 N 4100 5300 16 1.05<br>AEH 400 F 4100 4500 14 1.05<br>AEH 500 N 5100 6100 14 1.05<br>AEH 500 F 5100 5600 12 1.05<br>AEH 600 N 6100 7100 12 1.05<br>AEH 600 F 6100 6700 10 1.05 |
| CONTROL GEOMÉTRICO | | | |
| Masa y sección transversal | 36068 / 36088 | 2 probetas cada ⌀cada 20 Tn | ⌀ %<br>6 - 25 - 5<br>32 - 50 - 4 |
| Ovalidad | 36068 / 36088 | 2 probetas cada ⌀cada 20 Tn | ⌀ ⌀máx. - ⌀mín.<br>6 - 8 1.0<br>10 - 14 1.5<br>16 - 25 2.0<br>32 - 50 2.5 |
| Resaltos<br>a) Ancho<br>b) Altura<br>c) Separación<br>d) Ángulo | 36068 / 36088 | 2 probetas cada ⌀cada 20 Tn con un mínimo de 3 ensayos. | $a \leq 1{,}20\ a_{homologado}$<br>$h \geq h_{homologado}$<br>$s \leq s_{homologado}$<br>$\alpha = \alpha_{homologado} \pm 5$ |

*Tabla 10: Barras de acero corrugado.*

### 11.12 Mallas electro soldadas.

| Ensayos | UNE / NLT | MUESTREO | CRITERIOS ACEPTACIÓN |
|---|---|---|---|
| CONTROL DE MATERIALES | | | |
| Identificación | 36092 | | Requisitos este Pliego |
| Certificados de adherencia | | | Requisitos este Pliego |
| Doblado simple | 36092 | 2 probetas cada ø cada 20 Tn | No deben presentar grietas |
| Doblado-desdoblado | 36092 | 2 probetas cada ø cada 20 Tn | No deben presentar grietas |
| Ensayo a tracción | 36401 | 2 probetas cada ø cada 20 Tn con un mínimo de 3 ensayos. | TIPO $F_y$ $F_s$ $\varepsilon_k$ $F_s/F$<br>AE 50 T 4100 5300 16 1.05<br>AE 60 T 4100 4500 14 1.05 |
| CONTROL GEOMÉTRICO | | | |
| Masa y sección transversal | 36092 | 2 probetas cada ø cada 20 Tn | ø %<br>4 - 12 - 5 |
| Ovalidad | 3609 | 2 probetas cada ø cada 20 Tn | ø ømáx. - ømín.<br>4 - 8 1.0<br>10 - 12 1.5 |
| Resaltos | 36092 | 2 probetas cada ø cada 20 Tn. | |
| a) Ancho | | | $a \leq 1{,}20\, a_{homologado}$ |
| b) Altura | | | $h \geq h_{homologado}$ |
| c) Separación | | | $s \leq s_{homologado}$ |
| d) Ángulo | | | $\alpha = \alpha_{homologado} \pm \varepsilon$ |

*Tabla 11: Mallas electrosoldadas.*

## 12. Condiciones de Ejecución.

### 12.1 Replanteos.

El replanteo previo de las obras a que se refiere el artículo 24 de la Ley de Contratos del Estado (7-HI-73) y el artículo 81 de su reglamento (D. 3410/1975 de 25 de marzo) se efectuará en presencia del Contratista, teniendo por objeto comprobar la realidad geométrica de la obra y la disponibilidad de los terrenos levantándose la oportuna acta con los resultados de ésta comprobación.

Este replanteo dejará fijadas las necesarias referencias de nivel y planta así como los ejes de cada parte de la obra, siendo el Contratista responsable del mantenimiento y conservación de éstas referencias así como de su posible reposición.

Los replanteos de detalle de cada perfil u obra parcial se ejecutaran por el Contratista y la Dirección de la Obra comprobará siempre que lo considere conveniente, su exactitud sin que su conformidad disminuya la responsabilidad del Contratista.

Todos los gastos originados por el replanteo previo y los parciales son por cuneta del Contratista.

## 13. Instalaciones y medios auxiliares.

Todas las instalaciones y medios auxiliares para la ejecución de las obras del presente Pliego, son por cuenta y riesgo del Contratista, tanto en su proyecto como en su ejecución y explotación.

El Contratista deberá presentar, a requerimiento de la Dirección de la Obra, los planos y características técnicas de las instalaciones auxiliares para la ejecución de las obras.

## 14. Movimiento de Tierras.

### 14.1 Preparación del Terreno.

Consiste en extraer y retirar de las zonas designadas todos los árboles, tocones, plantas, malezas, escombros y basuras o cualquier otro material indeseable a juicio de la dirección de obra.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Remoción de los materiales objeto del desbroce.
- Retirada de estos materiales su transporte a vertedero.

Las operaciones de remoción se efectuarán con las precauciones necesarias para conseguir las condiciones de seguridad suficientes y evitar daños en las construcciones existentes, de acuerdo con lo que sobre el particular ordene la Dirección de la Obra, observándose en todo momento las prescripciones para el desbroce de terreno dadas en el P.G-3 (Pliego de prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes).

En los desmontes, todos los tocones y raíces mayores de 10 centímetros serán eliminados hasta una profundidad no inferior a 50 centímetros por debajo de la explanada.

Del terreno natural sobre el que tiene que asentarse un relleno, se eliminaran todos los tocones o raíces con diámetro superior a diez centímetros de forma que no quede ninguna dentro del cemento del relleno, a menos de quince centímetros de profundidad bajo los terraplenes de cota inferior a treinta y cinco centímetros hasta una profundidad de cincuenta centímetros de la explanada. Juntamente con esta operación se retirará la capa de tierra vegetal, nunca en un espesor menor de veinte centímetros y se dispondrán en las proximidades para su posterior utilización o se transportará a vertedero a juicio de la Dirección de Obra.

**14.2 Excavaciones.**

Las distintas excavaciones se establecen como "no clasificadas' entendiéndose que el terreno es homogéneo con independencia de las características de las capas o estratos que realmente se presentan.

El Contratista en base al replanteo general levantará perfiles transversales después de efectuada fa operación de desbroce y retirada de la capa de tierra vegetal en los lugares que indique la Dirección de la Obra, dejando señales para la posterior comprobación por parte de ésta, facilitando el personal y medios necesarios al topógrafo de la Administración sin cargo alguno.

**14.3 Excavaciones a cielo abierto.**

Se ejecutaran de la forma y condiciones que se indican en el P.G.-4

**15. Excavación de Zanjas y Pozos.**

Se ejecutará de la forma y condiciones que se indican en el P.G.-4. Las excavaciones en zanja se profundizaran hasta el límite indicado en los Planos y en la forma que fije la Dirección de la Obra.

Las corrientes de aguas pluviales o subterráneas que pudieran presentarse, se cegaran o desviaran de la forma y empleando los medios que prevea el Contratista debiendo ser aprobados por la Dirección de la Obra.

El Contratista tendrá que aportar los medios de agotamiento necesarios para tratar de conseguir que las excavaciones se ejecuten en seco.

Si como consecuencia de avenidas, rotura de ataguías u otras causas que ocasionen trastorno o inundaciones en la cimentación de las obras, se produjeran averías y desperfectos, se repararan de la forma que indique la Dirección de la Obra.

Si del reconocimiento practicado en el terreno al iniciarse las excavaciones, resultara la conveniencia de variar el sistema de cimentación propuesto, se reformará el Proyecto con las modificaciones que procedan, suspendiéndose mientras tanto los trabajos que correspondan a la parte modificada.

El fondo y las paredes laterales de las excavaciones en las que posteriormente haya de colocarse hormigón, deberán tener un perfecto acabado de acuerdo con las líneas y pendientes indicadas en los Planos respectivos; los materiales sueltos de las superficies así preparadas deberán humedecerse y compactar con las herramientas o elementos adecuados con la finalidad de conseguir un buen cimiento.

La Dirección de la Obra juzgará la necesidad o no de entibaciones; en los casos en que se prevea su utilización y el Contratista proponga de forma justificada la realización de las excavaciones sin entibar, la Dirección de Obra podrá autorizarlo sin que esto suponga ninguna responsabilidad subsidiaria. Así mismo, los aumentos de excavación y extracción de desprendimientos que pudieran derivarse de la autorización no serán computables a efectos de abono.

**16. Depósito de los productos procedentes de excavaciones y limpieza de terrenos.**

La Dirección de la Obra decidirá sobre el posterior uso del material objeto de desbroce o le las excavaciones.

Los materiales procedentes de desbroce o de las excavaciones que hayan de ser posteriormente utilizados se acopiaran y transportaran de la forma y a los lugares que indique el Contratista previa autorización de la Dirección de Obra.

**17. Excavación en zona de préstamo.**

La Dirección de Obra fijará o autorizará en su caso fas zonas en que pueda realizarse esta excavación. El Contratista someterá a la previa aprobación de la Dirección de Obra el equipo de excavación que piensa utilizar.

Antes de empezar las excavaciones se procederá a preparar el área de préstamo retirando la capa de tierra vegetal y otros materiales que pudieran aparecer y sean inadecuados.

Las excavaciones en las áreas de préstamo deberán hacerse de forma que se dé libre salida a las aguas. El Constructor deberá recabar la autorización de la Dirección de obra para los Planos de trabajo que vaya realizando.

Una vez acabada la excavación, las áreas de préstamo deberán dejarse en buenas condiciones, sin que en ellas se produzcan charcos ni obstrucciones al paso. Los caballeros formados con materiales que hayan resultado inutilizables, deberán quedar con las superficies y taludes alisados.

Los medios de transporte de los materiales excavados que el Contratista necesite utilizar, serán sometidos a la previa aprobación por parte de la Dirección de la Obra.

**18. Trabajos complementarios. Entibaciones y Voladuras.**

- Trabajos complementarios. Son los que se precisan para la ejecución de las excavaciones, transporte, y vertido de materiales en caballeros y formación de éstos, entre otros.
  No se podrá preceder al macizado de zanjas o a la construcción de cimientos hasta que no hayan sido totalmente excavadas y reconocidas por la Dirección de Obra, facilitando el Contratista los medios auxiliares que se precisen y ejecutando a su cargo todos los trabajos, calas, sondeos o pozos necesarios para este reconocimiento.
- Entibaciones. Es obligación del Contratista ejecutar las entibaciones necesarias para asegurar el terreno y evitar accidentes a los obreros.
- Voladuras. Cuando sea preciso en uso de barrenos se tomaran precauciones y se solicitaran las autorizaciones necesarias, cumpliéndose escrupulosamente lo prescrito en el Reglamento de Explosivos y cuantas disposiciones oficiales estén vigentes en el momento de realizarse las obras.

**19. Movimiento de tierras: Terraplenados.**

Se prevé la utilización de productos de excavación para la formación de terraplenes indicados en el Proyecto, seleccionando convenientemente aquellos productos para que cumplan las condiciones establecidas.

En caso de que no se diera esta posibilidad, se utilizaran terrenos procedentes de préstamos. La ejecución de esta unidad de obra se realizará según se indica en el PG.4, complementado con las indicaciones siguientes:

Las densidades exigibles serán las indicadas en los Planos.

**19.1 Humedad.**

Cada tongada deberá compactarse con el contenido de humedad preciso, teniendo en cuenta los ensayos Proctor realizados, para que se pueda llegar al grado de compactación exigido este Pliego.

Se considerará como grado de humedad preciso a la humedad óptima deducida de los ensayos Proctor, tolerándose una variación de más o menos el +/- 2 % con respecto a dicho grado de humedad.

En el caso de que el material que se extrae de los préstamos o de la obra tuviera un grado de humedad más alto que el límite admisible, se tendrá en caballeros removiéndose periódicamente con equipo adecuado a este fin, hasta la pérdida del agua sobrante.

Si después de distribuir el material se comprueba que su humedad es superior a la prescrita, se removerá con arado, gradas, etc. hasta que por evaporación pierda la cantidad de agua que tenga en exceso.

El Contratista deberá suspender un trabajo de compactación siempre que, a juicio de la Dirección de Obra, no pueda efectuarse en buenas condiciones a causa de la lluvia u otras condiciones meteorológicas con humedad excesiva.

Si el grado de humedad de los materiales al ser excavados fuera inferior al debido para su consolidación, podrán ser distribuidos en obra, dándoles posteriormente el grado de humedad conveniente por medio de riegos. Estos se efectuarán con medios que deberán ser aprobados previamente por la Dirección de Obra y deberán distribuir el agua con uniformidad y sin chorros violentos dirigidos directamente al material, para evitar arrastres de las partículas finas del mismo.

**19.2 Determinación del espesor de tongadas y del número de pasadas del compactador.**

El espesor a dar a cada tongada depende fundamentalmente del peso y características del rodillo compactador, por la cual cosa será preceptivo realizar ensayos previos a la compactación con el rodillo o rodillos que vayan a utilizarse en la ejecución de toda la obra.

A la vista de estos ensayos, la Dirección de la Obra fijará el espesor de la tongada y el número de pasadas que ha de darse en la compactación del terraplén.

Excepto en aquellas zonas en que por otras razones constructivas se prescribe en este Pliego un espesor máximo de tongada que no deberá ser sobrepasado, se elegirá como espesor de tongada al máximo que pueda conseguirse con los medios de compactación que vaya a utilizarse, tomando un cierto margen de seguridad para tener la convicción de que incluso en la capa inferior de la tongada se llega a la compacidad exigida en éste Pliego. Análogamente el número de pasadas que se adopte excederá en una o dos pasadas al número estrictamente necesario para conseguir la compacidad que prescribe este Pliego.

## 19.3 Prescripciones especiales para la ejecución de terraplenes.

El espesor máximo de cada tongada no será mayor de 30 cm, aunque en los ensayos de compactación se dedujera que se puede lograr buena compactación con espesores mayores.

Antes de empezar el extendido de cada nueva capa se harán los ensayos necesarios definidos en el apartado siguiente para asegurarse de que toda la capa inferior tiene una compacidad igual o mayor que la exigida. Además, si la compactación se realizase con rodete liso, será imprescindible escarificar la superficie con grada de discos u otra máquina similar hasta poder garantizar que se genera una buena unión entre la capa inferior, ya compactada, y la que se extenderá sobre ella.

