



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMINOS
upv

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio de soluciones para la generación de energía hidroeléctrica en la presa de Tous situada en el río Júcar entre los municipios de Tous y Millares (provincia de Valencia)

Presentado por

Torrent Gómez, Paloma

Sifres, Pelegero, Neus

Para la obtención del

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2017/2018

TUTOR: Navarro Torrijos, José

Valencia, junio de 2018



ÍNDICE

1. MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN-OBJETO
2. ANTECEDENTES
3. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO
4. HIDROLOGÍA
5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL APROVECHAMIENTO
6. PRODUCCIÓN ENERGÉTICA
7. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES
8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
9. PLAZO DE EJECUCIÓN Y PRESUPUESTO
10. TRÁMITES ADMINISTRATIVOS PARA LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO
11. ESTUDIO ECONÓMICO
12. CONCLUSIONES
13. REFERENCIAS

2. ANEJOS

- Anejo 1: HIDROLOGÍA
- Anejo 2: ESTUDIO GENERAL DEL APROVECHAMIENTO
- Anejo 3: PRESUPUESTO
- Anejo 4: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
- Anejo 5: ESTUDIO ECONÓMICO
- Anejo 6: PLANOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMINOS
upv

MEMORIA

Estudio de soluciones para la generación de energía hidroeléctrica en la presa de Tous situada en el río Júcar entre los municipios de Tous y Millares (provincia de Valencia)

Presentado por

Torrent Gómez, Paloma

Sifres, Pelegero, Neus

Para la obtención del

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2017/2018

TUTOR: Navarro Torrijos, José

Valencia, junio de 2018



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN-OBJETO	11
2. ANTECEDENTES	12
2.1 Centrales hidroeléctricas.....	12
2.2 Presa de Tous	13
3. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	14
3.1 Ámbito geográfico.....	14
3.2 Características generales de la presa y del embalse	15
3.3 Topografía, geología y geotecnia	16
4. HIDROLOGÍA.....	19
4.1 Descripción general del río Júcar	19
4.2 Descripción general del canal Júcar-Turia	22
4.3 Aportaciones, avenidas, evaporación y niveles de embalse	23
4.4 Curva de caudales clasificados del río Júcar.....	26
4.5 Curva de caudales clasificados del canal Júcar-Turia	27
5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL APROVECHAMIENTO	29
5.1 Estudio de soluciones.....	29
5.1.1 Central de agua fluyente	29
5.1.2 Central a pie de presa.....	30
5.1.3 Central hidroeléctrica en el canal de riego	31
5.2 Justificación de las soluciones adoptadas	32
5.3 Caudales de equipamiento.....	32
5.3.1 Caudal de diseño central río Júcar.....	34
5.3.2 Caudal de diseño central del canal Júcar-Turia	37
5.4 Saltos brutos y netos.....	39
5.4.1 Determinación del salto neto	41
5.4.1.1 Pérdidas de carga por fricción	42
5.4.1.2 Pérdidas de carga a través de las válvulas	44
5.4.2 Caudal ecológico	46
5.5 Potencia activa	48
5.5.1 Potencia activa en la solución de la central del río Júcar.....	48

5.5.2 Potencia activa en la solución de la central del canal Júcar-Turia	49
6. PRODUCCIÓN ENERGÉTICA	49
6.1 Producción energética en la solución central en el río Júcar	50
6.2 Producción energética en la solución central en el canal Júcar-Turia	50
7. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES	51
7.1 Obra civil e instalaciones eléctricas comunes a las dos centrales	51
7.1.1 Torre de toma	52
7.1.2 Toma-torre de compuertas	52
7.1.3 Torre de compuertas	53
7.1.4 Túnel	53
7.1.5 Caseta de bombeo	54
7.1.6 Estanque de regulación	54
7.1.7 Instalaciones eléctricas	55
7.2 Equipos electromecánicos generales a todo tipo de centrales hidroeléctricas	56
7.2.1 Tipos de turbinas hidráulicas	56
7.2.2 Rangos de utilización y rendimientos de las turbinas	61
7.2.3 Tipos de generador	62
7.2.4 Equipos eléctricos generales y línea	63
7.2.5 Elementos de protección, control y regulación	64
7.2.6 Automatización	65
7.3 Soluciones estudiadas	66
7.3.1 Central en el río Júcar	66
7.3.1.1 Obra civil	67
7.3.1.2 Turbinas	68
7.3.1.3 Generadores	71
7.3.1.4 Transformador	72
7.3.2 Central en el canal Júcar-Turia	72
7.3.1.1 Obra civil	73
7.3.1.2 Turbina	74
7.3.1.3 Generador	75
7.3.1.4 Transformador	76

8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	77
9. PLAZO DE EJECUCIÓN Y PRESUPUESTO	77
9.1 Presupuesto solución central en el río Júcar.....	77
9.2 Presupuesto solución central en el canal Júcar-Turia	78
10. TRÁMITES ADMINISTRATIVOS PARA LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO.	79
10.1 Legislación aplicable.....	79
10.1.1 <i>Ámbito de aplicación.</i>	79
10.1.2 <i>Potencia instalada.</i>	80
10.1.3 <i>Competencias administrativas.</i>	80
10.1.4 <i>Autorización de la instalación.</i>	81
10.1.5 <i>Registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica.</i>	81
10.1.6 <i>Concesión del agua.</i>	84
11. ESTUDIO ECONÓMICO	84
11.1 Introducción	84
11.2 Estudio económico de la solución de la central en el río Júcar.....	85
11.2.1 <i>Beneficio por venta de energía</i>	85
11.2.2 <i>Costes de operación y mantenimiento</i>	85
11.2.3 <i>Gastos financieros</i>	85
11.2.4 <i>Balance económico. Beneficios.</i>	86
11.2.5 <i>Rentabilidad</i>	88
11.3 Estudio económico de la solución de la central en el canal Júcar-Turia.	89
11.3.1 <i>Beneficio por venta de energía</i>	89
11.3.2 <i>Costes de operación y mantenimiento</i>	89
11.3.3 <i>Gastos financieros</i>	89
11.3.4 <i>Balance económico. Beneficios.</i>	90
11.3.5 <i>Rentabilidad</i>	92
12. CONCLUSIONES.....	93
13. REFERENCIAS	94

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Zona de estudio. Instituto Geográfico Nacional.....	11
Imagen 2: Vista aérea de la zona estudio. Google Earth.....	12
Imagen 3: Sección presa de Tous. CEDEX.....	15
Imagen 4: Corte geológico de la presa de Tous. Libro La presa de Tous.....	17
Imagen 5: Red hidrográfica y modelo digital del terreno de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.	18
Imagen 6: Mapa topográfico de la zona. Instituto geológico y minero de España (IGME).	19
Imagen 7: Conjunto de embalses y afluentes que convergen en el embalse de Tous. Libro La presa de Tous.	21
Imagen 8: Precipitación media anual en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar. CEDEX.....	22
Imagen 9: Distribución espacial de la evapotranspiración potencial total anual (mm/año) en la DHJ (períodos 1940/41-2011/12 y 1980/81-2011/12).....	25
Imagen 10: Ejemplo central de agua fluyente. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	30
Imagen 11: Ejemplo central a pie de presa. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	30
Imagen 12: Esquema general de un salto de agua. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	40
Imagen 13: Coeficiente de pérdida de carga de las válvulas.....	44
Imagen 14: Válvula de mariposa. Catálogo VAYCOM.....	45
Imagen 15: Torre de toma y de compuertas de la presa de Tous. Libro La presa de Tous.	51
Imagen 16: Trifurcación de la tubería. Libro La presa de Tous.	54
Imagen 17: Estanque de regulación. Libro La presa de Tous.	55
Imagen 18: Subestación de transformación. Equipos de transformación y potencia. Libro La presa de Tous.	56
Imagen 19: Turbina Pelton. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.....	58
Imagen 20: Turbina Francis. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.....	59

Imagen 21: Turbina Kaplan. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.....	60
Imagen 22: Elementos de un generador eléctrico. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	63
Imagen 23: Emplazamiento de la central a pie de presa. Google Earth.....	67
Imagen 24: Obra civil a construir en la solución de la central en el río Júcar. Elaboración propia.	68
Imagen 25: Disposición de las turbinas de la central del río Júcar. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.	69
Imagen 26: Dimensiones turbina Kaplan para caudales bajos en la solución central río Júcar. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.	70
Imagen 27: Dimensiones turbina Kaplan para caudales altos en la solución central en el río Júcar. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.....	70
Imagen 28: Emplazamiento de la central en el canal Júcar-Turia. Google Earth.	72
Imagen 29: Obra civil a construir en la solución de la central en el canal Júcar-Turia. Elaboración propia	73
Imagen 30: Disposición de las turbinas de la central del canal Júcar -Turia. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.	74
Imagen 31: Dimensiones turbina Kaplan para la solución central en canal Júcar-Turia. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolución de la potencia instalada peninsular (GW). Red eléctrica de España.	13
Gráfico 2: Histórico mensual de aportaciones. Elaboración propia.	24
Gráfico 3: Histórico mensual del nivel del embalse de Tous. Elaboración propia.....	25
Gráfico 4: Históricos de caudales. Elaboración propia.	26
Gráfico 5: Histórico de caudales sin picos. Elaboración propia.	26
Gráfico 6: Curva de caudales clasificados. Elaboración propia.	27
Gráfico 7: Histórico de caudales canal Júcar-Turia. Elaboración propia.....	27
Gráfico 8: Histórico de caudales sin picos canal Júcar-Turia. Elaboración propia.....	28
Gráfico 9: Curva de caudales clasificados canal Júcar-Turia. Elaboración propia.	28
Gráfico 10: Q equipado – Volumen. Elaboración propia.....	34
Gráfico 11: Variación del nivel del embalse de Tous en los últimos 5 años. Elaboración propia.	35
Gráfico 12: Caudales de salida embalse de Tous hacia el río Júcar en los últimos 5 años. Elaboración propia.	35
Gráfico 13: Gráfico media anual de los caudales de salida del río Júcar.....	36
Gráfico 14: Q equipado – Volumen. Elaboración propia.....	37
Gráfico 15: Variación del nivel del embalse de Tous en los últimos 5 años. Elaboración propia.	38
Gráfico 16: Caudales de salida embalse de Tous hacia el canal Júcar-Turia en los últimos 5 años. Elaboración propia.	38
Gráfico 17: Caudales medios diarios canal Júcar-Turia. Elaboración propia	39
Gráfico 18: Variación del nivel del embalse de Tous en los últimos 5 años. Elaboración propia.	40
Gráfico 19: Rendimiento-Q equipamiento turbina Pelton. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	57
Gráfico 20:Rendimiento-Q equipamiento turbina Francis. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	59
Gráfico 21: Rendimiento-Q equipamiento turbina Kaplan. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.	60

Gráfico 22: Diagrama para la elección de turbinas hidráulicas. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio	61
Gráfico 23: Detalle del préstamo para la construcción de la central del río Júcar. Elaboración propia.	86
Gráfico 24: Pay Back central río Júcar con financiación. Elaboración propia	87
Gráfico 25: Pay Back central río Júcar sin financiación. Elaboración propia	87
Gráfico 26: Detalle del préstamo para la construcción de la central del canal Júcar-Turia. Elaboración propia.	90
Gráfico 27: Pay Back central canal Júcar-Turia con financiación. Elaboración propia	91
Gráfico 28: Pay Back central canal Júcar-Turia sin financiación. Elaboración propia	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del histórico de caudales según las aportaciones. Elaboración propia....	23
Tabla 2: Salto medio, mínimo y máximo del embalse para la solución de la central en el río Júcar.	41
Tabla 3: Salto medio, mínimo y máximo del embalse para la solución de la central en el canal Júcar-Turia.....	41
Tabla 2: Resumen para el cálculo del salto neto de la central del río Júcar. Elaboración propia.	46
Tabla 3: Resumen para el cálculo del salto neto de la central del canal Júcar-Turia. Elaboración propia.	46
Tabla 4: Propuesta final de regímenes de caudales ecológico. Confederación hidrográfica del Júcar (CHJ)	47
Tabla 5: Resumen de la potencia a instalar y el factor de potencia de ambas soluciones.....	49
Tabla 6: Resumen de la producción energética de ambas soluciones.	51
Tabla 7: Caudal mínimo técnico de distintos tipos de turbina. Elaboración propia.	62
Tabla 8: Comparación de los presupuestos de ambas soluciones. Elaboración propia.	79
Tabla 9: Tabla resumen del estudio económico de la central del río Júcar. Elaboración propia	89
Tabla 10: Tabla resumen del estudio económico de la central del canal Júcar-Turia. Elaboración propia	93

1. INTRODUCCIÓN-OBJETO

El objetivo de este trabajo de final de grado es realizar un estudio de dos soluciones para establecer un aprovechamiento hidroeléctrico en el río Júcar, más concretamente en la presa de Tous. Este trabajo estará enfocado en crear dos soluciones de centrales para producir energía. Se ha elegido dicho embalse, porque parte de las infraestructuras necesarias para llevar a cabo dichas centrales, ya estaban reflejadas en el proyecto de la presa para un futuro aprovechamiento y porque actualmente todavía no existe ningún sistema de generación de energía.