Se procurará que en el momento de ser extendido el material tenga el grado de humedad comprendido dentro de los límites de fijados en el apartado a) y en caso contrario, se realizaran las labores de corrección que indica el mencionado apartado.

Antes de iniciar la compactación se harán los ensayos necesarios para tener la certeza de que todo el material a compactar tiene un grado de humedad dentro de los límites anteriormente especificados.

En épocas de lluvias se organizaran los trabajos de forma que el agua pluvial pueda evacuarse fácilmente evitándose la formación de charcos en superficie así como degradaciones del material.

Se suspenderá la ejecución cuando el material esté helado o cuando su temperatura pueda descender por debajo de los 0 °C. Al efecto, no se compactará cuando la temperatura del ambiente sea igual o menor que 2 grados centígrados.

En cualquier caso, la Dirección de la Obra determinará los momentos o períodos en que por impedimentos climatológicos no se puedan efectuar los trabajos definidos en este artículo.

Si a pesar las precauciones anteriores quedara una zona afectada ya sea por las heladas o por lluvias, de forma que hubiera perdido el debido grado de compacidad, deberá ser escarificado completamente y compactado de nuevo cuando el material tenga las condiciones adecuadas.

## 19.4 Ensayos que se han de realizar para asegurar la correcta ejecución de los terraplenes.

Con la mayor diferencia de tiempo posible respecto al momento de la compactación, se deberá conocer el contenido de humedad del material que ha de ser compactado. En particular, cuando se esté compactando se tomaran diariamente, muestras 2 de material y se medirá la humedad con vista al ensayo NLT-103.

Si alguna de las muestras diera un contenido de humedad fuera de los límites prescritos, se ensayaran nuevas muestras para asegurarse que no hubo error en las anteriores y en caso de confirmarse que efectivamente el grado de humedad no queda dentro de los límites tolerados, se corregirá según se ha indicado en el apartado a).

No se considerará terminada la compactación de cada tongada mientras no se tenga seguridad de haber conseguido una densidad igual o mayor del 95 % o el 100 %, de la densidad Proctor. Para esto una vez pasado el rodete compactador con un número de pasadas igual al que se haya fijado con las pruebas que se prescriben en el apartado se realizaran 2 ensayos de medida de densidad "in situ" que podrán efectuarse de acuerdo a uno de los siguientes métodos:

- Con arena seca. De acuerdo con la norma NLT-109.
- Método volumétrico, mediante recubrimiento de la muestra con parafina para medir el volumen por desplazamiento de agua en recipiente enrasado.
- Con relleno de escayola y tarado posterior del volumen por evacuación de agua en recipiente enrasado, según la norma NLT-109 con las naturales adaptaciones.
- Con aparato basado en isótopos radiactivos. En este caso como mínimo una vez por semana se efectuará un tarado del aparato, comparando su lectura con el resultado obtenido con medida directa de la densidad realizada según uno de los métodos a), b), c).
- En caso de que se revele una densidad menor que la exigida, se realizaran nuevas pasadas de compactador y nuevos ensayos, repitiéndose el proceso hasta tener la certidumbre de que la densidad de la tongada cumple lo prescrito en este Pliego.

Si aumentando el número de pasadas no se consigue una densidad igual a la exigida en la parte inferior de la tongada, esto significaría que esta tiene un espesor superior al adecuado para el rodillo compactador utilizado. En este caso se debería escarificar y retirar parte de la tongada, compactando el resto hasta que tenga la debida densidad.

**20. Movimientos de tierras: Rellenos.**

Se ejecutaran según se indica en el PG-3 complementado por las indicaciones siguientes.

No se efectuará ningún relleno sin previa aprobación de la Dirección de Obra. En todo caso, al realizarlo la parte a rellenar ha de estar libre de agua, tierra, grava o piedras sueltas.

Los rellenos han de realizarse consolidando debidamente suelos vertidos, de forma que llenando por completo el espacio existente entre los taludes de las zanjas y la fábrica. En el caso de que existieran entibaciones, deberán retirarse paulatinamente según se vaya efectuando el relleno y compactado del mismo, de forma que en ningún caso puedan producirse escorrentías de los terrenos retenidos con la entibación.

El grado de compactación que se tiene de obtener en los rellenos, será en principio el 95% del Proctor Modificado, excepto que la Dirección de la Obra especifique lo contrario.

**21. Movimientos de tierras: Derribos.**

Consiste en el derribo de todas las construcciones que obstaculicen la obra o que sea necesario hacer desaparecer para dar por acabada la ejecución de la misma, o en la destrucción parcial de unidades de obra construidas, cuando sea preciso a juicio de la Dirección de Obra.

Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Derribos de materiales.
- Retirada de los materiales de derribo.

**22. Transporte de tierras.**

Los tipos de transporte de tierras que se efectuará se resumen en los siguientes:

- Transporte a vertedero: Bajo esta definición se incluyen todos ios transportes de tierras a vertederos cuando la distancia sea mayor de 3 Km. fuera de la zona de la obra.

- Transporte interior de tierras: Se incluirán los transportes de tierras desde el punto de excavación hasta el lugar de uso para tapado o terraplenado de la misma obra.

Mediciones: Esta unidad de obra se medirá y abonará por metro cúbico teórico, como máximo.

**23. Hormigones y Morteros.**

Los hormigones tanto en composición como en ejecución y curado cumplirán lo indicado en la EH-91.

Excepto objeción de la Dirección de Obra, el hormigón se podrá realizar en obra o utilizar hormigón preparado, en cuyo caso deberá cumplir la Instrucción (E.H.P.R.E.- 72).

Se describen seguidamente algunas de las operaciones a tener en cuenta:

**23.1 Limpieza de las excavaciones antes del hormigonado.**

No se procederá a hormigonar ninguna cimentación sin que lo autorice expresamente la Dirección de la Obra.

Inmediatamente antes del hormigonado se limpiará con cuidado la excavación hasta que esté libre de agua, tierra o elementos sueltos.

**23.2 Composición del hormigón.**

Antes de empezar las obras, utilizando los materiales que vayan a usarse como áridos y la instalación para la preparación y selección de los mismos, se determinará la composición granulométrica más conveniente.

Fijada una granulometría, y con una consistencia seca, se ejecutarán probetas cúbicas o cilíndricas de las dimensiones prescritas, con dosificaciones variables de cemento, obteniendo un mínimo de 3 probetas para cada dosificación. Rotas estas probetas a los 28 días se dibujará la curva que representa la resistencia de rotura del hormigón en función de la cantidad de cemento, por granulometría y consistencia elegidas.

Análogamente se han de obtener otras curvas por granulometría y cantidades de agua diferentes.

A la vista de todas estas curvas se elegirá entre las varias composiciones de hormigón que proporcionen la resistencia y densidad exigidas, la de menor dosificación de cemento, siempre que la consistencia cumpla lo especificado en el apartado f) siguiente.

### 23.3 Fabricación del hormigón.

La Dirección de la Obra situará en las instalaciones del Contratista los vigilantes que estime convenientes para el control de la fabricación del hormigón, dando el

Contratista las facilidades necesarias para este control y las correspondientes tomas de muestras.

Tanto la disposición de la estación de hormigonado que se use como cada uno de los elementos de la misma, deberán requerir la aprobación de la Dirección de la Obra.

En particular deberán cumplirse las condiciones siguientes:

- Ajuste rápido de las cantidades de cemento, agua y áridos para dosificaciones diversas.
- Control seguro de todos los materiales, con dispositivo rápido de interrupción de suministro.
- Facilidades para la rápida evacuación de los materiales excedentes de las tolvas.
- El tiempo de mezcla en las hormigoneras será superior al triple del necesario para que la mezcla hecha en seco aparezca con un aspecto uniforme.

### 23.4 Pruebas del hormigón durante la construcción.

Las resistencias exigidas en cada hormigón en el apartado siguiente de este Pliego se comprobaran por rotura de probetas bien sean cilindricas de 15 x 30 cm moldeadas o mediante probetas extraídas "in situ" por perforación con máquina rotativa o similar.

Las probetas moldeadas se ejecutarán con el mismo hormigón que se coloca en la obra, tomándose la muestra de las amasadas que por su apariencia o consistencia parezcan de menor calidad. Las probetas se ejecutaran y conservaran según las normas UNE 41116 y UNE 41117.

Durante la ejecución de la obra se fabricaran diariamente por cada tipo de hormigón, 6 probetas llenando los moldes en el mismo tajo de puesta en obra del hormigón.

La Dirección de la Obra podrá ordenar extraer probetas in situ siempre que lo considere necesario.

Si a los veintiocho días la resistencia de las probetas fabricadas fuera inferior al 80 % de la especificada para esta fecha, se ensayaran probetas extraídas in situ de la zona donde se haya colocado el hormigón defectuoso y también de aquellas que indique la Dirección de Obra.

Al comparar entonces la resistencia de las probetas extraídas in situ con el 80 % de la exigida a los 28 días puede ocurrir:

d.1. Que aquella sea menor, en este caso, se derribaran las partes ejecutadas con ese hormigón.

d.2. Que aquella sea igual o mayor. En este caso, la Dirección de la Obra decidirá si se han de realizar otros ensayos, si puede aceptar la Obra, adoptando las medidas de precaución pertinentes, o si por el contrario es preciso derribar las partes defectuosas.

Si a los 28 días la resistencia de las probetas fabricadas fuera superior al 80 % de la especificada para esta fecha, pero inferior al 100% de la misma, la Dirección de la Obra decidirá si es necesario ensayar probetas extraídas in situ.

En todas las probetas fabricadas se medirá su densidad inmediatamente antes de procederá su rotura.

**23.5 Resistencia del hormigón.**

Las resistencias características mínimas de los hormigones utilizados en las obras especificadas en el presente Pliego serán las siguientes:

- Para limpieza y relleno de hormigón en masa:

$$f_{ck} = 125 \text{ Kg/cm2 (H-125)}$$

- Para hormigones en masa:

$$f_{ck} = 150 \text{ Kg/cm2 (H-150)}$$

- Para hormigones armados:

$$f_{ck} = 175 \text{ Kg/cm2 (H-175)}$$

Tanto la resistencia característica como los coeficientes de seguridad correspondientes a los niveles de control, tipo de obra, etc. se indican en los planos.

**23.6 Dosificación, densidad y consistencia del hormigón.**

Se recomienda que la dosificación de los áridos para hormigones se efectúe en peso. Este tipo de dosificación será preceptivo para el cemento.

La dosificación del conjunto de los áridos y cemento ha de ser tal que con el mínimo posible de cemento la densidad a la que llegue el hormigón después de colocado en obra, sea mayor que 2,35 y se determinará mediante ensayos realizados en obra.

Se deberá reducir al mínimo posible la relación agua-cemento a fin de obtener la máxima resistencia con el mínimo calor de fraguado y mínimo consumo de cemento, previa autorización de la Dirección de Obra, permitiéndose aumentar la

dosificación de agua hasta conseguir el expresado requerimiento.

La determinación de la consistencia se efectuará midiendo el asentamiento de una masa moldeada con el cono de Abrams de 30 centímetros de altura y con bases de diámetro 20 y 10 centímetros, respectivamente.

En las partes con un espesor superior a 80 centímetros, el asentamiento con el cono de Abrams no deberá de superar 25 milímetros.

En las partes de espesor inferior a 80 centímetros y en el hormigón para armar, se aumentará el porcentaje de agua, dando al hormigón una consistencia plástica, pero de forma que el asentamiento con el cono de Abrams se mantenga inferior a 80 milímetros.

### 23.7 Puesta en obra del hormigón.

Se tendrán en cuenta las prescripciones de la Instrucción de obras de hormigón y especialmente que:

- Las instalaciones de puesta en obra de hormigón deberán ser sometidas a aprobación por parte de la Dirección de Obra.
- Es esencial que los medios de transporte de hormigón no produzcan disgregaciones en el mismo. Como norma general no transcurrirá mas de una 1hora entre la fabricación del hormigón y su puesta en obra y consolidación.
- En ningún caso se tolerará la colocación en obra de masas que acusen un principio de fraguado, segregación o desecación.
- No se colocarán en obra capas o tongadas, el espesor de las cuales sea superior al que permite una compactación completa de la masa.
- La frecuencia de la vibración, que es obligatoria, no bajará de 7.000 veces por minuto y será la adecuada para la perfecta compactación del hormigón que se coloca.

### 23.8 Curado del hormigón.

El período de curado será de 7 días como mínimo.

Durante el tiempo de curado se mantendrán las superficies horizontales cubiertas con sacos o con arena y se regaran con la suficiente cantidad de agua, tantas veces como sea preciso para que estén permanentemente húmedas. En lugar de sacos o arena, puede cubrirse la superficie con una capa de agua. Las superficies verticales se regaran tantas veces como sea preciso para mantenerlas siempre húmedas.

Para agua de riego se preferirán las tuberías que no sean de hierro, evitando siempre las que por tener oxidaciones puedan comunicar tintes al hormigón.

La temperatura del agua usada en el riego .no será inferior a 20 grados a la del hormigón, para evitar la formación de grietas por enfriamiento brusco.

Se controlará la calidad del agua, no admitiéndose el uso de aguas con contenido en sulfatos expresado en ion SOL mayor que 0,3 g/l.

En caso de utilizarse líquidos de curado, se someterá a la aceptación de la Dirección de Obra.

**23.9 Juntas de hormigonado.**

Cuando haya necesidad de disponer de juntas de hormigonado no previstas en los Planos, se situaran tales juntas en dirección lo mas normal posible a la de las tensiones de compresión y en el lugar donde su efecto sea el menos perjudicial, alejándose con este fin, de las zonas donde la armadura esté sometida a fuertes tracciones.

Se cuidará que la junta se conserve limpia en todo momento.

Inmediatamente antes de colocar el nuevo hormigón sobre una junta, se repetirá la operación de limpieza de la misma.

Aquellas juntas de trabajo que hayan sido encofradas y en las que haya de existir unión entre los hormigones en contacto para asegurar una buena transmisión de los esfuerzos, se picaran activamente y se limpiaran después con aire y agua a presión.

**23.10 Precauciones en tiempo frío o caluroso.**

En tiempo frío siempre que se prevea que dentro de las 24 horas siguientes puede bajar la temperatura mínima del ambiente por debajo de los cero grados $0^{o}$ C, se suspenderá el hormigonado.

En este sentido, el hecho de que la temperatura sea inferior a 4 grados a las 9 de la mañana, se interpretará como señal de que son probables las heladas dentro de las 24 horas siguientes, por lo que se deberá suspender el hormigonado.

En tiempo caluroso se procurará que no se evapore el agua de amasado y se adoptaran las medidas oportunas para que no se coloquen en obra masas que acusen desecación.

Si la temperatura ambiente es superior a 40 grados, se suspenderá el hormigonado a no ser que la Dirección de la Obra indique otra cosa.

### 23.11 Paramentos de hormigón y encofrados.

Los paramentos han de quedar lisos con formas perfectas y buen aspecto, sin defectos ni rugosidades, quedando proscritos toda clase de enlucidos, excepto que la Dirección de Obra tomara otra decisión.

No podrá verterse hormigón en encofrados no vistos por la Dirección de la Obra, una vez colocados.

Las operaciones, ordenadas por la Dirección de Obra, que sea necesario efectuar para corregir irregularidades o defectos serán por cuenta del Constructor.

Los encofrados serán lo suficientemente resistentes, rígidos y estancos para soportar las cargas y empujes del hormigón fresco y dar a la obra la forma prevista en los Planos y además deberán estar pintados con productos antiadherentes de reconocida calidad antes de verter el hormigón.

Se prohíbe expresamente utilizar para la sujeción de encofrados tacos de madera que después hayan de quedar dentro del hormigón.

Antes de empezar el hormigonado, deberán hacerse cuantas comprobaciones sean necesarias para cerciorase de la exactitud de la colocación de los encofrados, y igualmente durante el curso del hormigonado para evitar cualquier movimiento de los mismos.

De forma general y mientras no se especifique otra cosa, se exigirá a los encofrados un acabado en el que las irregularidades no superen 10 milímetros en caso de ser suave el cambio y 5 milímetros si fuera brusco.

Las irregularidades suaves se miden con un patrón consistente en una regía recta para las superficies planas o su equivalente para las curvas, de 1,50 m de longitud.

Cuando las tolerancias dadas en el apartado anterior sean sobrepasadas, las irregularidades bruscas o suaves se rebajarán a los límites exigidos. Este tratamiento será por cuenta del Contratista.

Se considera inaceptable el acabado con mortero adicional.

La unión de los diversos elementos se hará de forma que pueda realizarse el desencofrado o sin golpes.

Los elementos de encofrados que hayan de volver a utilizarse se limpiaran y rectificarán con cuidado.

### 23.12 Desencofrados.

Los plazos de desencofrado serán fijados por la Dirección de Obra, teniendo en cuenta las temperaturas y de acuerdo con la Instrucción EH-91.

## 23.13 Hormigones prefabricados.

Se denomina hormigón prefabricado aquel cuya dosificación y mezcla se realiza en una instalación fija llamada Central, por persona ajena al Contratista, trasladándose hasta el lugar de su utilización en transportes especiales que no permitan su disgregación.

El tiempo utilizado en el transporte no debe ser superior a 1 hora.

Atendiendo a su utilización de acuerdo con sus resistencias especificadas, se consideraran los 3 tipos de hormigones prefabricados, que corresponden a los tipos citados en el apartado e).

La Dirección de Obra exigirá al Contratista que realice ensayos de consistencia del hormigón prefabricado que se reciba para comprobar que tiene las características exigidas al Fabricante. El Contratista será responsable ante la Dirección de Obra de que se cumplan estas características.

La Dirección de Obra podrá rechazar todas esas cargas que acusen un estado de desecación, disgregación o principio de fraguado.

El ensayo de consistencia se efectuará por cualquier de los dos procedimientos descritos en los métodos de ensayo UNE-7102 y UNE-7103.

Las muestras tomadas de cada carga de hormigón, entendiendo como carga la suministrada en una sola vez y en un solo recipiente, necesarias para los ensayos para los tres tipos hormigón, serán 6 probetas, de las cuales se romperán 3 a los 7 días, y la otras 3 a los 28 días.

Si la carga es inferior o igual a 2 metros cúbicos, se efectuaran 2 tomas de muestra, una correspondiente al final del último tercio de la carga y la otra al principio del último tercio. Si la carga fuera superior a dos 2 metros cúbicos se efectuaran 3 tomas de muestra, 2 de las cuales corresponderán al final del primer cuarto de la carga y una al principio del último cuarto. En cualquiera de los casos la toma de muestras se realizará durante la descarga del hormigón.

Se entiende que no es preciso tomar muestras de todas las cargas que llegan a la obra. El número o frecuencia de las muestras a extraer vendrá determinado por el criterio que se expone en el apartado d).

## 23.14 Armaduras.

Los tipos de acero a utilizar se indican en los correspondientes Pianos.

Las armaduras han de colocarse limpias, exentas de óxidos no adherido (se admite el óxido que queda después de cepillar las barras con cepillo de alambre), libres de pintura, grasa, hielo o cualquier otra sustancia perjudicial.

Para todo lo que se relaciona con la elaboración y colocación de armaduras de acero en el hormigón, se seguirán las prescripciones contenidas en la EH-91.

Se procurará reducir al mínimo las uniones de armaduras y se seguirán las prescripciones contenidas en la EH-91.

Los anclajes extremos de las barras, se realizaran por gancho, patilla, prolongación recta, o cualquier otro método garantizado por la experiencia, teniendo en cuenta las indicaciones de la EH-91.

Las barras se fijaran entre si y el encofrado mediante las oportunas sujeciones, de forma que quede impedido todo movimiento de aquellas durante el vertido y compactación del hormigón.

El Contratista someterá a la aprobación de la Dirección de Obra los Planos de despiece de armadura.

Antes de proceder al hormigonado de los elementos armados, se someterá la disposición y colocación de armaduras a la aprobación de la Dirección de Obra.

## 23.15 Tuberías de presión.

Las tuberías de conducción irán colocadas en el fondo de la zanja sobre una capa de arena con espesor mínimo de 5 centímetros. Las zanjas tendrán la profundidad indicada en los Planos. Antes de proceder al apretado de las juntas, se comprobará la exactitud de la colocación de los tubos de planta y perfil, sin que existan garrotes ni defectos.

Ejecutando un tramo de tubería, se cubrirá con tierras elegidas hasta una altura de 20 centímetros sin tapar las juntas. Después se procederá a la prueba de presión interior, sometiendo la tubería a 1.4 veces la presión máxima de trabajo, para comprobar que no hay pérdidas en las juntas ni en los tubos. Posteriormente se realizará la prueba de estanqueidad. Ambas pruebas se realizaran en presencia del Ingeniero Director y cumplirán todos los requisitos establecidos por el Pliego de Prescripciones Técnicas del MOPU.

El Contratista está obligado a rehacer toda junta o sustituir el tubo que en las pruebas o durante el plazo de garantía contenga pérdida de agua.

Terminada la prueba satisfactoriamente, se autorizará al Contratista el relleno de la zanja, que se compactará en tongadas sucesivas. Las primeras tongadas hasta unos 30 cm por encima de la generatriz superior del tubo se harán evitando colocar piedras o gravas con diámetros superiores a 2 centímetros y con un grado de compactación no menor del 95 % del Proctor Normal. Las restantes podrán contener material más grueso, recomendándose sin embargo, no emplear elementos de dimensiones superiores a los 20 cm en el primer metro, y con un grado de compactación del 100 % del Proctor Normal.

Se tendrá especial cuidado en el procedimiento empleado para terraplenar zanjas y consolidar rellenos, de forma que no produzcan movimientos en las tuberías. No se rellenarán zanjas en tiempo de grandes heladas o con material helado.

Una vez instalada en la zanja se someterá a la tubería a las pruebas preceptivas de presión interior y a la prueba de estanquidad.

## 24. Pliego de condiciones de Índole facultativa.

Obligaciones y Derechos del Contratista.

### 24.1 Revisión de solicitud de ofertas.

Por la Dirección Técnica se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las obras e instalaciones específicas en el presente Proyecto, para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

### 24.2 Residencia del contratista.

Desde que se dé principio a las obras, hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberán residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento del Ingeniero Director y notificándole expresamente, la persona que durante su ausencia le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo más caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la Contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia, designada como oficial, de la Contrata en los documentos del Proyecto, aún en ausencia o negativa de recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

**24.3 Reclamaciones contra las órdenes de dirección.**

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director, sólo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes; contra disposiciones de orden técnico o facultativo del ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en toda caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

**24.4 Despido por insubordinación, Incapacidad y Mala Fe.**

Por falta del cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de las obras; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Ingeniero Director lo reclame.

**24.5 Copia de los Documentos.**

El Contratista tiene derecho a sacar copia a su costa, de los Pliegos de Condiciones, presupuestos y demás documentos de la Contrata. El Ingeniero Director de la Obra, si el Contratista solicita éstos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

**24.6 Trabajos. Materiales y Medios Auxiliares.**

**24.6.1 Libro de Órdenes.**

En 1a caseta y oficina de la obra, tendrá el Contratista el Libro de Órdenes, en el que se *anotarán* las que el Ingeniero Director de Obra precise dar en el transcurso de la misma.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho Libro es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

**24.6.2 Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución.**

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación; previamente se habrá suscrito el acta de replanteo de las condiciones establecidas en el artículo 16.

El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días de la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo éste dar acuse de recibo.

Las obras quedarán terminadas dentro del plazo de ejecución fijado en la Memoria.

El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial de Trabajo.

### 24.6.3 Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las “Condiciones Generales de índole Técnica" del "Pliego de Condiciones Varias de la Edificación" y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho Documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que, en éstos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extiende y abonan a buena cuenta.

### 24.6.4 Trabajos defectuosos

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos y antes de verificarse a la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

### 24.6.5 Obras y Vicios Ocultos.

Si el Ingeniero Director tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos de la demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, serán de cuenta del Contratista, siempre que los vicios existan realmente; en caso contrario, correrán a cargo del propietario.

### 24.6.6 Materiales no utilizables o Defectuosos.

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por el ingeniero Director, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. antes indicados serán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos, o a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.

### 24.6.7 Medios Auxiliares.

Es obligación de la Contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras aun cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación lo disponga el Ingeniero Director y dentro de los límites de posibilidad que los presupuestos determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Serán de cuenta y riesgo del Contratista, las máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo, por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

Serán asimismo de cuenta del Contratista, los medios auxiliares de protección y señalización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuadas, señales luminosas nocturnas, etc. y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

## 25. Recepción y Liquidación.

### 25.1 Recepciones Provisionales.

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero Director de la Obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente, comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía, previamente acordado por ambas partes.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se especificarán en la misma las precisas y detalladas instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento y si la obra estuviese conforme con las condiciones de este Pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se entregará al Contratista.

### 25.2 Plazo de Garantía.

Desde la fecha en que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía. Durante este periodo, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

### 25.3 Conservación de Trabajos recibidos provisionalmente.

Si el Contratista siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuere menester para su buena conservación, abandonándose todo aquello por cuenta de la Contrata. Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Ingeniero Director fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupando o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección facultativa.

**25.4 Recepción Definitiva.**

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica; en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio del Ingeniero Director de la Obra, y dentro de! plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinan en este Pliego.

Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará rescindida la Contrata con pérdida de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

**25.5 Liquidación Final.**

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada, que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del proyecto, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Técnica con sus precios. De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Entidad propietaria con el visto bueno del Ingeniero Director.

**25.6 Liquidación en caso de Rescisión.**

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatario, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

### 25.7 Facultades en la Dirección de Obra.

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al Ingeniero Director, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por sí o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el "Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación", sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Contratista, si considera que, el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

## 26. PLIEGO DE CONDICIONES DE INDOLE ENCONOMICA.

### 26.1 Base Fundamental.

Como base fundamental de estas "Condiciones Generales de índole Económica", se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales y particulares que rijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

### 26.2 Garantías de cumplimiento y Fianzas.

E1 Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el cumplimiento del Contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

### 26.3 Fianzas.

Se podrá exigir al Contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de las obras adjudicadas.

### 26.4 Ejecución de los trabajos con Cargo a la Fianza.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

### 26.5 Devolución de la Fianza.

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado' por medio de certificado del Alca de del Distrito Municipal en cuyo término se halla emplazada la obra contratada, de que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que sean de cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

### 26.6 Precios y Revisiones.

#### 26.6.1 Precios Contradictorios.

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Adjudicatario formulará por escrito, bajo su firma el precio que a su juicio debe aplicarse a la nueva unidad, estudiando la Dirección técnica el que, según su criterio, deba utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará por la Dirección Técnica el Acta de Avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio,

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de preceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle el Sr. Director y a concluirla a satisfacción de éste.

#### 26.6.2 Reclamaciones de Aumento de Precios.

Si el Contratista, antes de la firma del Contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión, reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato, señalados en los documentos relativos a las "Condiciones Generales o Particulares de índole Facultativa", sino en el caso de que el Ingeniero Director o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

### 26.6.3 Revisión de Precios.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transporte, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Por ello y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que se intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causa justificada, especificándose y acordándose, también previamente, la fecha a partir de la cual se aplicará la cuenta y cuando así proceda, el acopio de materiales de obra, en el caso de que estuviesen total o parcialmente abonados por el propietario.

Si el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptarlos, los materiales, transporte, etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc. adquiridos por el Contratista merced a la información del propietario.

Cuando el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc. concertará entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados.

Cuando, entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

### 26.6.4 Elementos Comprendidos en el Presupuesto.

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de andamios, vallas, elevación y transporte del material, es decir, todos los correspondientes a medios auxiliares de la construcción, así como toda suerte de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graven los materiales o las obras por el Estado, Provincia o Municipio.

Por esta razón no se abonará al Contratista cantidad alguna por dichos conceptos.

En el precio de cada unidad también van comprendidos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente terminada y en disposición de recibirse.

### 26.6.5 Valoración de Abono de Trabajos.

#### 26.6.5.1 Valoración de la Obra.

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fijada en el correspondiente presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra, el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que correspondan al beneficio industrial y descontando al tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

#### 26.6.5.2 Medidas Parciales y Finales.

Las medidas parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición y en los documentos que le acompañan deberá aparecer la confirmación del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

#### 26.6.5.3 Equivocaciones en el Presupuesto.

Se supone que el Contratista ha hecho detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios de tal suerte, que la obra ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna, si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

#### 26.6.5.4 Valoración de Obras completas.

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

#### 26.6.5.5 Carácter provisional de liquidaciones parciales.

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones, aprobación ni recepción de las obras que comprenden. La propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la Obra, a cuyo efecto deberá presentar dicho Contratista los comprobantes que exijan.