La finalidad de la primera central será aprovechar el salto de agua existente entre el punto de toma y la restitución al río Júcar, con un salto de agua existente de 36,31 m con toda la infraestructura de obra civil y equipamiento necesario, a fin de generar energía eléctrica y venderla en el mercado energético.

El objetivo de la segunda solución será aprovechar el salto de agua existente entre el punto de toma y el reintegro al canal Júcar-Turisa, con un salto de agua existente de 13,31 m y al igual que en el caso anterior, generar energía eléctrica y venderla en el mercado energético.

En cuanto a la situación de este aprovechamiento, se encuentra en el río Júcar en la presa de Tous. La presa se encuentra en la Comunidad Valenciana, concretamente en la provincia de Valencia, entre los municipios de Tous y Millares.

Para tener una referencia visual de la zona, se muestran a continuación algunas imágenes obtenidas tanto de Google Earth así como del Instituto Geográfico Nacional y de Google Maps para ilustrar la zona.

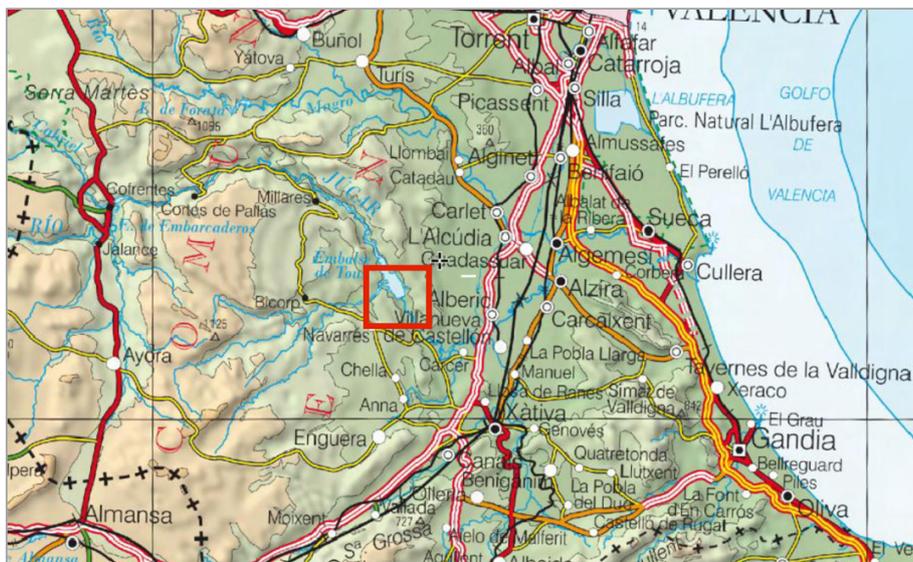


Imagen 1: Zona de estudio. Instituto Geográfico Nacional

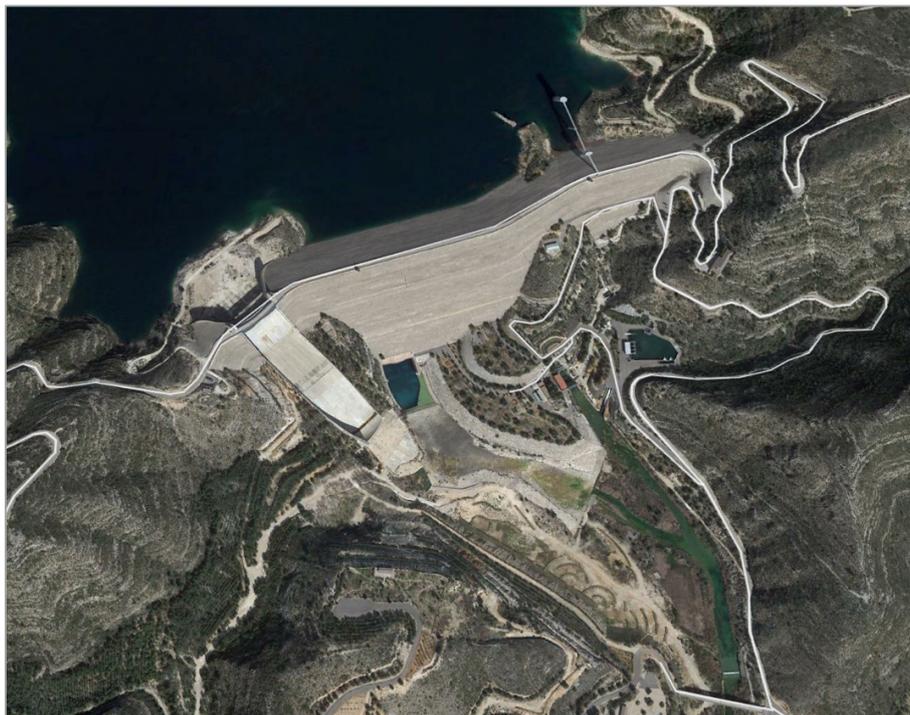


Imagen 2: Vista aérea de la zona estudio. Google Earth

2. ANTECEDENTES

Si se presta atención al marco social, es deducible que la población aumente en un futuro y que, como consecuencia, aumente también la demanda de más energía para satisfacer necesidades básicas. Es por eso que el aprovechamiento hidroeléctrico de esta gran presa de Tous, podría ser una solución al futuro problema del aumento de la demanda con respecto a la oferta y así aprovechar la presa existente.

2.1 Centrales hidroeléctricas

Desde la antigüedad, la fuerza del agua ya fue aprovechada para suplir determinadas necesidades como podía ser moler grano o triturar materiales para la producción de papel. Dichas actividades se llevaban a cabo gracias a los molinos de agua.

No fue hasta los inicios de la Revolución Industrial cuando se empezó a aprovechar la energía del agua para producir energía eléctrica. Se considera que la primera central hidroeléctrica fue la que se construyó en Reino Unido, más concretamente en Northumberland, en 1880.

Dicha fuente de energía experimentó un rápido crecimiento debido al desarrollo técnico que tuvo lugar a finales del siglo XIX y principios del XX, ya que se inventó el generador eléctrico y se perfeccionaron las turbinas hidráulicas.

En la actualidad, la energía hidroeléctrica constituye una de las mayores fuentes de energía para abastecer las necesidades eléctricas, como se puede observar en el siguiente gráfico:

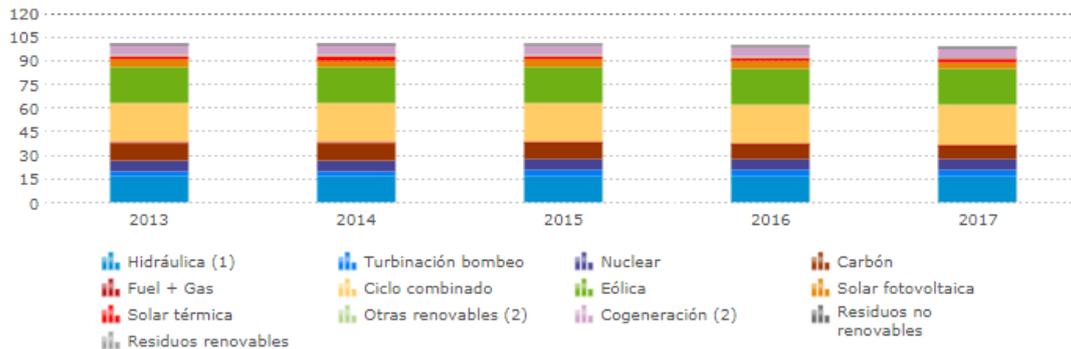


Gráfico 1: Evolución de la potencia instalada peninsular (GW). Red eléctrica de España.

2.2 Presa de Tous

A lo largo de la historia del río Júcar, se han sucedido una serie de crecidas que han hecho característico a este.

Cabe destacar que anteriormente a la presa existente en la actualidad, ya fue construida otra presa. Este hecho fue debido a que se produjo una gran crecida que provocó el desmoronamiento de la primera presa.

Si se hace un recorrido a lo largo de la historia de las dos presas de Tous se puede observar que en 1864 se produjo un punto de inflexión. Desde ese momento aumentaron los estudios, estrategias, propuestas y planificaciones con el objetivo de proteger a toda la comarca.

De las riadas históricas documentadas, una de las más famosas es la citada de 1864, pero la más antigua se data el 27 de septiembre de 1517. Otras riadas posteriores constatadas son las de los años 1753, 1766, 1779 (calificada como “una de las más terribles avenidas”), 1785, 1791, 1801, 1802, 1805 (causó daños en pueblos como Cofrentes, Millares, Cortes, etc y en Alcira arruinó sesenta y una casas) y la de 1864, nombrada en primer lugar.

Todas estas inundaciones llevaron a los expertos a plantearse la necesidad de establecer un plan con el propósito de proteger las poblaciones y también un correcto aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la cuenca del Júcar para la obtención de

energía eléctrica y así como el abastecimiento para el regadío. Como consecuencia de este plan y los estudios posteriores, se decidió la construcción de diversas presas tanto en el río Júcar como en sus afluentes como por ejemplo en Alarcón en 1955 y en Contreras en 1975.

Uno de los eventos más destacados, por no decir el más importante, de la vida de la presa de Tous fue el desbordamiento producido por la crecida en 1982 que causó catastróficos daños en los pueblos y bienes de alrededor. Algunos de los pueblos afectados fueron Cárcer, Sumacárcer, Alcira o Antella.

Este acontecimiento fue ocasionado por un conjunto de factores. Días anteriores a la rotura de la presa estuvo lloviendo intensamente en la zona, lo que provocó un incremento del nivel del embalse, a esto también se le sumó el hecho de que fallaron los sistemas eléctricos de apertura de compuertas debido a la tormenta. Fue por este motivo que el nivel de agua no paró de subir hasta llegar al punto en el que se sobrepasó la cota de coronación y al ser la presa de materiales sueltos se desmoronó con graves consecuencias citadas anteriormente.

3. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

En el presente apartado se realizará una descripción de la Cuenca Hidrográfica del Júcar, analizando su ámbito geográfico, características generales de la presa y del embalse de Tous y así como la topografía, geología y geotecnia.

3.1 Ámbito geográfico

Este trabajo sólo afecta a la cuenca hidrográfica del Júcar, ya que tanto el río de ubicación y la vertiente es el río Júcar.

La Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) limita con las demarcaciones del Ebro y del Segura al norte y sur respectivamente y del Tajo, Guadiana y Guadalquivir al oeste, bordeando al este con el Mediterráneo. La superficie total del territorio de la demarcación es de 42.735 km².

La DHJ está formada por una gran cantidad de ríos, de los cuales los principales son los siguientes: Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis y Vinalopó. De estos cabe destacar el río Júcar y Turia.

3.3 Topografía, geología y geotecnia

La forma y la tipología de la presa de Tous está compuesta principalmente por los materiales que conforman la cerrada y por su disposición estructural. Tienen mucha importancia las fallas que se encuentran en la zona. En primer lugar, se encuentran la falla de Tous y la falla de Sumacàrcer que se sitúan delimitando el río por ambas partes. En segundo lugar, la falla del Collado, la falla del Túnel de desvío y la falla de los Charcos, son las que se sitúan en el cauce.