#### 26.6.5.6 Pagos.

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá precisamente al de las Certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero Director, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

#### 26.6.5.7 Suspensión por retraso de los Trabajos.

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutados a menor ritmo del que les corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

#### 26.6.5.8 Indemnización por retraso de los Trabajos.

El importe de la indemnización que deberá abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de terminación de las obras contratadas, será el importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación de la instalación, debidamente justificados.

#### 26.6.5.9 Indemnización de Daños de causa mayor al contratista.

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos únicamente los que siguen:

1) Los incendios causados por electricidad atmosférica.
2) Los daños producidos por terremotos y maremotos, así como los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de ríos superiores a las que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar los daños.
3) Los que provengan de movimientos de terreno en que estén construidas las obras.
4) Los destrozos ocasionados violentamente, a mano armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá, exclusivamente, al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra; en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., propiedad de la Contrata.

#### 26.6.5.10 Mejoras de Obras.

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratos, así como la de los materiales y aparatos previstos en el Contrato.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

#### 26.6.5.11 Seguros de los trabajos

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada, durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en todo momento, con el valor que tenga la Contrata, los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a cuenta, a nombre del propietario, para que, con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecha en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que le hubiese abonado, pero solo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero Director.

En las obras de reforma o reparación se fijará previamente la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía, y si nada se previese, se entenderá que el seguro ha de comprender toda parte de edificio afectado por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el Contratista antes de contratarlos en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

# ANEXOS

# ANEXO I:
# BIBLIOGRAFIA

**LIBROS CONSULTADOS:**


- CENTRALES DE ENERGIAS RENOVABLES: GENERACION ELÉCTRICA CON ENERGIA RENOVABLES. José A. C. Gonzales, Roque C. Pérez, Antonio C. Santos, Manuel A.C. Gil. Pearson Educación, Madrid, 2009.
- HIDRAULICA. Francisco Javier Domínguez, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 2000.
- TURBO MAQUINAS HIDRAULICAS, TURBINA HIDRAULICAS, BOMBAS Y VENTILADORES. Claudio Mataix. Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, 2008.
- MAQUINAS ELECTRICAS. Jesús Fraile Mora. Mc Graw Hill. España 2008.
- MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRAULICAS. GUIA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS. Teodoro Sánchez, Javier Ramírez Gastón. ITDG, Lima, 1995.
- MANUALES DE ENERGIAS RENOVABLES. MINICENTRALES HIDROELECTRICAS. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, 2006.
- GUIA PARA EL DESARROLLO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA. European Small Hydropower Association (ESHA), 2006.

**PAGINAS WEB CONSULTADAS:**

- www.chguadalquivir.es Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- www.hispagua.cedex.es Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos.
- www.small-hydro.com European Small Hydraulic Association
- www2.ign.es/iberpix/visoriberpix/visorign.html Visor Topográfico Ministerio de Fomento.
- www.gamesacorp.com GAMESA

# ANEXO II:
# NORMATIVA APLICABLE

**NORMATIVA:**

- REAL DECRETO 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial o fuentes de energía renovables, residuos, y cogeneración. C.e. del Real Decreto 436/2004.
- Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión.
- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación.
- Orden de 6 de julio de 1984 por la que se aprueban las Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

# ANEXO III:
# MAPA TOPOGRAFICO DE LA ZONA

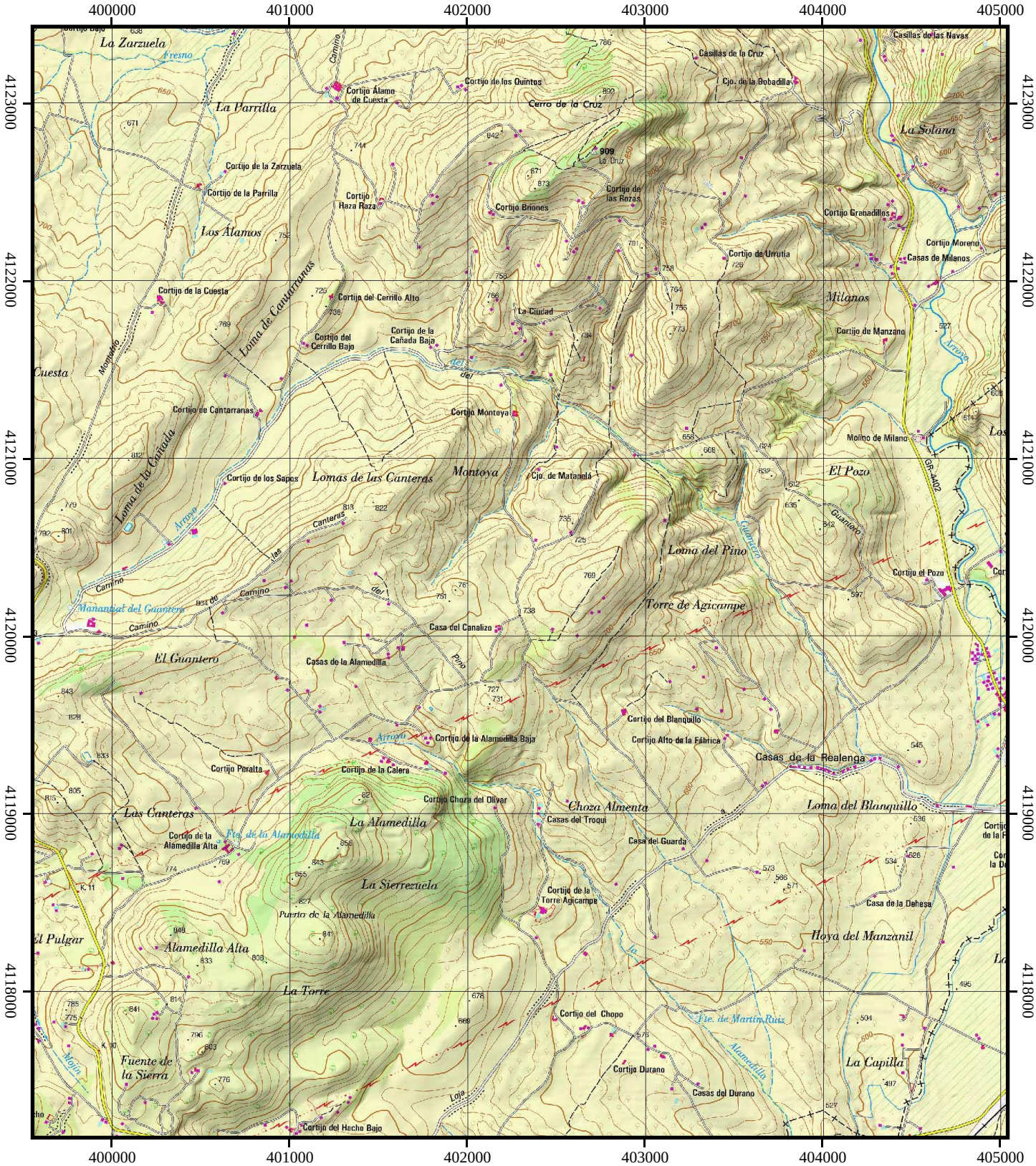
GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

# Visor IBERPIX

# SALIDA GRÁFICA

**MAPA (1:25.000)**

| SISTEMA DE REFERENCIA | ETRS89 | HUSO | 30 | ESCALA | 1: 30500 | FECHA DE IMPRESIÓN | 10/06/2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|



# ANEXO IV:
# CATALOGOS

# AvK® DSG 114

| Model | DSG 114 |
|---|---|
| Maximum continuous rating at 50Hz (kVA) | 5,000 |
| Maximum continuous rating at 60Hz (kVA) | 5,940 |

| Specifications | |
|---|---|
| Voltage Range | 400-690 |
| Poles | 6, 8, 10 |
| Technology | Bar Wound |
| AVR | Digital |
| Voltage sensing | 3-Phase |
| Bearing Arrangement | Double |
| SAE Adaptors | 0, 00 |
| Terminals | 6 |
| Material Insulation Class | H |
| Excitation System | Auxiliary Winding |
| Ingress Protection | IP23 |
| Temperature monitoring | Winding RTDs |
| Connection with other machines | Paralleling capability |

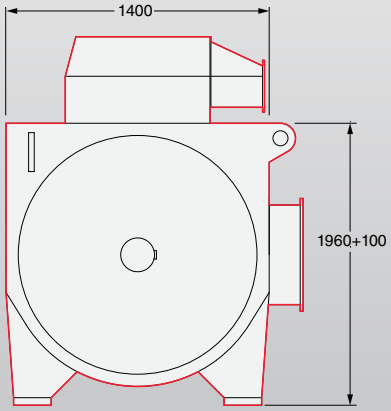
| Optional Features | |
|---|---|
| Bearing Arrangement | Sleeve Bearings |
| Ingress Protection | IP23 Air Filters |
| Ingress Protection | IP44/54/55/56 Totally enclosed |
| Cooling options | CACA/CACW |
| Environmental protection | Anti-condensation Heaters |

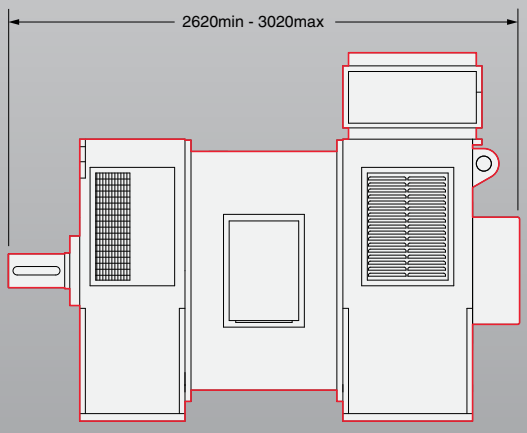
| Designed For | |
|---|---|
| Power Plant | |
| Grid Code Compatible | |
| Marine Propulsion | ● |
| Marine Auxiliary | ● |
| Oil & Gas | ● |
| Combined Heat & Power | ● |
| Critical Protection & UPS | ● |
| Continuous Power & Standby | ● |

| Prime Movers | |
|---|---|
| Diesel Engine | ● |
| Gas Engine | ● |
| Gas Turbine | |
| Steam Turbine | |

## DIMENSIONS

*Drawings represent standard design*
*All dimensions in millimetres (mm)*

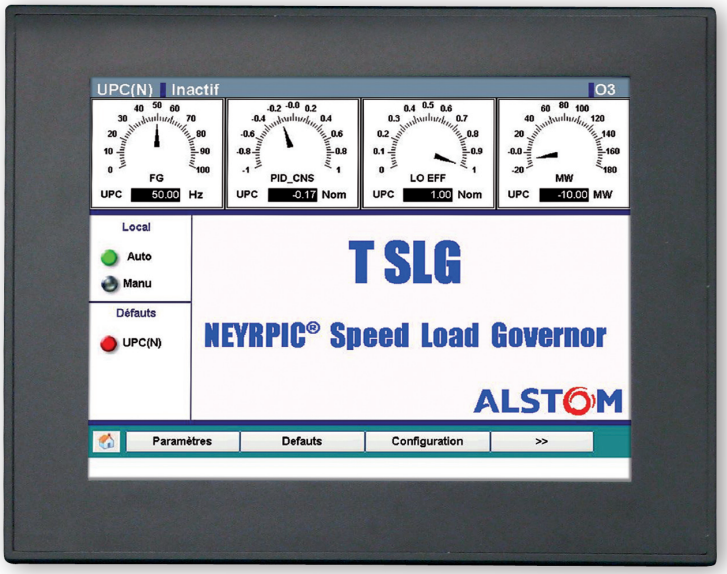


# HMI

## NEYRPIC® T.SLG human machine interface

*The HMI (human machine interface) in the NEYRPIC T.SLG (turbine speed load governor) is the operator's interface for managing and adjusting operating parameters.*

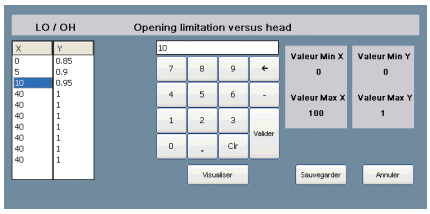


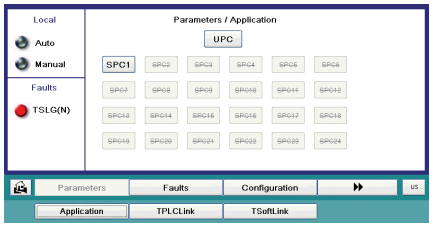

### FUNCTIONS

The HMI software runs on a flat-panel PC touch screen. Both 12" and 15" screens are available. The HMI is connected to the T.SLG and/or the turbine auxiliary digital tachometer (T.ADT) via a RS485 serial link.

The software has all the features a plant operator requires:

- Analogue and digital graphic indicators (speed, gate, power, water level). Up to 4 test points can be visualized in real-time
- Viewing and adjusting of the parameters for all T.SLG modules (including standby in the case of redundancy)
- Viewing and recording of faults
- General configuration of the unit processing controller module (UPC): modul detection, date & time, language
- Access to different operating modes: local auto and local manual
- Access to some advanced function menus: status viewing and testing of redundant modules, status viewing of the Pelton jet dispatcher




The HMI is a mobile software tool and can be installed remotely or in a different cubicle than the T.SLG cubicle.

### USER FRIENDLINESS

In order to update the HMI application, the user just needs to plug-in a USB key that contains the updated version of the software and the PC screen then automatically updates itself.

There are 3 access levels and each one is protected by a password. Level 1 allows data viewing, level 2 permits parameter changes and access to the local auto mode, level 3 authorizes all actions including local manual mode.

Only 4 colour codes are used in order to ensure that information is clear:

- GREY: inactive module or no module communication
- GREEN: module active, no fault
- ORANGE: minor fault not preventing the T.SLG from operating
- RED: major fault

A home icon always present on top of the pages allows to quickly return to the main page at any time.

The main page is structured to present the information in an intuitive way: all key information is available at a glance with straightforward graphic indicators.

The HMI can be customized in the user's language. The software comes with a complete set of documentation.

PWER/BPROS/HMMCFC09/eng/HYD/04.09/FR/6869 © ALSTOM 2009. ALSTOM, the ALSTOM logo and any alternative version thereof are trademarks and service marks of ALSTOM. The other names mentioned, registered or not, are the property of their respective companies. The technical and other data contained in this document is provided for information only. Neither ALSTOM, its officers and employees accept responsibility for or should be taken as making any representation or warranty (whether express or implied) as to the accuracy or completeness of such data or the achievement of any projected performance criteria where these are indicated. ALSTOM reserves the right to revise or change this data at any time without further notice.

NEYRPIC is a registered trademark of Alstom.

POWER | ALSTOM

PWER/BPROS/HMMCFC09/eng/HYD/04.09/FR/6869 © **ALSTOM 2009.** ALSTOM, the ALSTOM logo and any alternative version thereof are trademarks and service marks of ALSTOM. The other names mentioned, registered or not, are the property of their respective companies. The technical and other data contained in this document is provided for information only. Neither ALSTOM, its officers and employees accept responsibility for or should be taken as making any representation or warranty (whether express or implied) as to the accuracy or completeness of such data or the achievement of any projected performance criteria where these are indicated. ALSTOM reserves the right to revise or change this data at any time without further notice.

NEYRPIC is a registered trademark of Alstom.

POWER | ALSTOM

# SMALL HYDRO
## POWER PLANTS

ALSTOM
*Shaping the future*

# Small hydropower project

**A successful small hydropower project depends on a big reservoir of experience, because the challenges are diverse and intricate.**
Alstom's small hydro projects cover a wide range of situations:

- Run-of-river plants built on flood-prone alluvial plains, to reservoirs built in narrow rocky valleys.
- Remote-controlled facilities powering isolated local networks to team managed free-discharge subsystems in large dams connected to national grids.
- Minimal heads as low as a few metres to high heads of up to 1,000 m.
- Fixed conditions to sudden or seasonal variations.

Cost to performance considerations and shorter delivery expectations make every small hydro project a unique endeavour. Technical ingenuity and far-sighted project management are needed to balance all the constraints of excavation, grid code requirements, environmental legislation, discharge and head variations and water particle content. Because Alstom is an experienced global hydropower leader, we have the know-how to face these challenges head-on.

**Experience of a global leader**
As a leading turbine designer and manufacturer we offer the widest possible range of original equipment in modular solutions to reduce costs and speed delivery times. Working with you we select and then enhance a modular solution with custom engineering to ensure the perfect configuration and implementation. Our goal is to capture the full hydro potential of every site while taking into account landscape integration and lifetime environmental impact.

# Small plants big challenges


**Clean Power, Clear Solutions** 04
How Alstom is helping you meet the challenges of energy sustainability

**A complete portfolio** 10
For all heads and discharge rates

**Technological know-how** 16
Global experience, local expertise

**Small hydro** 06
We offer all the options

**Proven solutions** 12
Backed by innovation

**Advanced tehnologies** 18
Driven by customer value

# Clean Power,
## How Alstom is helping you

## CLEAN **POWER**
## CLEAR **SOLUTIONS**

**Our Power generation offering is based on a deep understanding of power markets and our customers' needs. It is organised around three levers to maximise the return of assets over their entire lifecycle.**

### REDUCING COST OF ELECTRICITY

It takes competitive assets to keep electricity affordable. We enable power companies to compete successfully in the marketplace and provide affordable electricity to consumers. We help you reduce the cost of electricity through:

- Efficiency improvements
- CAPEX reduction / scaling up
- Capacity Factor increase (renewable)
- Lead time reduction
- Competitive O&M
- Competitive financing

### LOWERING ENVIRONMENTAL FOOTPRINT

Clean generation is one way of demonstrating environmental responsibility. Another is lowering resource usage, visual impact and noise pollution. In both cases, we can help you meet or exceed regulations and environmental standards. That is why Alstom innovates in the following areas:

- Renewable portfolio
- Natural resource optimisation
- Pollutants control (SOx, NOx, PM, mercury)
- CO2 emission reduction & CCS
- Land use, visual impact and noise
- Water intensity reduction & recyclability

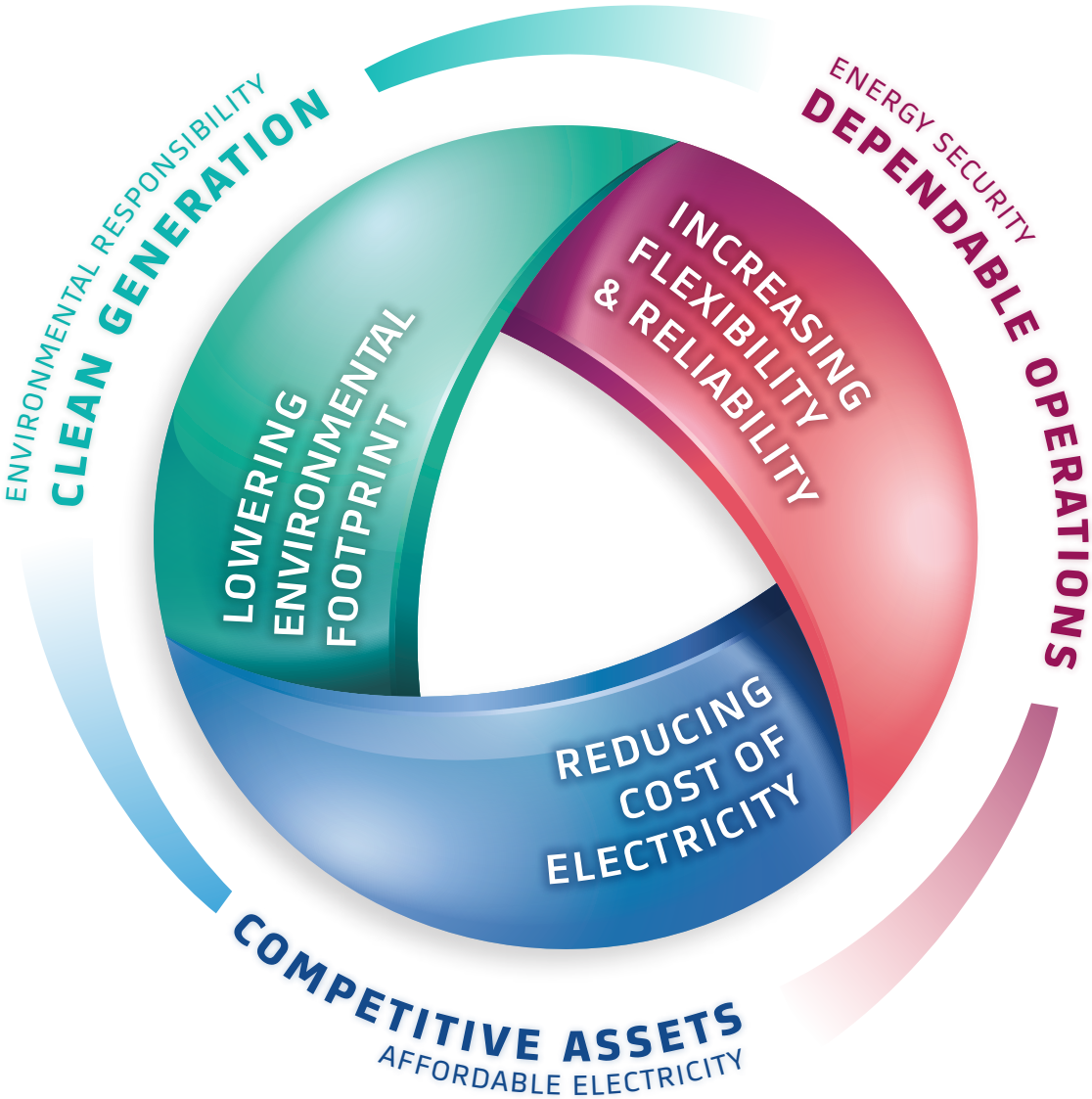
### INCREASING FLEXIBILITY & RELIABILITY

Intermittent power generation is a growing challenge of energy security, as is maintaining an aging installed base and adapting it to changing market conditions. We help you tackle both issues so that you can enjoy dependable operations with:

- Maintainability and outage time reduction
- Operational and fuel flexibility
- Lifetime extension and power uplift
- Designs and service for improved availability and reliability
- Climate packages
- Energy storage

# Clear Solutions

## meet the challenges of energy sustainability




### ENERGY SUSTAINABILITY : A GLOBAL CHALLENGE

**1 in 5**
people globally lacks electricity.

**A 20%**
rise of the global energy-related carbon dioxide emissions could happen by 2035.

**Only 20%**
of renewable energies in global electricity generation.

# Small hydro
## We offer

## Alstom provides a complete range for small hydro.

**Our equipment covers up to 30 MW per unit, with heads up to 1,000 m and discharge rates up to 200 m3/s. While we recommend our turnkey capabilities and Plant Integrator™ services for the ultimate in cost-effectiveness, reliability and availability, we can also work with variable scopes down to single component solutions.**

**COMPREHENSIVE PERSPECTIVE:** Alstom can take care of all customer requirements throughout the life of the plant – from technology development, engineering and project design, equipment manufacture, project erection and commissioning, operation and maintenance, through to refurbishment and life extension. This comprehensive capability means that Alstom is able to fully understand and meet the customer's requirements throughout all phases of the plant's life, whilst always delivering the optimum solution.

**MAXIMISING LIFETIME VALUE:** Alstom's goal is to devise a solution that creates the most value for your plant investment over the entire life cycle. That is why we offer new solutions, retrofits, refurbishments or upgrades tailored and optimised according to your specific needs.

**MODULAR, SCALEABLE PLATFORMS:** all our small hydro solutions are built using modular concepts. Once the ideal turbine type has been determined a standard design can be picked and the configuration developed to perfectly suit your project concept. By working with tried and tested designs with standardised interfaces, Alstom ensures that the planning, procurement and installation is rapid and cost effective. All our designs take into account the full lifecycle and optimise questions of operation and maintenance, mitigating risk at all stages.

**POSSIBLE SCOPES:** Alstom provides a range of scopes, including plant integration expertise to optimise the complete plant configuration, custom engineering to solve site specific challenges, single components to integrated turnkey systems or plants or off-the shelf technology from Alstom or partner suppliers.

### Hydro PlantLife™

**Our Hydro PlantLife™ programme segments operation and maintenance into three service modules, adapted to the age and condition of each plant.**

#### ASSESS

It begins with assessment of the site. We offer: hydro assets audit, condition assessments, reverse engineering, lifetime forecast analysis and technical site surveys.

#### SECURE & EXTEND

Our proactive services focus on securing operations and extending lifetime: modernisation and cost of ownership, lifetime extension, operations, maintenance and emergency repair, condition monitoring, penstock and gate security, customer support line, spare parts and training.

#### RESET & UPGRADE

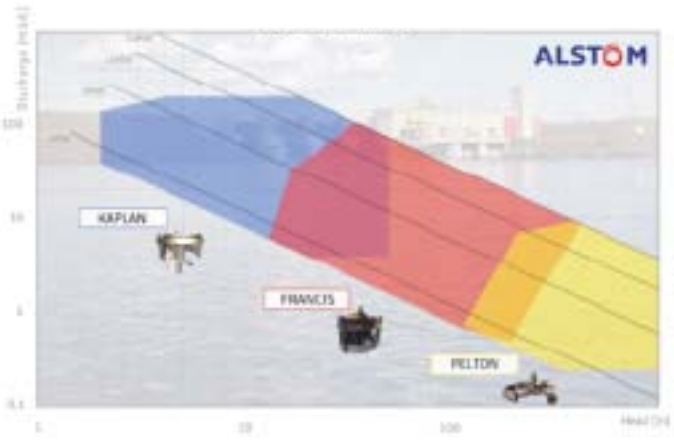
When a big change is necessary, we can help with: change of operating pattern, upgrading, environmentally-friendly upgrade, or as-is replacement.

# all the options

## Mitigate your risks

**Every small hydro plant owner is seeking to reduce risk and secure their return on investment, before, during and after construction. Choosing Alstom is a wise decision because, as a one-stop-shop with a global track record, we are ideally positioned to mitigate project risks such as:**

- construction cost overruns
- schedule shifts and delays
- failure to meet performance guarantees
- recurring outages
- unpredictable operation and maintenance costs



Alstom's SHPP Solutions Application Range

### Key benefits

**GLOBAL LEADER:** Alstom has commissioned almost 1,000 small hydro power plants (SHPP) worldwide. In the last decade alone, Alstom has commissioned 3.3 GW and more than 130 plants with units up to 30 MW, covering all types of turbines and plant arrangements.

**UNEQUALLED COMPUTATIONAL & TEST RESOURCES:** Alstom small hydro projects have access to the latest know-how, R&D, modelling and test tools developed for large hydro projects in our Global Technology Centres.

**UNPARALLELED PORTFOLIO OF MODULAR DESIGNS:** no other company can offer such a comprehensive portfolio of modular, scaleable and proven technologies and designs covering every element of a SHPP. Because we design and build all plant components, we are ideally positioned to integrate the individual plant elements most efficiently.

**GREEN SOLUTIONS AND ENVIRONMENT:** Alstom's constant commitment to R&D for greener solutions allows customers to implement environmentally-friendly projects, such as oil-free hydrostatic bearings, fish-friendly turbines and compact footprints.

**TURNKEY EXPERIENCE:** Alstom designs and supplies its own turbines, generators and control systems. Customers therefore have a single source for all their needs, simplifying project management and ensuring projects are delivered on time and on budget.

**OUR COMPREHENSIVE RANGE:** because we have a comprehensive range of turbines, you can be sure to find the exact design that performs optimally for your project.

**GLOBAL FOOTPRINT WITH LOCAL PRESENCE:** with technology centres worldwide, Alstom has an in-depth knowledge of the specific hydro needs of local markets and it has the local knowledge to design products that are ideal for local conditions.

Whether plant owners require a new facility or are simply looking to upgrade or renew an existing installation, Alstom has the experience, know-how and mix of technologies to provide the right solution.