La cerrada de la presa de Tous está situada en la parte oriental de la Rama Sur de la Cordillera Ibérica. El salto de la falla de Tous es aproximadamente de 200 m y se puede considerar casi vertical. El espesor de la brecha de la falla de Tous es muy reducido ya que no llega a alcanzar los 5 m. La falla del Collado, presenta un salto menor que la falla de Tous y su espesor no supera los 2 m.

En la parte del cauce, como se ha citado anteriormente, se encuentran la falla del Túnel de desvío, con un espesor que gira en torno a los 5-7 m y cuyo buzamiento es de 70-75º hacia W, la falla de los Charcos, con un salto de 150 m y cuya orientación es paralela a la del valle, presenta un buzamiento de 60º hacia el E y un espesor entre 6-7 m, y por último, al final del cauce se encuentra la falla de Sumacàrcer con un salto entorno a los 100 m. Presenta una orientación N-S, inclinación subvertical.

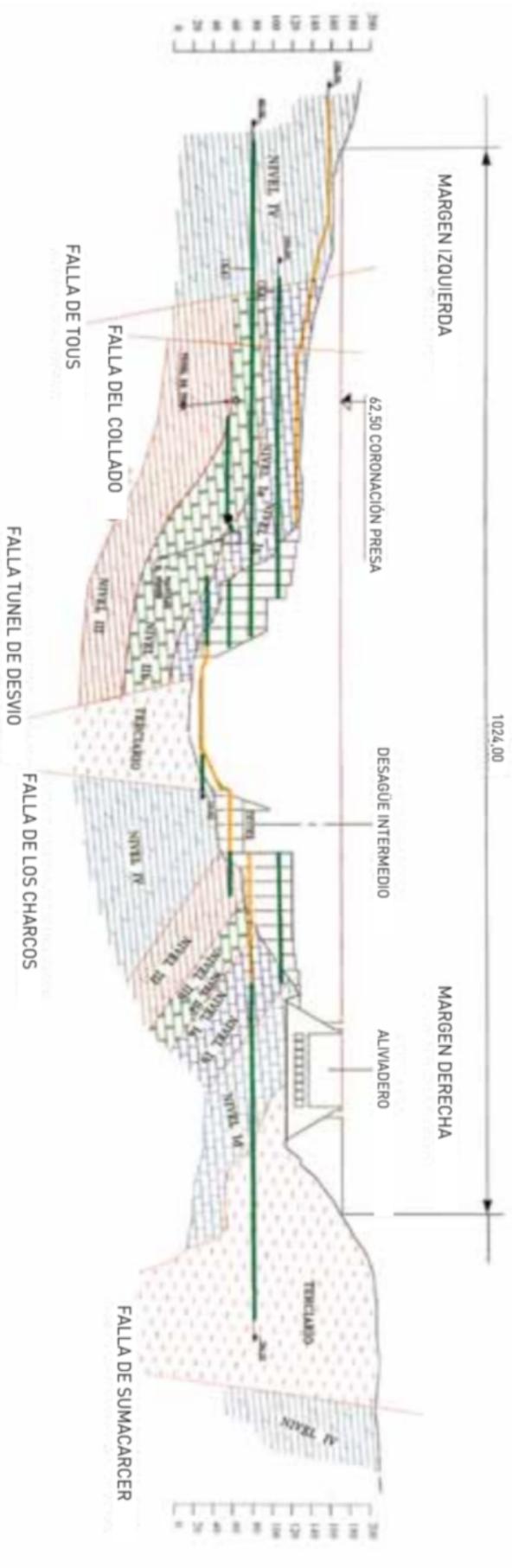


Imagen 4: Corte geológico de la presa de Tous. Libro La presa de Tous.

Atendiendo a los rasgos geomorfológicos de la demarcación hidrográfica del Júcar, se puede observar en la siguiente fotografía, que se diferencian dos grandes zonas. Una interior montañosa, con altitudes que rebasan los 1.500 m que culmina en el Peñarroya con una altitud de 2.028 m. La otra zona corresponde a un ambiente más costero con llanuras litorales.

La zona de estudio, claramente se enmarcaría dentro de la zona de costa.

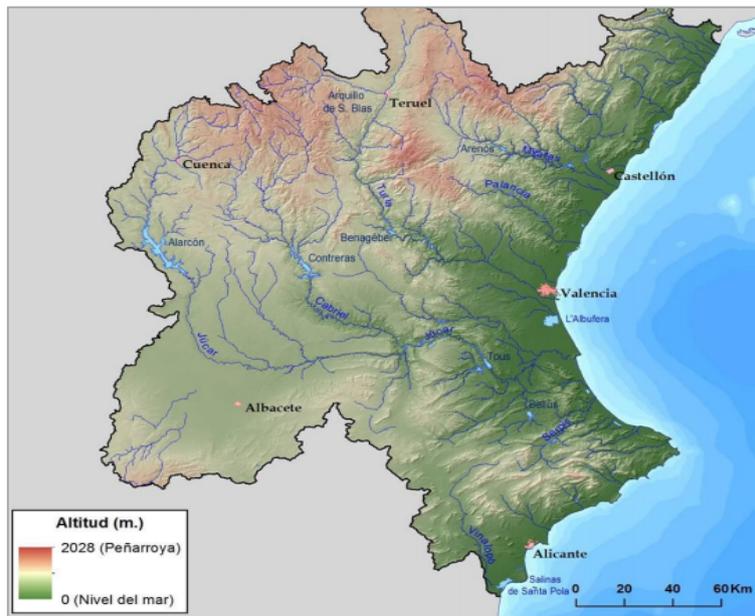


Imagen 5: Red hidrográfica y modelo digital del terreno de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

La geología predominante en la zona de estudio, es de calizas, dolomías arcillosas, margas. A continuación, se detalla con una breve descripción de la geología citada anteriormente.

La caliza es una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonato de calcio (CaCO_3) generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de arcilla, siderita o cuarzo entre otros. Este tipo de roca puede ser utilizado como material de construcción. Es un componente importante del cemento gris en las construcciones actuales y junto con otros áridos se puede fabricar el mortero de cal. Se caracteriza por tener una gran resistencia a la meteorización, sin embargo, con el contacto con el agua de lluvia o de ríos se disuelve, creando la Karstificación.

La dolomía es una roca sedimentaria de origen químico compuesta básicamente de dolomita, cuya composición química es carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Las dolomías, a diferencia de las calizas, no son solubles en agua, lo que impide el desarrollo de los procesos Kársticos sobre ellas. Si tienen una cierta capacidad de almacenamiento de fluidos, relacionado con la porosidad secundaria que desarrollan durante el proceso dolomitización.

Las margas son rocas compuestas por un 35 a 65% de carbonato cálcico y el resto por minerales arcillosos, a veces con algo de yeso e incluso sal. Su aspecto y propiedades son semejantes a la arcilla: tacto untuoso, se disgrega al ser sumergida en agua, adquiere gran plasticidad y adherencia, etc. El principal aprovechamiento de algunas margas es su utilización para la fabricación de cementos, ya que su alto contenido en carbonato cálcico y la presencia de arcillas expansivas (esmeclitas) en las mismas suele impedir su uso como materia prima en la industria cerámica.

En el siguiente mapa topográfico se puede observar que los cimientos de la presa de Tous se encuentran a una cota aproximada de 27 m, mientras que la coronación se encuentra a una cota de 163 m.

Los lados de la presa descansan sobre dos laderas, con una pendiente bastante pronunciada en ambos lados, tanto el derecho como el izquierdo.

En la parte frontal de la presa hay algunas zonas con llanuras, que se consideran adecuadas, para las obras respecto a la topografía.

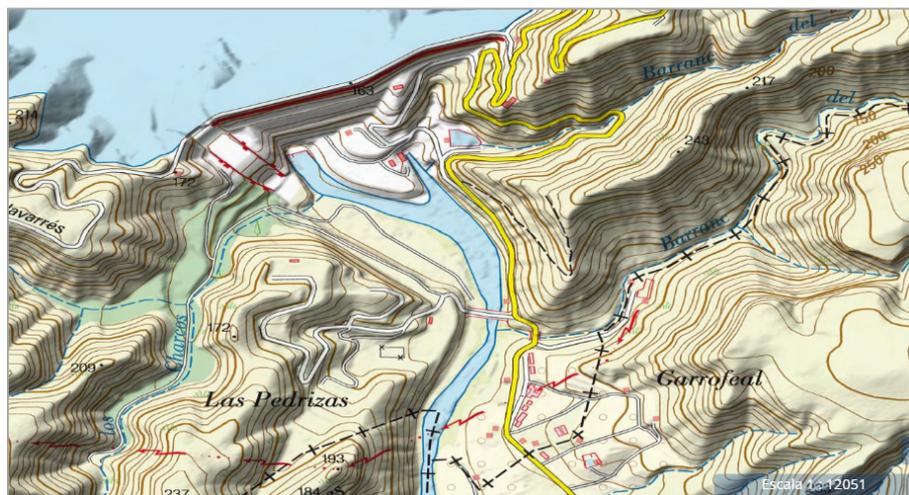


Imagen 6: Mapa topográfico de la zona. Instituto geológico y minero de España (IGME).

4. HIDROLOGÍA

4.1 Descripción general del río Júcar

El río Júcar, situado al este de la península Ibérica, es uno de los más importantes de esta. Tiene su nacimiento en la Serranía de Cuenca a 1.700 m de altitud, en un lugar conocido como los Ojuelos de Valdeminguete y desemboca en el municipio de Cullera, en el mar Mediterráneo.

Dicho río con una longitud de 498 km, atraviesa las provincias de Cuenca, Albacete y Valencia. Tiene un caudal muy torrencial e irregular y además es erosivo. Básicamente los embalses existentes en el curso del río Júcar, tienen la finalidad de destinar agua para regadío de huertas y cítricos valencianos.

En su curso alto, el río Júcar recorre las tierras montañosas de su nacimiento, con una dirección norte-sur. En esta zona abundan los cañones y gargantas entalladas por los propios ríos.

Respecto al curso medio, no queda bien definido cuál es exactamente.

En su curso bajo, el río Júcar tras salir del embalse de Tous, alcanza el máximo caudal en el municipio de Sumacàrcer y es a partir de aquí cuando empieza a disminuir sus niveles hasta la desembocadura debido al regadío de huertas.

Así pues, podemos concluir que el río Júcar básicamente solo tiene dos cursos, el alto y el bajo.

La hidrología de la zona presenta una gran importancia para el correcto dimensionamiento del embalse y para la seguridad de la presa. La presa de Tous se encuentra en la cuenca del Júcar y esta está marcada como alta-media de esta zona. La cuenca del Júcar se caracteriza entre otros por el embalse de Alarcón, que se sitúa en la parte alta del río Júcar y cuya capacidad es de 1.112 hm³ y el embalse de Contreras, situado en el río Cabriel y cuya capacidad es de 444 hm³.

Entre el embalse de Alarcón y el embalse de Embarcaderos, este último situado anteriormente al embalse de Cortes II, el río Júcar tiene una pendiente del 0,4%, entre ellos existen numerosas cuencas pequeñas, pero de gran pendiente que llegan a producir importantes caudales punta por su poco tiempo de concentración. La cuenca más importante es la del río Cabriel que llega a alcanzar una pendiente del 0,51%. Hacia aguas abajo del río Júcar aumenta un poco su pendiente hasta llegar al embalse de Tous, este nivel puede llegar a alcanzar el 0,55%.

Por otro lado, antes de llegar al emplazamiento de la presa de Tous encontramos el río Escalona que por su pluviometría y morfología hace que sea un gran sistema generador de avenidas.

La ubicación que ocupa la cuenca del Júcar, junto al mar Mediterráneo, es la posición idónea para ser afectada por parte del sector de Albarán ya que de normal este tiene el flujo más activo y produce un notable riesgo de lluvias de carácter torrencial.