Small hydro power plant in Gallur (Spain)
1 x 1.6 MW SAM

# A complete
## For all heads

## Bulb family: very low & low heads

**Alstom's Bulb family, comprising Bulb and PIT solutions, is ideal for run-of-river projects with high to very high discharges.**

The "straight" water passage and horizontal axis improves hydraulic behaviour and allows low submergence.
A further benefit of Alstom's bulb solutions is their outstanding ability to handle significant head and discharge variations due to the double regulated arrangement.

### Bulb: best performance

**HEADS UP TO 15 M; OUTPUT UP TO 20 MW**

Alstom's Bulb solutions are undoubtedly the world's most reliable. Furthermore, the latest developments in hydraulic profile design ensure the highest levels of efficiency over significant discharge variations.

### PIT: cost effectiveness

**HEADS UP TO 20 M; OUTPUT UP TO 25 MW**

PIT is an evolution of Bulb turbines specifically designed for small hydro applications. While Bulb designs have the generator submerged and directly coupled to the turbine, PIT solutions use a gearbox to increase the generator speed and allow alternative positioning of the generator. This enables an open pit above the turbine for easy maintenance access, cost efficient installation and service.

## S-type family: low heads, more power

**S-type turbines are an evolution of traditional Kaplan turbines specifically developed for small hydro applications.**

Alstom's scalable S-type solutions rely on standardised, proven designs, guaranteeing reliability and cost-effectiveness.
Alstom has extensive experience with over 70 units commissioned in the last decade.

### SAM: best performance and optimised cost

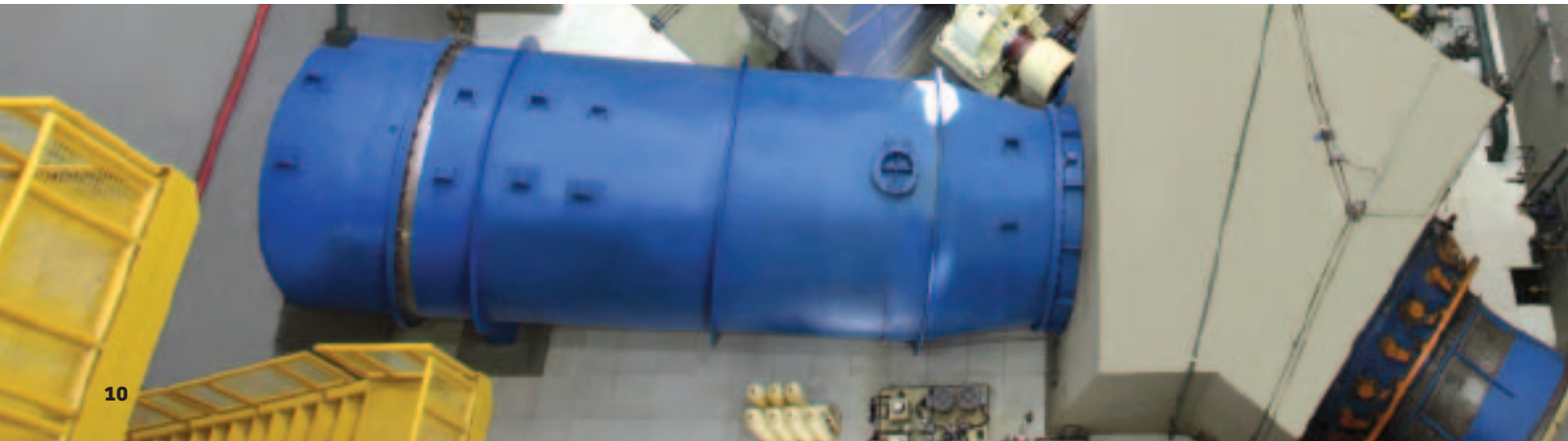
**HEADS UP TO 40 M; OUTPUT UP TO 25 MW**

SAM is Alstom's upstream elbow, the latest evolution of S-type solutions featuring a horizontal axis, straight draft tube and double regulated turbine directly coupled to the generator. It is dedicated to run-of-river, low height dam projects, with high discharge rates and wide variations in head and discharge. Compared to other S-type turbines, Alstom's SAM solutions offer higher performance, greater reliability and reduced excavation.

### SAXO: simple and compact

**HEADS UP TO 25 M; OUTPUT UP TO 10 MW**

When space is limited, for example when integrating into an existing plant, a SAXO solution can be the ideal answer.
Alstom's SAXO is equivalent to a vertical axis SAM connected to an elbow-type draft tube for a compact, efficient solution.



# portfolio
# and discharge rates

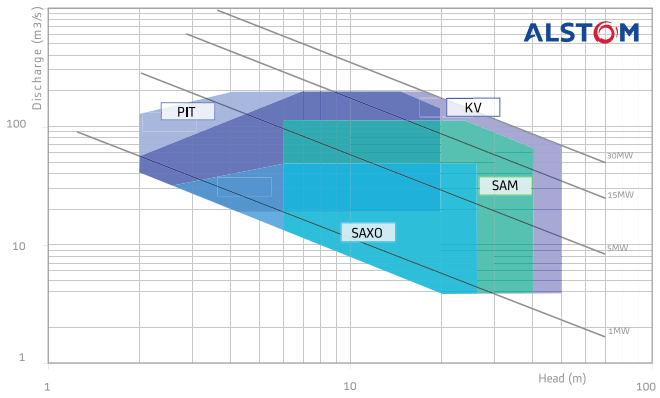
## Vertical Kaplan family: broad range

**Vertical Kaplan turbines provide high efficiency over a broad range of heads and discharge rates.**

### KV: easy site adaptation

**HEADS UP TO 50 M; OUTPUT UP TO 30 MW**

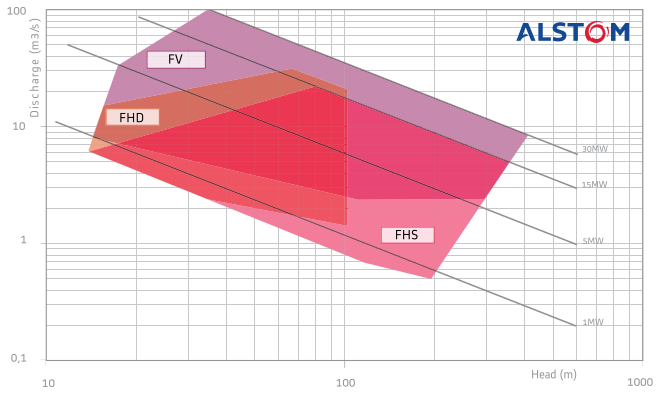
Alstom's vertical axis double-regulated Kaplan solutions are compact and minimise the civil works required.
They also cover the greatest range of power and discharge rates.
Their numerous technical possibilities facilitate the adaptation to project and site constraints.



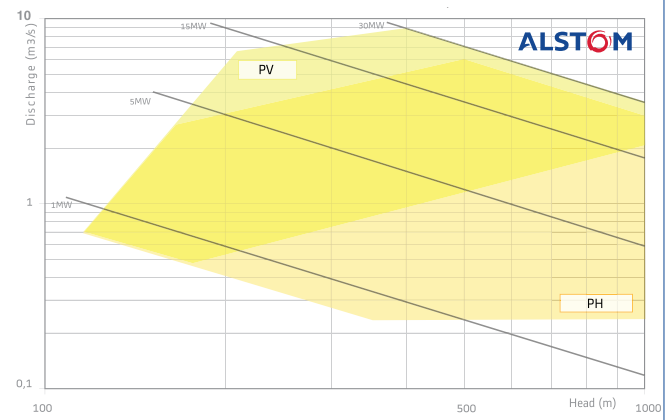

Application Range of Low Head Solutions
Alstom's SHPP Kaplan Family

For more than 100 years, Alstom has been a leading force in hydropower having installed **more than 25% of the total global hydropower capacity.**

# Proven solutions
## Backed by




Application Range of Medium Head Solutions
Alstom's SHPP Francis Family




Application Range of High Head Solutions
Alstom's SHPP Pelton Family

# Francis family: medium head solutions

**Francis turbines are the most widely used and highly efficient turbines in the world.**

Alstom has commissioned more than 130 units up to 30 MW in the last decade. Our complete range of standardised Francis turbines for SHPPs offer wide adaptability for unequalled efficiency levels and drastically reduced cavitation risk.

### Francis Horizontal Single discharge (FHS)
**HEADS UP TO 350 M; OUTPUT UP TO 15 MW**

This is often the preferred SHPP Francis solution since it reduces civil works and turbine-generator submergence. It also provides easier access for maintenance and simplified erection.

### Francis Horizontal Double discharge (FHD)
**HEADS UP TO 100 M; OUTPUT UP TO 20 MW**

Similar to the single discharge arrangement but better suited to higher discharges.

### Francis Vertical arrangement (FV)
**HEADS UP TO 400 M; OUTPUT UP TO 30 MW**

Suitable for larger plants with a higher power output.

# Pelton family: for high heads

**Peltons are the turbine of choice for high heads, fast response and rapid power output adjustment capability. The characteristics of Pelton turbines make them ideal for peak production, ancillary services such as network frequency and voltage regulation, reactive power production and reserve generating capacity.**

The vast majority of Alstom's Pelton units have forged runners to reduce mechanical fatigue and use two bearing technology for a more compact powerhouse. Hard coatings for silt abrasion protection are available.

## Vertical 4- to 6-jet Pelton (PV)

**HEADS UP TO 1000 M; OUTPUT UP TO 30 MW**

These turbines deliver high power and, because of the Multi-jet arrangement, are suitable for a wide operating range.

## Horizontal 2-jet Pelton (PH)

**HEADS UP TO 1000 M; OUTPUT UP TO 25 MW**

These are the ideal solution when cost-effective configurations are needed.

# Patented solutions

**Always at the forefront of innovation, Alstom provides patented designs such as the Hooped Pelton runner which has a number of significant advantages.**

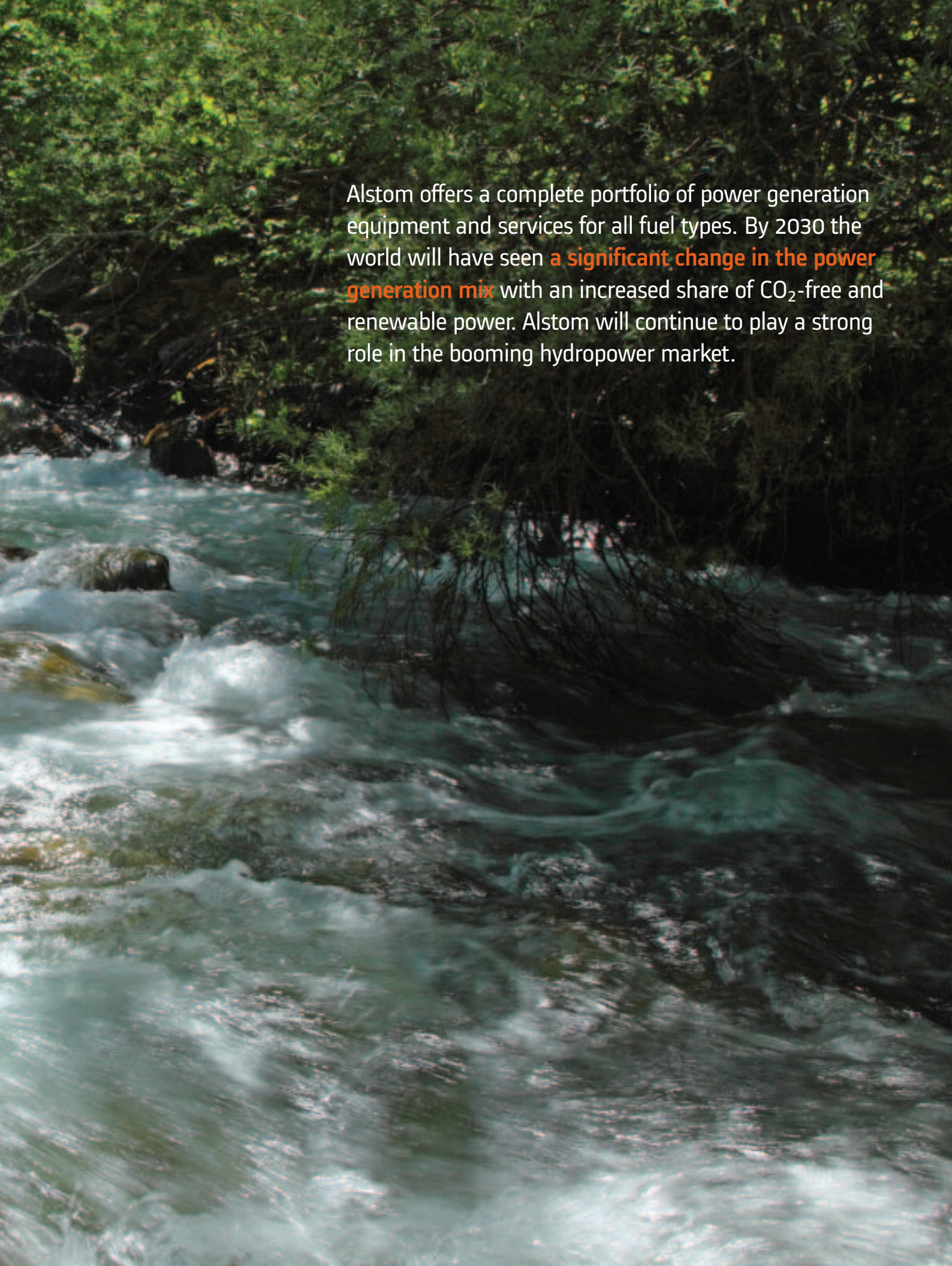
First, each bucket is manufactured separately and is attached to the runner by two hoops. This effectively separates the hydraulic and torque transmission functions between the bucket and the hoops respectively, which increases reliability, consequently, greatly and reduces inspection frequency.

Second, vibrations are reduced by as much as 90%.

Third, with this component design, the supply chain can be optimised to speed delivery times and, later, damaged buckets can be replaced individually providing further savings.