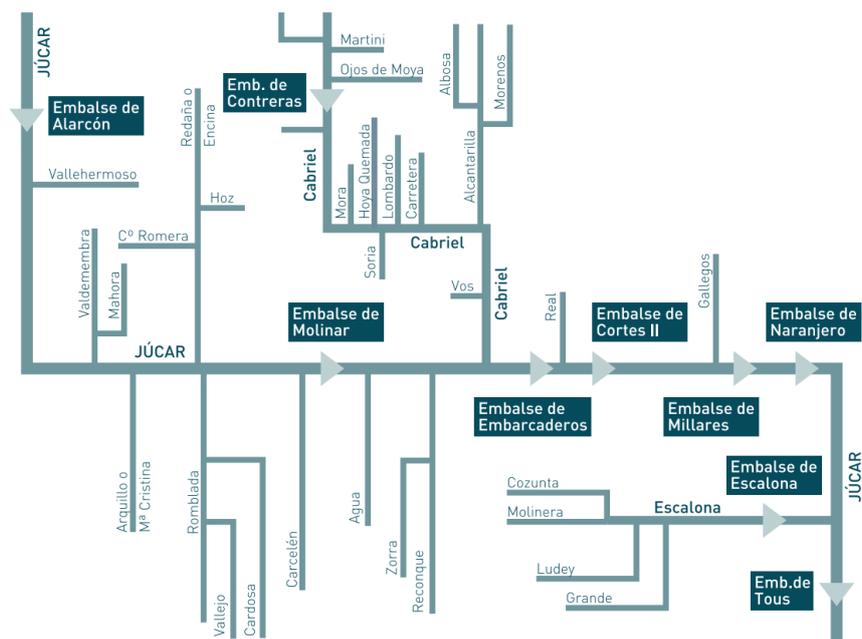


Imagen 7: Conjunto de embalses y afluentes que convergen en el embalse de Tous. Libro La presa de Tous.

En cuanto al clima en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar, se puede decir que pertenece al clima mediterráneo (veranos cálidos e inviernos suaves). La precipitación media anual es de 500 mm.

Es importante recalcar, que durante los meses de octubre y noviembre pueden producirse episodios de precipitación de gran intensidad y muy corta duración, estos episodios son los conocidos como "gota fría".

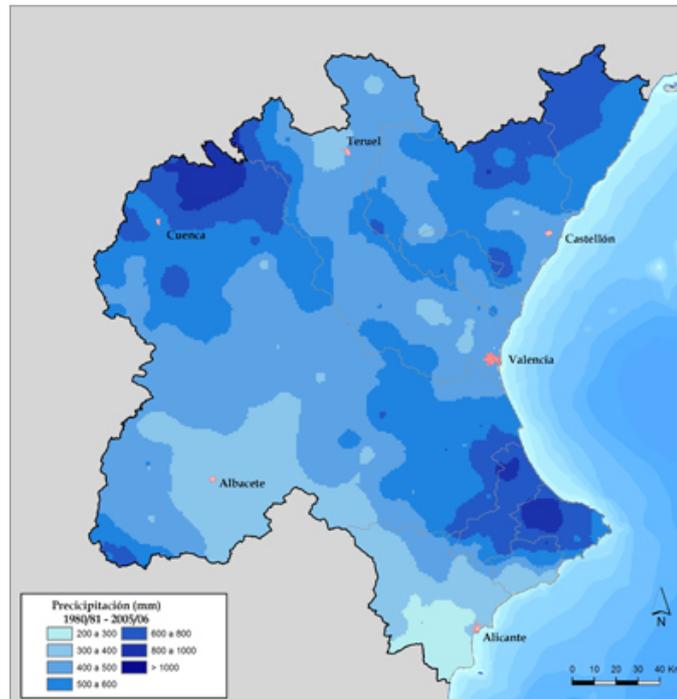


Imagen 8: Precipitación media anual en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar. CEDEX.

4.2 Descripción general del canal Júcar-Turia

El canal Júcar-Turia es un canal que se construyó y se puso en servicio en el año 1979. Tiene una longitud aproximada de 60 kilómetros entre el río Júcar (Embalse de Tous) y el río Turia (Planta potabilizadora en Manises "La presa"). Dicho canal atraviesa 14 términos municipales (Tous, Alzira, Guadasuar, L'Alcúdia, Benimodo, Carlet, Alfarp, Alginet, Benifaió, Picassent, Torrent, Aldaia, Quart y Manises) y es capaz de transportar 30m³/s hasta 16 m³/s.

Sus principales características constructivas son las siguientes:

- 43,9 km de canal a cielo abierto y sección trapezoidal.
- 2,7 km en 17 acueductos.
- 0,4 km en sifones.
- 13,5 km en 3 túneles (Escala, Vedat y Manises)

El canal Júcar-Turia es capaz de abastecer a la ciudad de Valencia y su área metropolitana (2.300.000 habitantes) y Sagunto (100.000 habitantes).

A parte de abastecer, también tiene como objetivo el suministro de riegos de 25.000 hectáreas repartidas en 20 Comunidades de Regantes (una concesión de 95 Hm³/año).

4.3 Aportaciones, avenidas, evaporación y niveles de embalse

En primer lugar, se van a analizar las aportaciones que ha tenido el embalse de Tous desde el año 1997 hasta el 2014. Para ello, a partir de las medias mensuales, se han clasificado los años según estos sean húmedos, secos o medios. Para clasificarlos, se ha seguido el siguiente procedimiento: los años húmedos han sido aquellos que superan un 15% el caudal medio, los años secos aquellos que se encuentran un 15% por debajo del caudal medio y finalmente los años medios son aquellos que se encuentran entre los dos rangos anteriores. A continuación, se muestra esta clasificación:

- Años hidrológicos húmedos: 1997/1998, 1998/1999 y 2013/2014.
- Años hidrológicos secos: 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 y 2008/2009.
- Años hidrológico medio: 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004, 2004/2005, 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 y 2012/2013

Se puede concluir que a lo largo del histórico de caudales de entrada al embalse han sido que un 18% corresponde a años húmedos, un 24% son años secos y un 59% son años medios.

A continuación, se muestran los hm^3/mes ponderados, obtenidos a lo largo del histórico de dichos 17 años.

Tabla 1: Clasificación del histórico de caudales según las aportaciones. Elaboración propia.

Mes/Año tipo	HUMEDO	SECO	MEDIO	Media ponderada
Oct	47,70	34,98	32,03	35,49
Nov	44,03	32,24	26,69	31,05
Dic	41,13	36,06	27,70	32,04
Ene	50,98	37,29	26,99	33,65
Feb	53,87	28,66	25,72	31,38
Mar	44,51	35,16	29,45	33,45
Abr	56,11	51,43	25,43	36,96
May	98,09	69,24	35,42	54,44
Jun	76,61	63,89	32,22	47,51
Jul	96,57	71,33	36,28	55,17
Ago	92,24	72,47	43,17	58,73
Sept	57,85	40,73	30,05	37,47

En relación a las avenidas, se ha podido comprobar en el histórico de caudales que ha habido varias avenidas importantes en el embalse de Tous.

En primer lugar, se conoce que en 1864 se produjo un cambio en la forma de estudiar y elaborar estratégicas, propuestas y planificaciones, ya que se produjo una riada que destruyó gran parte de la comarca.

Más recientemente, otra de ellas es la gran conocida como “pantana de Tous” con la que se produjo la rotura de la primera presa.

Tras la construcción de la nueva presa de Tous, otras avenidas importantes se produjeron en el 1997/1998, 1998/1999 y 2010/2011, como se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

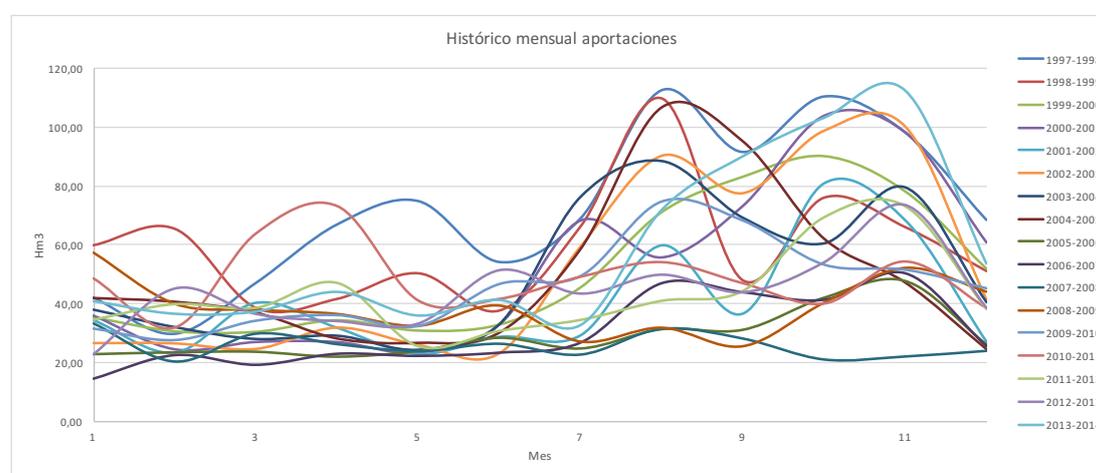


Gráfico 2: Histórico mensual de aportaciones. Elaboración propia.

El concepto de evapotranspiración potencial (ETP), introducido por Charles Thornthwaite en 1948, define esta variable como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.

Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación.

Existe un claro gradiente norte-sur de la ETP, con valores que van desde los 600 mm/año en las zonas montañosas más septentrionales de la Demarcación hasta los 1.100 mm/año, en la zona de la Mancha Oriental, al sur de Albacete, en la Marina Alta y en el entorno de la ciudad de Alicante.

Si se observa la siguiente imagen, la región del embalse de Tous se ha encontrado en la franja de color rojo, es decir, entre 1.100 y 1.200 mm/año.

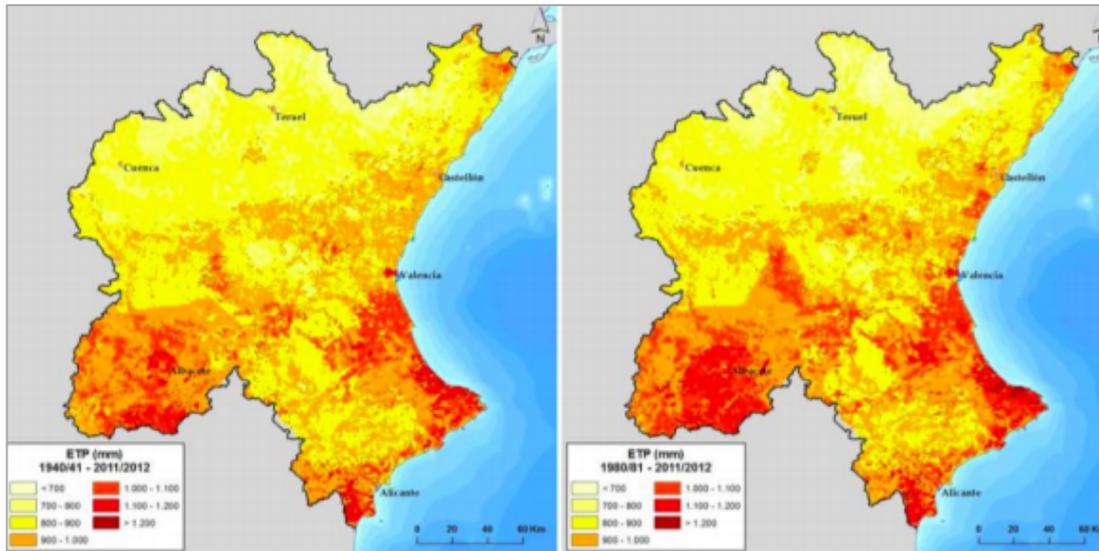


Imagen 9: Distribución espacial de la evapotranspiración potencial total anual (mm/año) en la DHJ (períodos 1940/41-2011/2012 y 1980/81-2011/12)

Para analizar los niveles del embalse se ha recopilado un histórico de 10 años, empezando por el año 2008 hasta la actualidad.

La gráfica siguiente expresa cómo ha ido variando el nivel del embalse de Tous, expresado en porcentaje, con respecto a su capacidad total, siendo esta de 379 hm³.

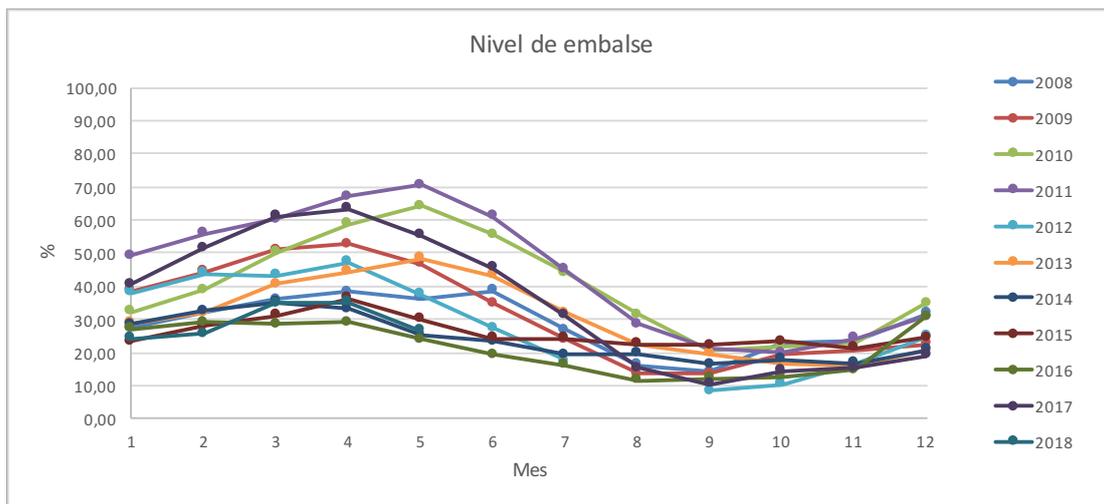


Gráfico 3: Histórico mensual del nivel del embalse de Tous. Elaboración propia.

4.4 Curva de caudales clasificados del río Júcar

El objetivo de este apartado es conseguir la curva de caudales clasificados del río Júcar en el tramo del embalse de Tous en un año promedio.

En primer lugar, se procede a realizar la curva de caudales clasificados del río Júcar. Para ello, se ha realizado una curva del histórico de caudales que se inicia en el año 1997 y termina en el 2013, en la cual se pueden ver las salidas que ha habido en el embalse para analizar cuáles han sido los caudales a lo largo del año, obteniendo la gráfica siguiente:

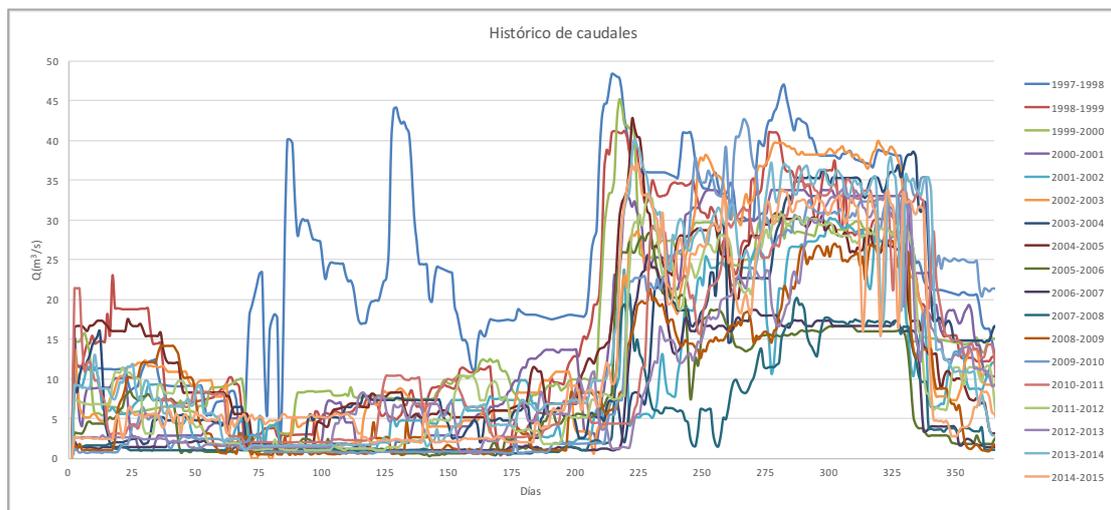


Gráfico 4: Históricos de caudales. Elaboración propia.

Asimismo, se han eliminado aquellos años que se han considerado que no seguían la tendencia. Estos años han sido el 1997/1998, 2005/2006, 2006/2007 y 2007/2008. El año hidrológico 1997 se ha eliminado por sobrepasar la tendencia del resto de los años. Por el contrario, los años hidrológicos 2005, 2006 y 2007 por quedarse por debajo de la tendencia.

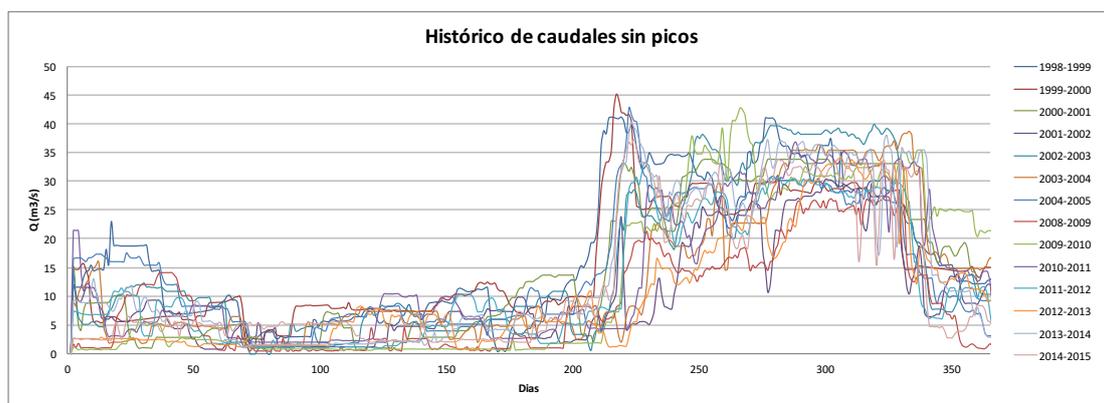


Gráfico 5: Histórico de caudales sin picos. Elaboración propia.

En vista de los resultados obtenidos anteriormente, esta es la curva de caudales clasificados.

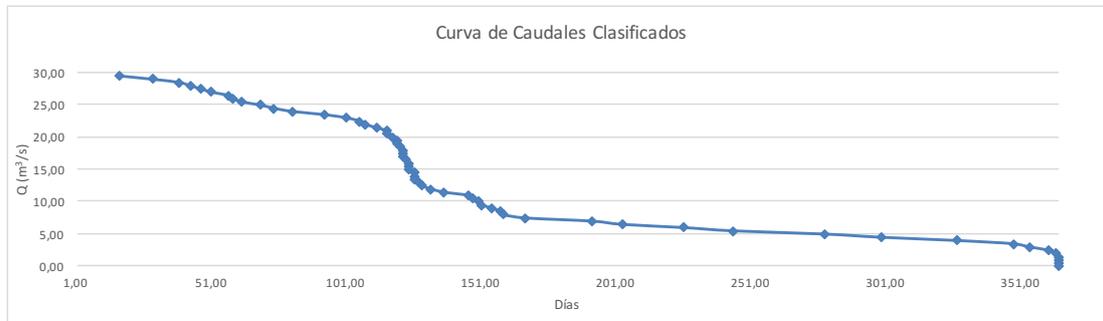


Gráfico 6: Curva de caudales clasificados. Elaboración propia.

4.5 Curva de caudales clasificados del canal Júcar-Turia

Del mismo modo que se ha realizado la solución de la central en el río Júcar, se presenta a continuación las curvas para el caso del canal Júcar-Turia. Para ello, se ha realizado una curva del histórico de caudales que se inicia en el año 1997 y termina en el 2013, en la cual se pueden ver las salidas que ha habido en el embalse para analizar cuáles han sido los caudales a lo largo del año, obteniendo la gráfica siguiente:

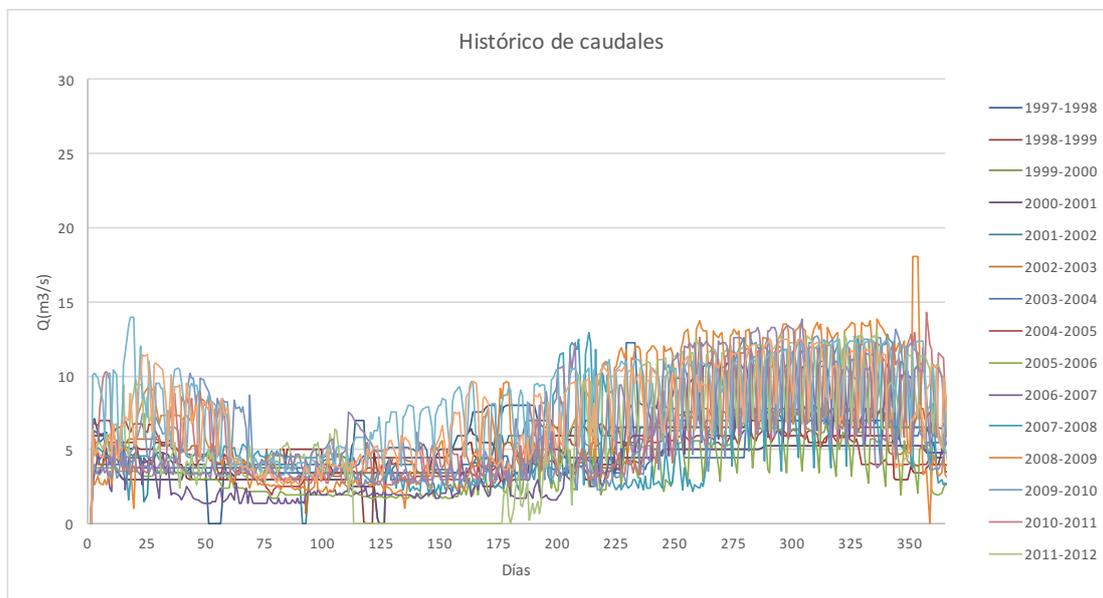


Gráfico 7: Histórico de caudales canal Júcar-Turia. Elaboración propia.

De nuevo, se han eliminado los años 1997/1998, 2005/2006, 2006/2007 y 2007/2008 por las mismas razones que en el caso anterior.

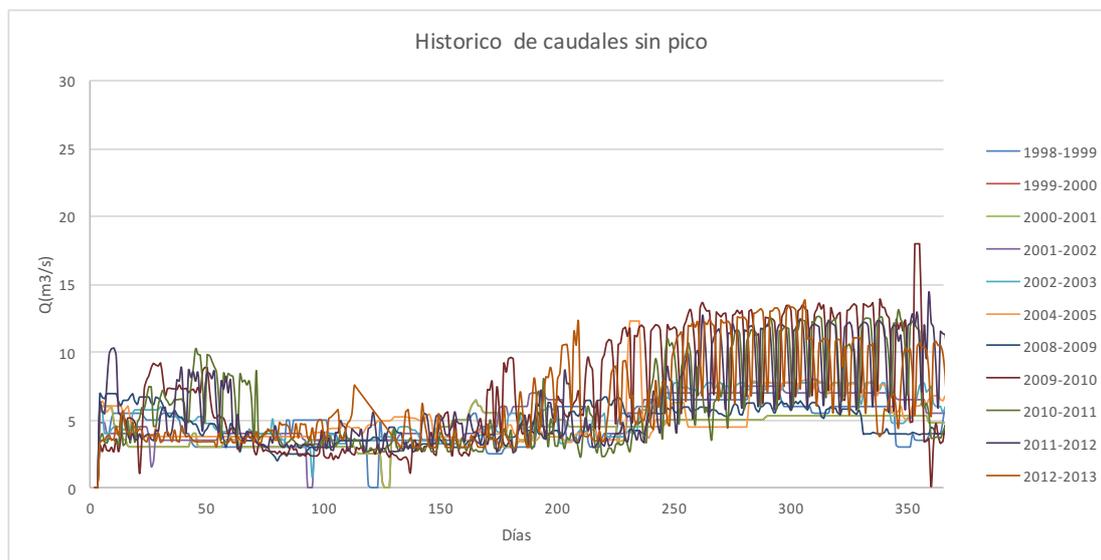


Gráfico 8: Histórico de caudales sin picos canal Júcar-Turia. Elaboración propia.

En vista de los resultados obtenidos anteriormente, esta es la curva de caudales clasificados.