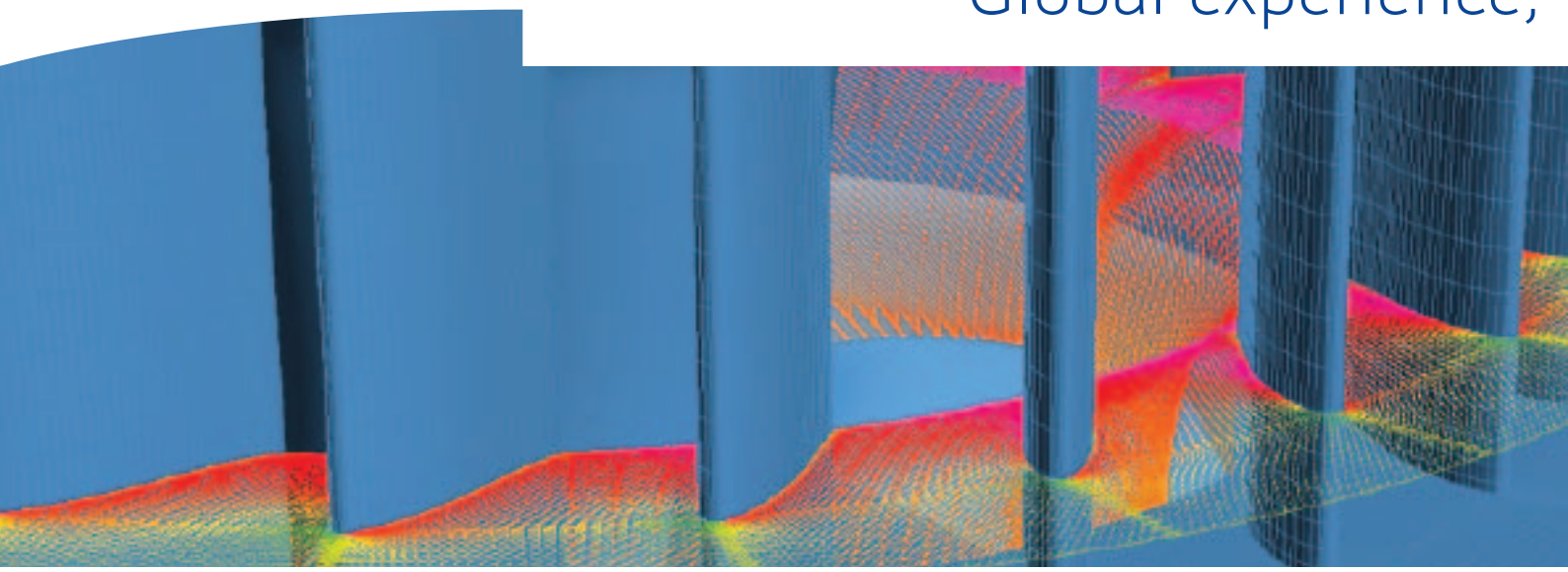
Last, smaller component sizes allow higher quality materials and the application of better silt abrasion protection coatings.

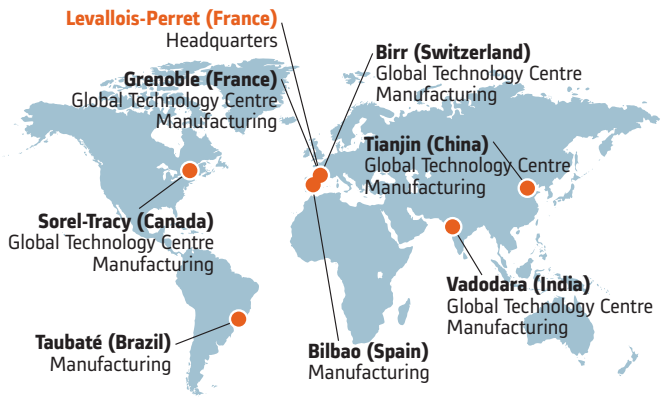
Leveraging our experience and global network, we offer unique solutions based on **proven state-of-the-art technology** and project-specific research and development.



Alstom offers a complete portfolio of power generation equipment and services for all fuel types. By 2030 the world will have seen **a significant change in the power generation mix** with an increased share of $CO_2$-free and renewable power. Alstom will continue to play a strong role in the booming hydropower market.

# Technological
## Global experience,






Specialist production sites embedded in the global Alstom network

## Solving low head challenges

The lower the head, the more important the hydraulic profile. Therefore, besides the right turbine type, the perfect hydraulic pathway needs to be determined to ensure that power output is optimal even when discharge and levels vary. Low heads also drive turbines at relatively low speeds while generating high torques – posing mechanical challenges. As a turbine specialist with a long OEM (original equipment manufacturer) heritage and global portfolio of successful projects, Alstom can reliably solve these challenges.

## GTC – Global Technology Centre

Alstom's Global Technology Centres are advanced research and development locations where we pursue fundamental research and/or run state-of-the-art hydraulic scale model testing. Alstom's test rigs are capable of simulating operating conditions identical to those in a hydropower plant so that we can study and verify complex hydraulic phenomena that are still beyond the scope of the most advanced computer simulations. The benefits flow back into our standard modular designs and custom engineering projects.

Alstom has Global Technology Centres in Grenoble (France – the lead centre), Vadodara (India), Sorel-Tracy (Canada), Birr (Switzerland), Taubaté (Brazil) and Tianjin (China). Further R&D facilities and resources are based around the world.
Using common platforms for product development across all facilities promotes effective international collaboration.

# know-how
## local expertise

### OURINHOS (BRAZIL)
**3 x 15 MW PIT (head: 11 m)**

Ourinhos was a significant technical accomplishment, thanks to the three Alstom 15 MW Pit turbines which deliver a total of 45 MW from a head of only 10 m. After 40,000 hours it has already inspired several other run of the river plants in Brazil and parts of the Amazon.

### SEYRANTEPE (TURKEY)
**2 x 28 MW FV (head: 32 m)**

The 31 m Seyrantepe dam is built on the Peri water of the Euphrates and it powers two units with an installed capacity of 56 MW. Coming into operation in 2008, annual average production has been about 180 million kWh.

### SANTA FÉ (BRAZIL)
**2 x 15 MW SAM (head: 33 m)**

Originally conceived as two KVs, Alstom proposed two horizontal SAMs to better exploit the full site and project potential while limiting environmental impact.

## Project highlights worldwide

Thanks to our global footprint, Alstom has an excellent portfolio of international small hydro references. Our local reach and know how complements our global technology to optimise each project.

### DALVATN (NORWAY)
**1 x 10 MW FHS (head: 190 m)**

Dalvatn power plant in Rogaland was originally built in 1922 and had an installed capacity of 15 MW. In 1978 the old station (called Sauda II) was demolished replaced with a plant with an installed capacity of 24 MW. In 2006, the 10 MW FHS was added with a new waterway tunnel in the mountains.

### MILLER CREEK (CANADA)
**1 x 3.5 MW PH (head: 762 m) and 1 x 30 MW PV (head: 668 m)**

The Miller Creek run-of-river project on a tributary of the Lillooet captures water at elevations of 1,100 m and 1,200 m with a 3 m high wall creating a two hectare reservoir. The water then travels through a 4 km steel penstock to the 31 MW station on the lower reach of the creek.

### GALLUR (SPAIN)
**1 x 1.6 MW SAM (head: 20 m)**

In the Spanish province of Zaragoza the historic Canal Imperial de Aragón has been an important waterway for almost 400 years that is being increasingly used for modern SHPPs. The Gallur plant supplies electricity to some major industries such as Opel, Tudor and Vicasa that have recently settled in the area.

# Advanced technologies

## Driven by customer value

**We help you to maximise power output and profitability – from hydraulic studies to plant configuration and from construction to maintenance.**

### Hydraulic innovation process

Approximately forty new turbine hydraulic profiles are designed and tested each year. Alstom's continuous hydraulic innovation process improves performance and operating range from year to year, maintaining Alstom's hydropower solutions as the global reference.

### River water quality – oil-free solutions

Water bearings make a plant greener because we completely avoid oil lubrication of water path components. Furthermore, water is highly incompressible making water bearings stiffer than their oil counterparts which reduces vibration and noise and increases reliability.

#### OIL-FREE HUB FOR KAPLAN

The Kaplan includes self-lubricated blade bushings and waterfilled hubs.

#### HYDROSTATIC WATER BEARINGS

Another oil-free solution with a self-centring system that also acts as a shaft seal.

### MICADUR® for durable generators

Developed and improved over 40 years, Alstom's Micadur® process results in a Class F insulation system for the stator windings that gives outstanding electrical and mechanical properties. The result is excellent long-term durability under all operating conditions.

### Control and automation technologies

In 2010, Alstom completed the development of the next generation of its small hydro power plant control and automation portfolio. While maintaining a high level of availability and performance, the new portfolio is focused on meeting essential requirements of cost-effectiveness, simplicity and reliability.

#### SMARTCONTROL SX

Control system with the latest proven technologies for harsh real-time industrial environments.

#### SMARTGEN™

A brushless excitation based on low maintenance technology, which eliminates the need for regular cleaning to remove carbon dust.

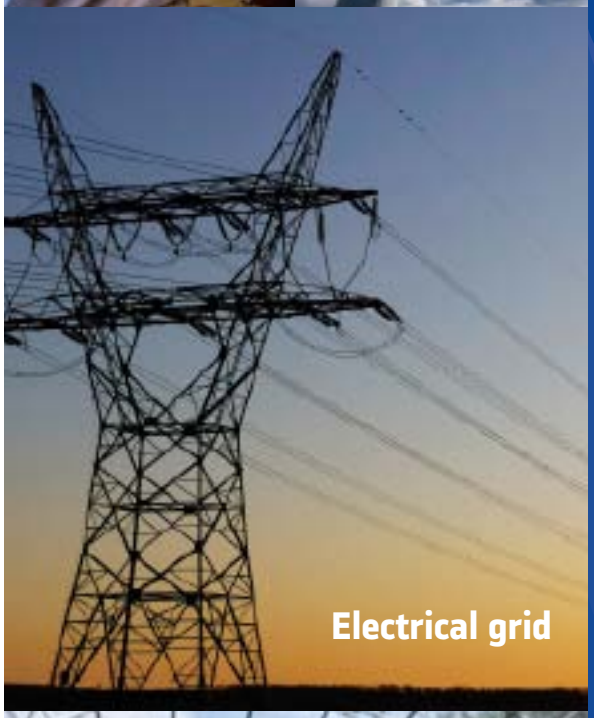
#### NEYRPIC® T.SLG

A universal electronic governor based on proven technology and designed for all types of hydro turbines, it is robust, fast and easy to use or upgrade.

## Plant Integrator™ – optimising the value chain

The Plant Integrator™ approach creates real value for our customers by optimising the entire value chain and the overall plant performance. This approach goes beyond the typical product compilation simply aimed at reducing costs. As an OEM, EPC and O&M provider, Alstom has a unique perspective that allows the analysis of the whole plant and the full lifecycle as an integrated system. Using proven models and established benchmarks, specific investment costs can be understood in their true context. Customers benefit from a greater range of options to determine the solutions that are best-suited to their needs. These help them achieve their business objectives and consequently, better serve their markets.

Power generation



Electrical grid

Rail transport

# Alstom

Alstom is a global leader in the world of power generation, power transmission and rail infrastructure and sets the benchmark for innovative and environmentally friendly technologies.

Alstom builds the fastest train and the highest capacity automated metro in the world, provides turnkey integrated power plant solutions and associated services for a wide variety of energy sources, including hydro, nuclear, gas, coal, wind, solar thermal, geothermal and ocean energies. Alstom offers a wide range of solutions for power transmission, with a focus on smart grids.

# Power generation

**Alstom Power** offers solutions which allow their customers to generate reliable, competitive and eco-friendly power.

Alstom has the industry's most comprehensive portfolio of thermal technologies – coal, gas, oil and nuclear – and holds leading positions in turnkey power plants, power generation services and air quality control systems. It is also a pioneer in carbon capture technologies.

Alstom offers the most comprehensive range of renewable power generation solutions today: hydro power, wind power, geothermal, biomass and solar. With ocean energies, we are developing solutions for tomorrow. Alstom is one of the world leaders in hydro power, the largest source of renewable energy on the planet.

RPWR/BRCH/SMLHYD13/EN/6.2013/FRA/1537 © ALSTOM 2013. All rights reserved. Information contained in this document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on that it is complete or correct or will apply to any particular project. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is provided without liability and is subject to change without notice. Reproduction, use or disclosure to third parties, without express written authority, is strictly prohibited. Photo credits: ALSTOM.
**Printed on environmentally friendly paper. A PDF version of this brochure is available at: www.alstom.com**

**Europe, Middle East and Africa**

Alstom Hydro
4, avenue André Malraux
92309 Levallois-Perret Cedex
France

**North America**

Alstom Hydro Canada Inc.
1350 chemin St-Roch
J3R 5P9 Sorel-Tracy, Québec
Canada

**Latin America**

Alstom Hydro Energia Brasil Ltda
Av. Charles Schneider
12040-001 Taubaté
Brazil

**China**

Tianjin Alstom Hydro Co., Ltd
Gaofeng Road, Beichen District
Tianjin 300400
China

**Asia**

Alstom Projects India Ltd  Hydro
Maneja
Vadodara – 390 013
India

Alstom Renewable Power
4, avenue André Malraux
92309 Levallois-Perret Cedex
France

**www.alstom.com**

ALSTOM

# saltos del pirineo

turbinas y equipamientos hidroeléctricos

THEE

## TURBINAS KAPLAN, PELTON Y FRANCIS
## LIMPIARREJAS, COMPUERTAS Y VÁLVULAS

TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª 25006-LLEIDA
973222636 Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com www.saltosdelpirineo.com

# Turbinas y equipamientos hidroeléctricos

## Turbinas KAPLAN de 4 palas

### Características

Rodete KAPLAN de 4 palas en fundición GS o Cobre-Aluminio.
Carcasa monobloc mecanosoldada.
Distribuidor axial o radial.

Conjuntos compactos de fácil instalación y de alto rendimiento.
Potencias desde 100 hasta 400 kW.
Saltos de 2 a 9 metros y caudales de 4 a 10 $m^3/s$.

Montaje en taller preparado para instalación.

### Tipo de regulación

Regulación de las palas:

Modelo AE : Palas móviles automáticas, abertura por cilindro de baja presión.

Modelo ME : Palas móviles manualmente gracias a accionamiento manual central.