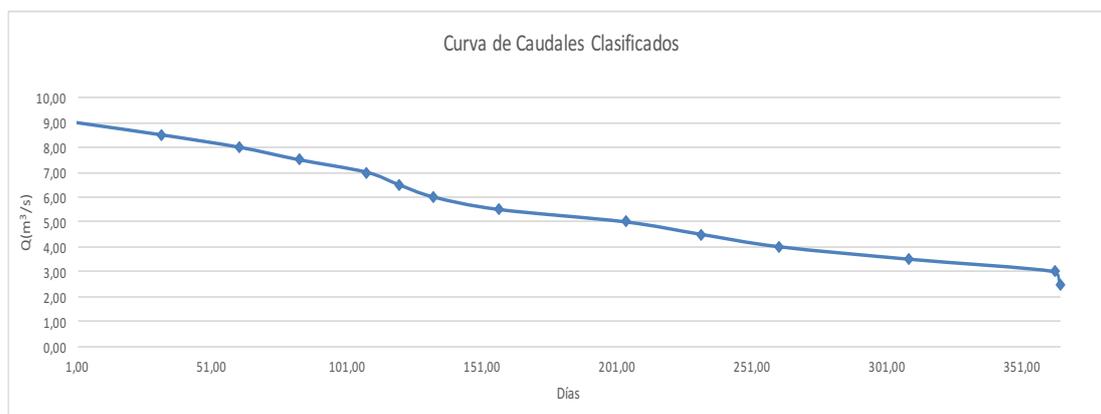


Gráfico 9: Curva de caudales clasificados canal Júcar-Turia. Elaboración propia.

5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL APROVECHAMIENTO

5.1 Estudio de soluciones

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las mini-centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presenta el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica una clasificación general podría ser:

- *Centrales de agua fluyente.* Captan una parte del caudal del río, lo trasladan hacia la central y una vez utilizado, se devuelve al río.
- *Centrales de regulación de pie de presa.* Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros usos, aprovechando el desnivel creado por la propia presa.
- *Centrales en canal de riego o de abastecimiento.*

5.1.1 Central de agua fluyente

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río 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 río.

Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central, será necesaria la construcción de todos o sólo algunos de los siguientes elementos:

- Azud
- Toma
- Canal de derivación
- Cámara de carga
- Tubería forzada
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico
- Canal de descarga
- Subestación y línea eléctrica

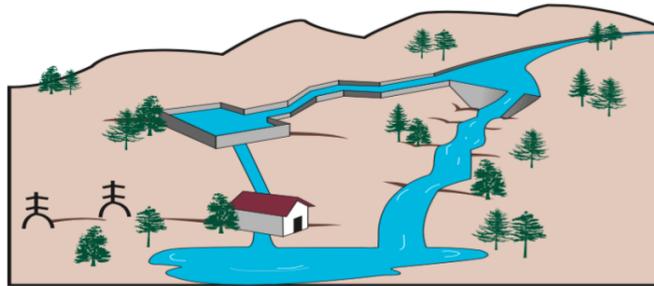


Imagen 10: Ejemplo central de agua fluyente. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

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 río.

Otros casos que también se incluyen en este grupo, siempre que no exista regulación del caudal turbinado, son las centrales que se sitúan en el curso de un río en el que se ha ganado altura mediante la construcción de una azud, sin necesidad de canal de derivación, cámara de carga ni tubería forzada.

5.1.2 Central a pie de presa

Es aquel aprovechamiento en el que existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río para almacenar las aportaciones de este. 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 proporcionar energía durante las horas punta de consumo.

En el caso de las mini-centrales 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 semanal, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana.

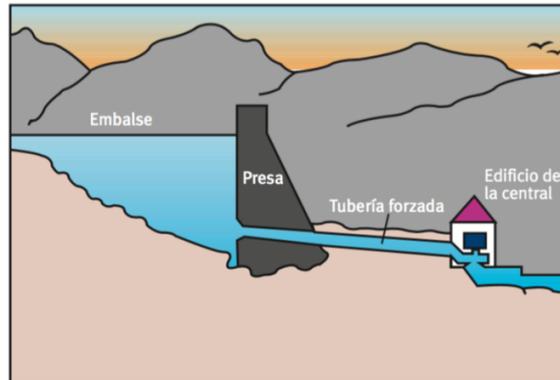


Imagen 11: Ejemplo central a pie de presa. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

También se incluyen en este grupo aquellas centrales situadas en embalses destinados a otros usos, como riegos o abastecimiento de agua en poblaciones. Dependiendo de los fines para los que fue creada la presa, se turbinan los caudales excedentes, los caudales desembalsados para riegos o abastecimientos, e incluso los caudales ecológicos.

Las obras e instalaciones necesarias para construir una mini-central al pie de una presa que ya existe son:

- Adaptación o construcción de las conducciones de la presa a la mini-central
- Toma de agua con compuerta y reja
- Tubería forzada hasta la central
- Edificio central y equipamiento electro-mecánico
- Subestación y línea eléctrica

5.1.3 Central hidroeléctrica en el canal de riego

Dentro de este grupo se distinguen dos tipos de centrales:

- Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.
- Aquellas que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano. La central en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

Las obras que hay que realizar en estos tipos de centrales son las siguientes:

- Toma en el canal, con un aliviadero que habitualmente es en forma de pico de pato para aumentar así la longitud del aliviadero.
- Tubería forzada.
- Edificio de la central con el equipamiento electro-mecánico.
- Obra de incorporación al canal o al río, dependiendo del tipo de aprovechamiento.
- Subestación y línea eléctrica.

5.2 Justificación de las soluciones adoptadas

Después de analizar los distintos tipos de centrales hidroeléctricas existentes, la geomorfología del terreno, el emplazamiento de la presa de Tous con las infraestructuras ya realizadas y la idónea ubicación se ha decidido analizar las dos siguientes:

- Central hidroeléctrica pie de presa
- Central hidroeléctrica en el canal Júcar-Turia

Se ha optado por estudiar estas dos tipologías ya que se considera que desde el punto de vista de los parámetros de caudal y salto se podrán aprovechar de forma óptima los recursos hidroeléctricos. A continuación, en los siguientes puntos del presente trabajo se van a desarrollar los parámetros básicos de las centrales, citados anteriormente.

5.3 Caudales de equipamiento

Es fundamental la elección de un caudal de diseño adecuado para definir el equipamiento a instalar, de forma que la energía producida sea la máxima posible en función de la hidrología. Por tanto, el conocimiento del régimen de caudales del río en la zona próxima a la toma de agua es imprescindible para la determinación del caudal de diseño del aprovechamiento.

La medición de los caudales del río se realiza en las estaciones de aforo, donde se registran los caudales instantáneos que circulan por el tramo del río donde está ubicada la estación y a partir de estos se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes a un gran número de años, con los que se elaboran series temporales agrupadas por años hidrológicos.

La obtención de los datos de estaciones de aforo puede hacerse a través de los Organismos de cuenca o en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), organismo autónomo adscrito orgánicamente al Ministerio de Fomento y funcionalmente a los Ministerios de Fomento y Medio Ambiente. En España hay una extensa red de estaciones de

aforo, que nos proporcionan datos sobre los caudales de un gran número de ríos durante un significativo número de años.

Cuando no existe ninguna estación de aforo en la cuenca donde se situará la mini-central, hay que realizar un *estudio hidrológico teórico*, basado en datos de precipitaciones de la zona y en aforos existentes en cuencas semejantes.

En este caso, se deben recopilar y analizar las series de datos pluviómetros disponibles, completando los períodos en los que falten datos utilizando métodos de correlación de cuencas, para lo que hay que determinar previamente las características físicas de la cuenca a estudiar, principalmente la superficie y los índices que definen la forma y el relieve de esa superficie. A continuación, se relacionan las aportaciones de ambas cuencas en función de las precipitaciones, superficies y coeficientes de escorrentía, teniendo en cuenta los índices de compacidad y de pendiente. Con esta relación se obtiene un factor corrector que permite obtener las aportaciones y caudales de la cuenca estudiada, que han sido obtenidas a partir de los datos de una cuenca semejante. Estos datos es conveniente completarlos, además, con medidas directas del caudal en una sección del río a lo largo de al menos un año. Al final, en todo estudio hidrológico, sea teórico o con datos reales de caudales, se obtendrá una serie anual lo suficientemente grande para realizar una distribución estadística que nos tipifique los años en función de la aportación registrada: años muy secos, secos, medios, húmedos y muy húmedos.

Una vez obtenida la distribución anterior, se tomará un año medio representativo y se construirá la *curva de caudales clasificados* de la cuenca estudiada que nos dará el caudal en la toma en función de los días del año en que se supera dicho valor. Caracteriza muy adecuadamente, en términos adimensionales, el régimen hidrológico de un cauce a efectos de su aprovechamiento hidroeléctrico.

La curva de caudales clasificados proporciona una valiosa información gráfica sobre el volumen de agua existente, el volumen turbinado y el volumen vertido por servidumbre, mínimo técnico o caudal ecológico. Esta curva ya ha sido representada en los apartados 4.4 y 4.5 haciendo referencia cada una a cada solución.

Para obtener dicho caudal de diseño, se ha representado la gráfica caudal de equipamiento con respecto al volumen con los datos obtenidos en el apartado 4.3. Para ello se han considerado los volúmenes equipados de 2, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 m³ para la solución de la central en el río Júcar y 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 15 m³ para la solución de la central en el canal Júcar-Turia. El caudal de diseño será aquel donde se presente un cambio de tendencia en dicha representación de las curvas correspondientes a cada año.

5.3.1 Caudal de diseño central río Júcar

A continuación, se muestra como obtener el caudal nominal en la primera de las soluciones. En este caso será para la central situada a pie de presa cuyo reintegro será en el río Júcar.

En primer lugar, se ha representado la gráfica caudal de equipamiento frente al volumen en Hm^3 .

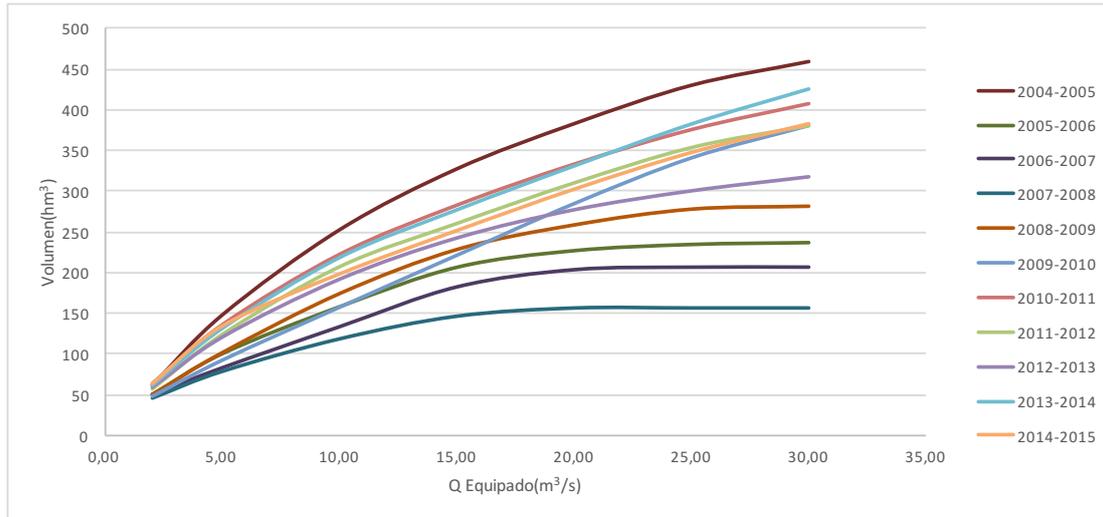


Gráfico 10: Q equipado – Volumen. Elaboración propia.

Viendo la gráfica anterior, se podría decir que el caudal de equipamiento estaría sobre los 25 m^3/s .

En adición, se ha decido representar las variaciones del nivel del embalse y los caudales de salida de los últimos 5 años. Realizando estas dos gráficas se consigue ver claramente como es dicha variación y poder tomar decisiones con respecto al caudal de equipamiento y la/s futura/s turbina/s.

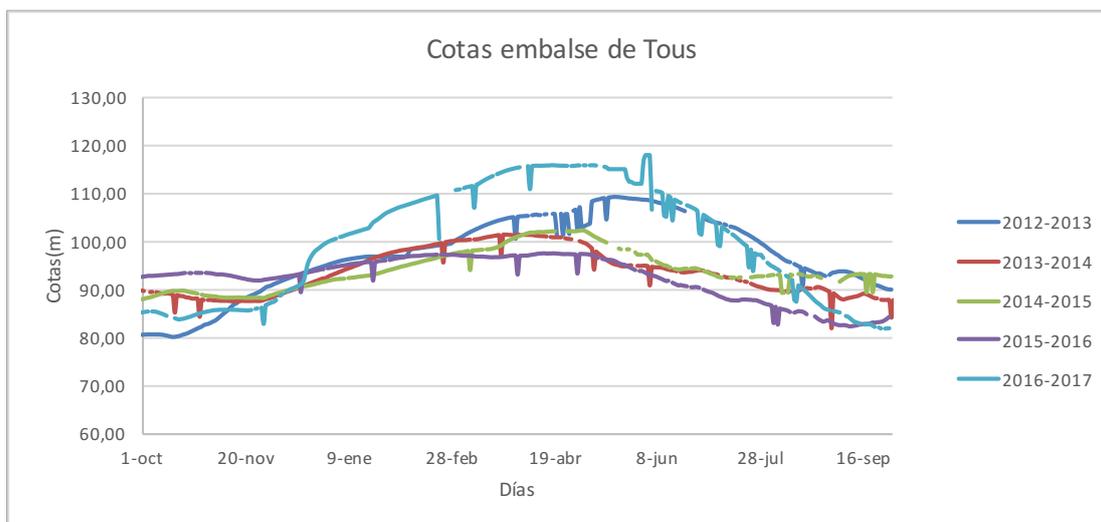


Gráfico 11: Variación del nivel del embalse de Tous en los últimos 5 años. Elaboración propia.

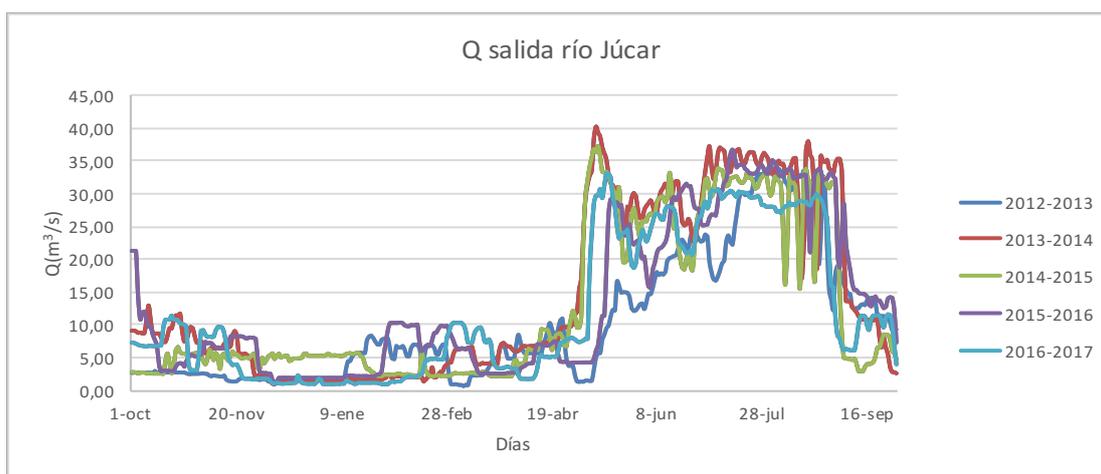


Gráfico 12: Caudales de salida embalse de Tous hacia el río Júcar en los últimos 5 años. Elaboración propia.

Tras analizar los anteriores gráficos, se puede ver que el embalse está dando agua con distintos regímenes de caudales, básicamente dos. Esos dos regímenes de caudales coinciden con niveles de embalse diferentes, donde hay una época de llenado donde los niveles de embalse se encuentran entre 115 m y 97 m aproximadamente y otra época de vaciado donde los niveles de embalse se encuentran entre 80 m y 95 m aproximadamente.

Anteriormente, se ha calculado el caudal nominal del histórico de caudales de todos los años completos, pero se considera que es mejor conocer los caudales nominales para cada una de las épocas. Por ello, lo que se requiere es proponer dos turbinas que sean capaces de trabajar con todas esas combinaciones de altura-caudal.

En el gráfico siguiente están representados los caudales medios diarios. Con este gráfico se procederá a la toma de decisiones para elegir los caudales nominales de las dos turbinas a disponer en la central del río Júcar.

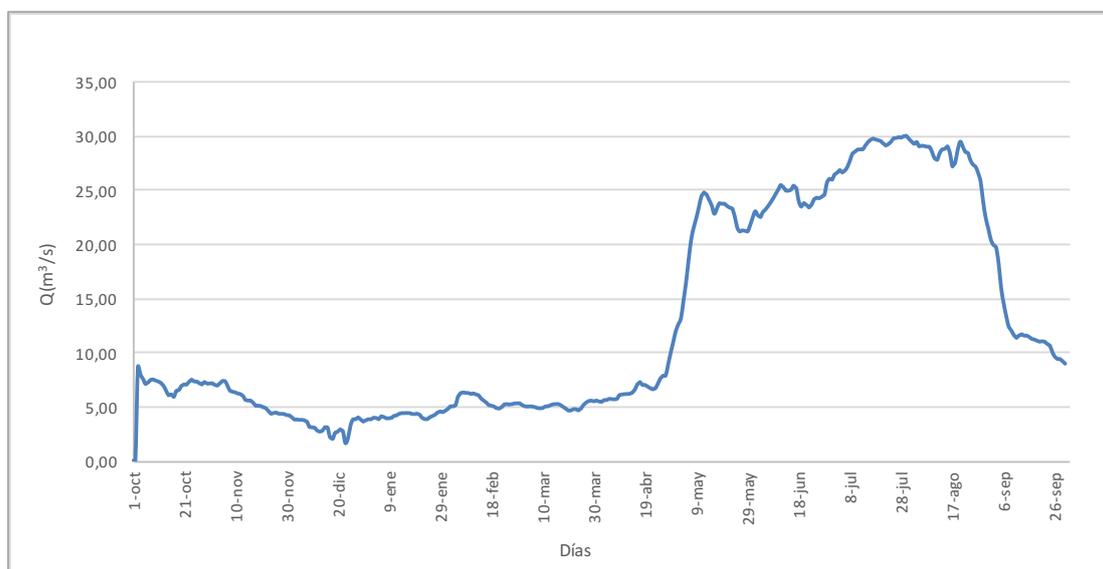


Gráfico 13: Gráfico media anual de los caudales de salida del río Júcar.

Así pues, se ha decidido que puesto a que se van a colocar dos turbinas, la mejor solución es elegir como caudales nominales aquellos que cubran todo el rango de caudales. Para ambos casos el caudal nominal elegido será el caudal medio máximo para cada época. En primer lugar, para el caso de los caudales del 20 de abril al 30 de septiembre, el caudal nominal elegido es de $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Por otro lado, el caudal nominal para la época del 1 de octubre al 20 de abril será de $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Así pues, los caudales de diseño elegidos para la central del río Júcar son los que se muestran a continuación.

	Q
Época del 1 de octubre al 20 de abril	$8 \text{ m}^3/\text{s}$
Época del 20 de abril al 30 de septiembre	$30 \text{ m}^3/\text{s}$

5.3.2 Caudal de diseño central del canal Júcar-Turia

Al igual que en la solución anteriormente desarrollada, se muestran las distintas formas para obtener el caudal nominal para la segunda solución. En este caso será para la central en canal de riego cuyo reintegro es el canal Júcar-Turia.

En primer lugar, se ha representado la gráfica caudal de equipamiento frente al volumen en Hm^3 .

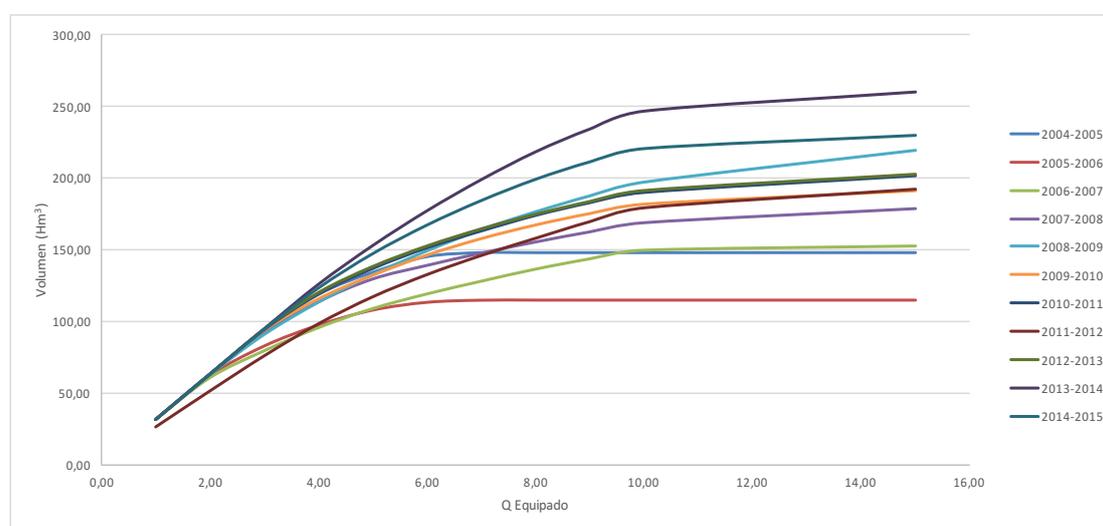


Gráfico 14: Q equipado – Volumen. Elaboración propia.

Viendo la gráfica anterior, se decide que el caudal de nominal para la central en el canal Júcar-Turia sea de $9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Procediendo de la misma forma que en la otra solución, se ha representado de nuevo la variación del nivel del embalse y los caudales de salida por el canal en los últimos 5 años. Obteniendo las siguientes gráficas:

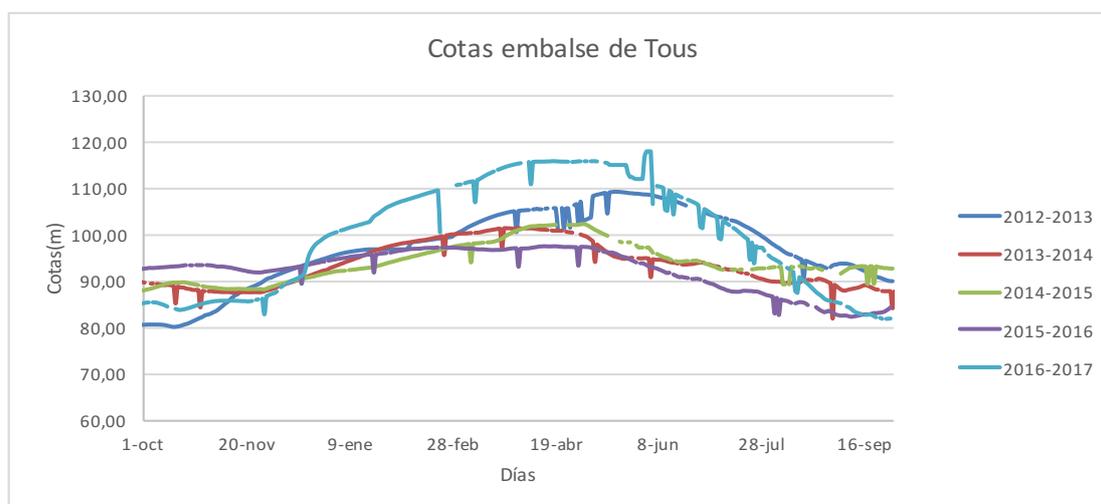


Gráfico 15: Variación del nivel del embalse de Tous en los últimos 5 años. Elaboración propia.