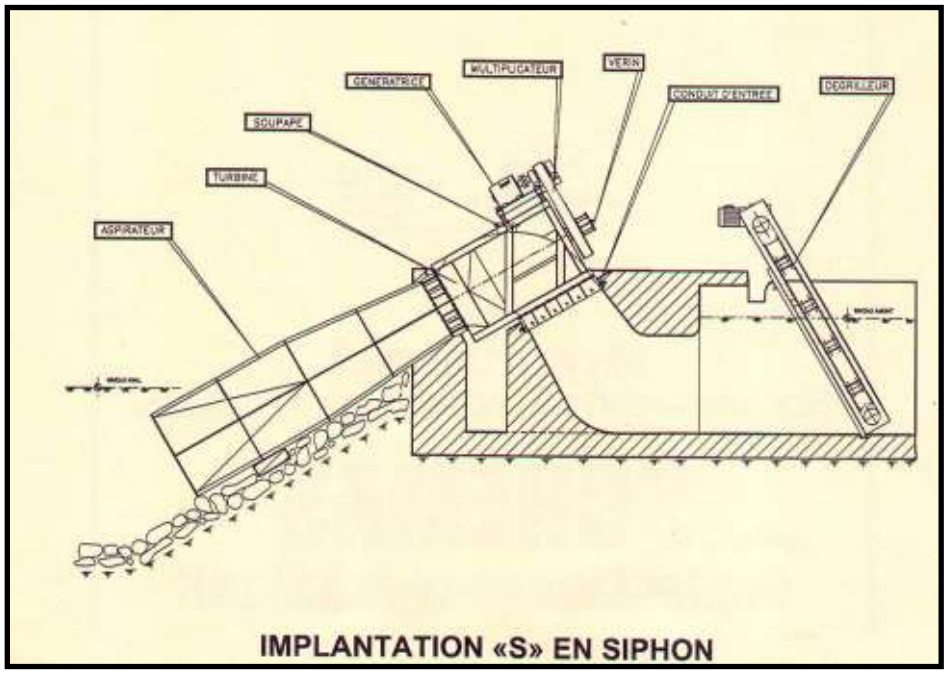
Modelo SE : Palas fijas ajustables en los ensayos.

### Disposiciones de las turbinas y adaptación a cada tipo de salto

Tipo T : Alimentación por canal de entrada, eje inclinado, aspiración rectilínea, cierre por compuerta. Chasis generador y turbina en un conjunto.

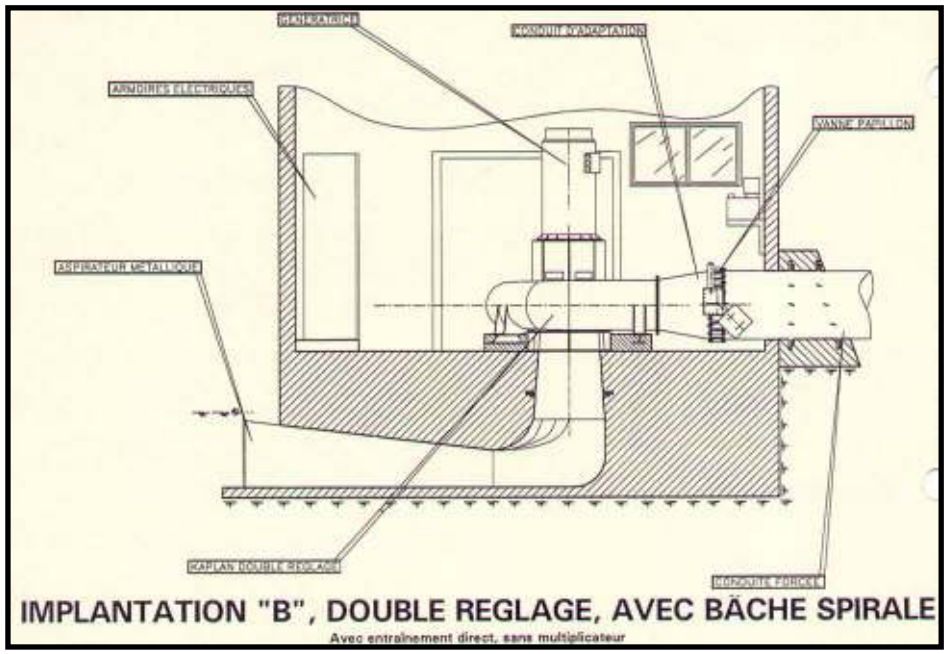
Tipo C : Alimentación por cámara de agua, eje vertical, distribuidor fijo o móvil, aspiración en codo.

Tipo V : Alimentación por conducción forzada, eje vertical, aspiración en codo, cierre por válvula de mariposa.



IMPLANTATION «S» EN SIPHON

Tipo S : Alimentación por canal de entrada, eje inclinado, disposición sifón, bomba de vacío, cierre por válvula interior.



IMPLANTATION "B", DOUBLE REGLAGE, AVEC BÂCHE SPIRALE
Avec entraînement direct, sans multiplicateur

Tipo B : Alimentación por conducción forzada, eje vertical, doble reglaje mediante cámara espiral.

## Instalaciones

**- Herrera de Pisuerga (Palencia):**

Turbina Kaplan D-12104-AET  eje inclinado, en antiguo molino del Canal de Castilla.
Conjunto montado en taller. Montaje realizado en 3 días.
Salto neto 4 metros. Potencia 160 kW.

TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª  25006-LLEIDA
973222636  Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com  www.saltosdelpirineo.com

**Torrefarrera (Lérida):**

Turbina Kaplan D-1104-AET eje inclinado, en antiguo molino del Canal de Piñana.
Conjunto montado en taller. Montaje realizado en 3 días.
Salto neto 3'4 metros. Potencia 100 kW.

# Turbinas KAPLAN de 5 palas

## Características

Rodete de 5 palas en Cobre-Aluminio.
Carcasa monobloc mecanosoldada.
Manto rodete semiesferico.

Conjuntos compactos de fácil instalación y de alto rendimiento.
Potencias desde 100 hasta 300 kW.
Saltos de 9 a 18 metros y caudales de 1'5 a 4 $m^3/s$.

Montaje en taller preparado para instalación.

Turbina Kaplan D-7512-ADCG doble regulación y eje vertical.
Salto neto 12 metros. Potencia 205 kW.

## Tipo de regulación

Regulación de las palas:

Modelo AE : Palas móviles automáticas, abertura por cilindro de baja presión.

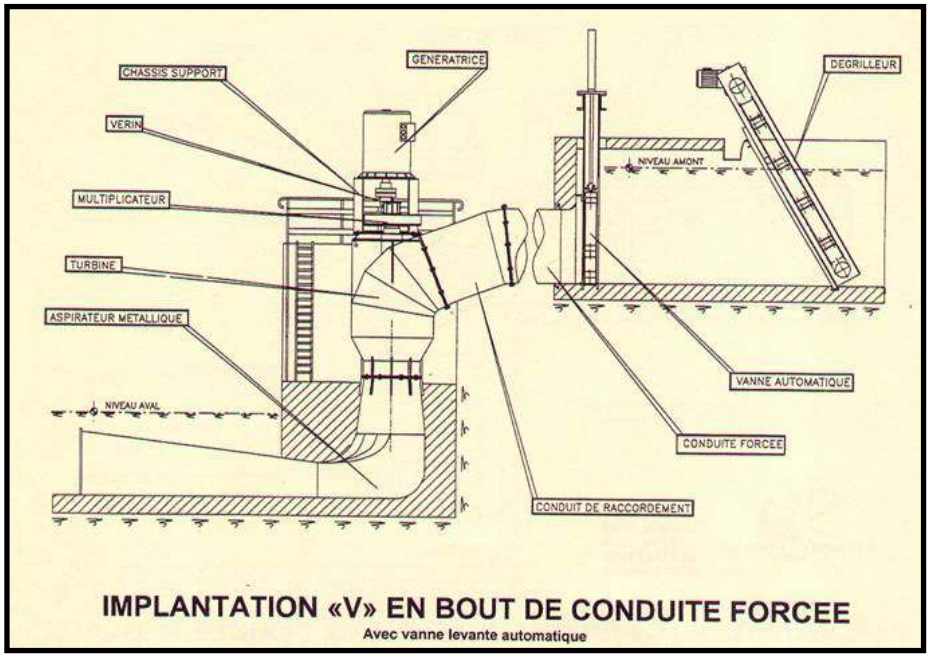
Modelo ME : Palas móviles manualmente gracias a accionamiento manual central.

Modelo SE : Palas fijas ajustables en los ensayos.

## Disposiciones de las turbinas y adaptación a cada tipo de salto

Tipo V : Alimentación por conducción forzada, eje vertical, aspiración en codo, cierre por válvula de mariposa.

Tipo T : Alimentación por conducción forzada, eje inclinado , cierre por compuerta o válvula de mariposa.



# Turbinas KAPLAN  Autoconsumo

## Características

Rodete KAPLAN de 4 palas en fundición GS.
Grupo monobloc montado en taller compuesto por Valvula de cierre, turbina Kaplan, regulación de las palas a la parada y generador síncrono en un solo conjunto.

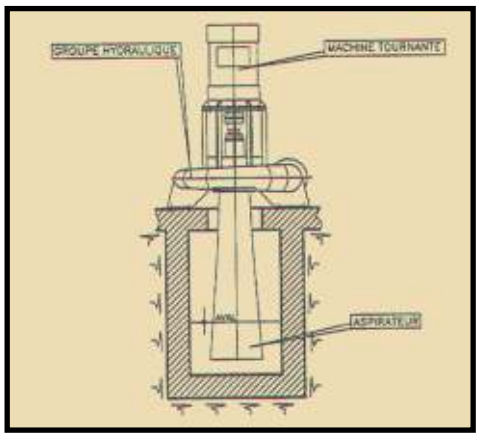
Conjuntos compactos de fácil instalación y de alto rendimiento.
Potencias de 5 a 30 kW.
Saltos de 2 a 18 metros y caudales de 0'4 a 1'1 $m^3/s$.

TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª  25006-LLEIDA
973222636  Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com  www.saltosdelpirineo.com

# Turbinas FRANCIS

## Características

Grupo Hidroeléctrico Francis monobloc totalmente montado en taller y preparado para su instalación. Cámara espiral mecanosoldada.
Concepción semiestándar que permite la adaptación a las características específicas de cada instalación. Eje vertical y horizontal.

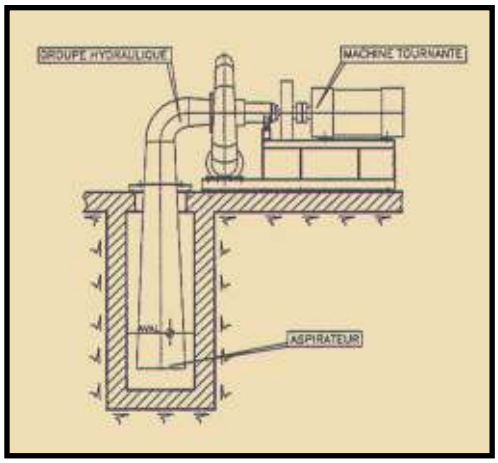



Rodete en fundición GS, cobre-aluminio o inox.
Directrices en fundición GS o inox.

Funcionamiento mediante grupo hidráulico. Cierre directrices por contrapeso.

Conjuntos compactos de fácil instalación y de alto rendimiento.

Potencias de 20 a 400 kW.
Saltos de 15 a 80 metros y caudales de 0'2 a 2 $m^3/s$.




TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª 25006-LLEIDA
973222636 Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com www.saltosdelpirineo.com

## Instalaciones

Eje horizontal. Salto neto 18 m. Potencia 300 kW.

TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª 25006-LLEIDA
973222636 Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com www.saltosdelpirineo.com

# Turbinas PELTON

## Características

Grupo Hidroeléctrico Pelton monobloc totalmente montado en taller y preparado para su instalación. Montaje en conducción forzada.
Concepción semi-estándar que permite la adaptación a las características especificas de cada instalación. Eje vertical y horizontal.

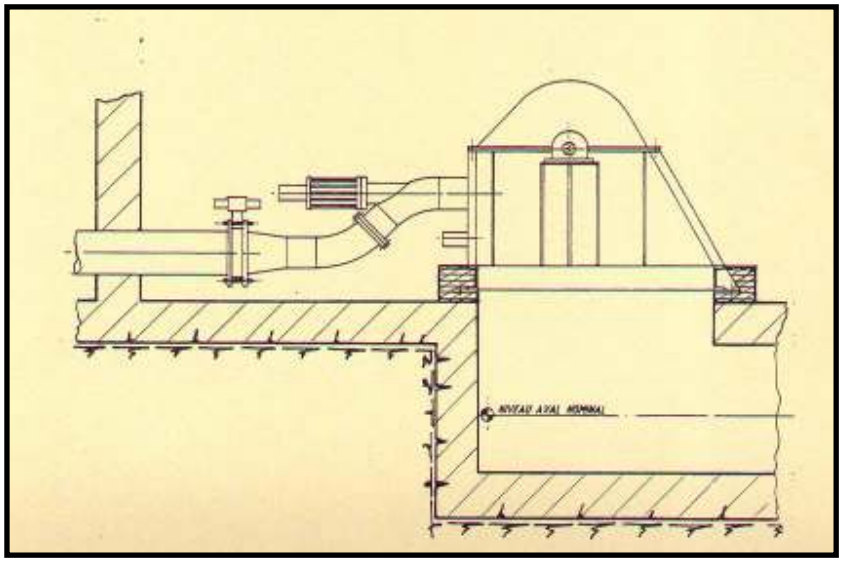
Número de inyectores 1 a 4. Conjunto formado por válvula de entrada, turbina y generador asíncrono.

Rodete en cobre-aluminio o inox.
Inyectores en inox.

Funcionamiento mediante grupo hidráulico. Cierre inyectores por resortes.

Conjuntos compactos de fácil instalación y de alto rendimiento.

Potencias de 50 a 400 kW.
Saltos de 80 a 350 metros y caudales de 0'05 a 0'5 $m^3/s$.



TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª 25006-LLEIDA
973222636 Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com www.saltosdelpirineo.com

## Instalaciones

**- Candanchu:**

Turbina Pelton de dos inyectores.
Potencia de la instalación 200 kW.

TURBINAS Y EQUIPAMIENTOS HIDROELECTRICOS SALTOS DEL PIRINEO, S.L.
Ricard Viñes, 11 Ppal. 3ª 25006-LLEIDA
973222636 Fax 973230159
info@saltosdelpirineo.com www.saltosdelpirineo.com