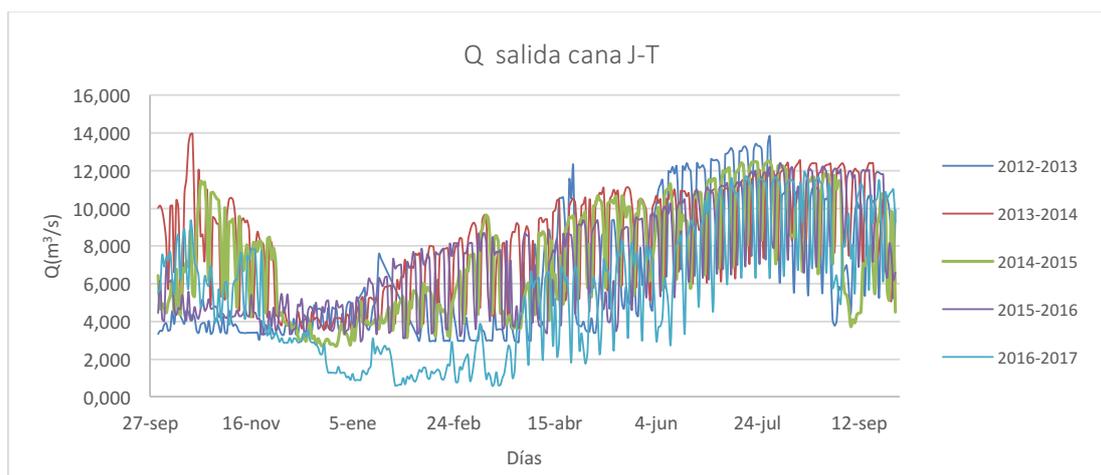


Gráfico 16: Caudales de salida embalse de Tous hacia el canal Júcar-Turia en los últimos 5 años. Elaboración propia.

En este caso, el comportamiento es bastante similar a lo largo de los últimos años. Es por ello, que se ha considerado que la solución óptima en este caso sea disponer una única turbina capaz de trabajar con las variaciones de caudales a lo largo del año, ya que no presenta una variación tan acusada como en el caso de la central a pie de presa.

En el gráfico siguiente están representados los caudales medios diarios. Con este gráfico se procederá a la toma de decisiones para elegir los caudales nominales de las dos turbinas a disponer en la central del río Júcar.

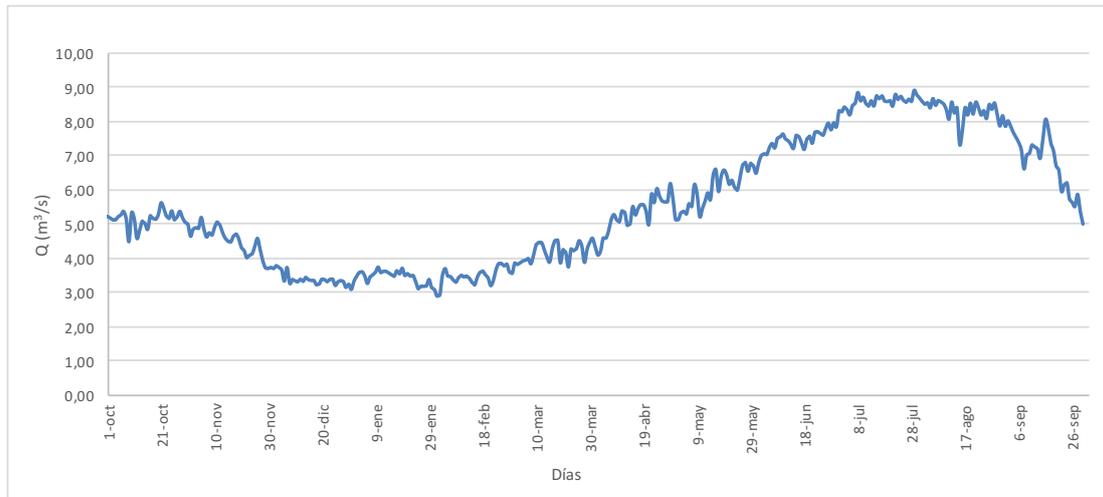


Gráfico 17: Caudales medios diarios canal Júcar-Turia. Elaboración propia

Así pues, el caudal de diseño elegido para la central del canal Júcar-Turia, una vez visto que se elegirá una turbina que sea capaz de albergar todos los caudales, será el siguiente:

	Q
Época del 1 de octubre al 30 de septiembre	9 m ³ /s

5.4 Saltos brutos y netos

El salto es la otra magnitud fundamental para el diseño de una mini-central hidroeléctrica. Deberá ser el máximo permitido por la topografía del terreno, teniendo en cuenta los límites que marcan la afección al medio ambiente y la viabilidad económica de la inversión.

A continuación, se definen los siguientes conceptos:

- **Salto bruto (H_b):** altura existente entre el punto de la toma de agua y el punto de descarga del caudal turbinado al río.
- **Salto útil (H_u):** desnivel existente entre la superficie libre del agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina.
- **Salto neto (H_n):** es la diferencia entre el saldo y las pérdidas de carga producidas a lo largo de todas las conducciones. Representa la máxima energía que se podrá transformar el trabajo en el eje de la turbina.

Pérdidas de carga: son las pérdidas por fricción del agua contra las paredes del canal y sobre todo en la tubería forzada, más las pérdidas ocasionadas por turbulencia, al

cambiar de dirección el flujo, al pasar a través de una rejilla o de una válvula, etc. Se miden como pérdidas de presión (o altura de salto) y se calcula mediante fórmulas derivadas de la dinámica de fluidos.

Para una primera aproximación, se puede estimar el saldo bruto de cada solución mediante un plano topográfico. No obstante, para una determinación más correcta y exacta se procederá a calcular los saltos netos para cada una de las alternativas teniendo en cuenta las pérdidas de carga, salto neto.

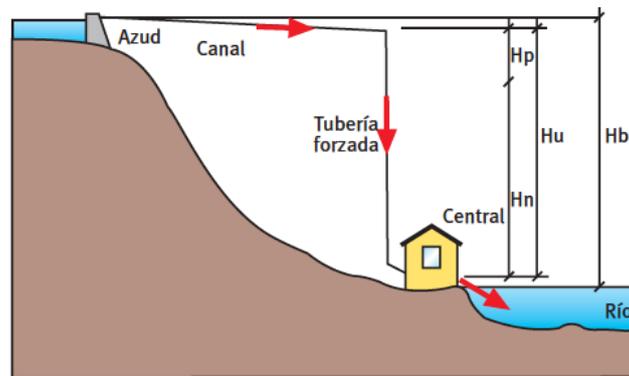


Imagen 12: Esquema general de un salto de agua. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

Para definir la toma de agua, se han obtenido los niveles de la lámina de agua del embalse de los últimos 5 años, del cual podemos observar en el siguiente gráfico que la cota media se encuentra en 95,31 m. Además, para el cálculo del salto bruto se tendrá en cuenta el punto de salida del agua donde la presión será la atmosférica.

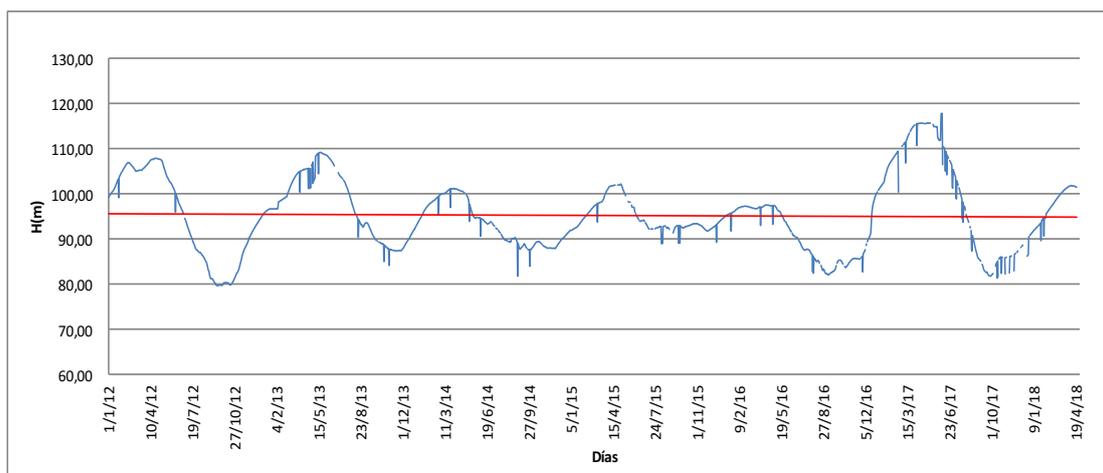


Gráfico 18: Variación del nivel del embalse de Tous en los últimos 5 años. Elaboración propia.

Visto lo citado anteriormente, se concluyen los siguientes saltos brutos medio:

- Salto bruto solución central en el río Júcar: $95,31 - 59 = 36,31$ m
- Salto bruto solución central en el canal Júcar-Turia: $95,31 - 82 = 13,31$ m

Es importante recalcar que durante el año hidrológico, la presa de Tous presenta fluctuaciones, por lo tanto, como se ha calculado anteriormente habrá un salto medio, pero también un salto mínimo y máximo. La/s turbina/s que se seleccione/n para cada solución, tiene que ser capaz de funcionar en ese rango de saltos.

A continuación, se muestran dos tablas con los niveles medios, máximos y mínimos para cada solución:

· **Solución central en el río Júcar:**

Tabla 2: Salto medio, mínimo y máximo del embalse para la solución de la central en el río Júcar.

	COTA EMBALSE (m)	SALTO (m)
Media	95,31	36,31
Mínima	79,71	20,71
Máxima	117,7	58,7

· **Solución central en el canal Júcar-Turia:**

Tabla 3: Salto medio, mínimo y máximo del embalse para la solución de la central en el canal Júcar-Turia.

	COTA EMBALSE (m)	SALTO (m)
Media	95,31	16,31
Mínima	80	1
Máxima	117,7	38,7

5.4.1 Determinación del salto neto

En este apartado se procederá a calcular las pérdidas de carga para las diferentes soluciones adoptadas. En el caso de la central a pie de presa tendremos dos pérdidas distintas ya que como se citó en el apartado 5.3.1, caudales de diseño, se dispondrán dos turbinas para distintos caudales de trabajo. En el caso de la central de canal de riego solo tendremos una única pérdida total.

Los caudales con los que se trabajarán serán los siguientes:

- Central río Júcar en caudales bajos: **8 m³/s**
- Central río Júcar en caudales altos: **30 m³/s**
- Central en el canal Júcar-Turia: **9 m³/s**

Por otro lado, los saltos que se tendrán en cuenta serán los siguientes:

- Salto bruto solución central en el río Júcar: **36,31 m**
- Salto bruto solución central en el canal Júcar-Turia: **13,31 m**

5.4.1.1 Pérdidas de carga por fricción

Se trata de la pérdida de carga por rozamiento viscoso.

$$h_f = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g}$$

Donde:

- v es la velocidad media del fluido en la tubería.
- L es la longitud.
- D es el diámetro.
- f es el coeficiente de fricción, función de rugosidad, diámetro y número de Reynolds.

$$f = f\left(\frac{\epsilon}{D}, \text{Re}\right)$$

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Donde:

- V es la velocidad media del fluido en la tubería.
- L es la longitud.
- D es el diámetro.
- ν es la viscosidad.
- Re es el número de Reynolds.

Re solución central en el río Júcar:

- Época de caudales bajos:

$$\text{Re}_1 = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{0,34 \cdot 5,4}{1,12 \cdot 10^{-6}} = 1639285$$

- Época de caudales altos:

$$Re_2 = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{1,31 \cdot 5,4}{1,12 \cdot 10^{-6}} = 6315672$$

Re solución central en el canal Júcar-Turía:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{0,39 \cdot 5,4}{1,12 \cdot 10^{-6}} = 1894702$$

Para un valor tan alto de Reynolds, el factor de fricción depende exclusivamente de la rugosidad relativa y puede obtenerse de la siguiente forma:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \left(3,7 \cdot \frac{D}{e} \right)$$

Donde:

- f es el número de Froude.
- D es el diámetro.
- e es la rugosidad.

f solución central en el río Júcar:

Debido a que la ecuación anterior solo depende del diámetro de la tubería en este caso el número de Froude será en mismo para caudales altos o bajos.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \left(3,7 \cdot \frac{D}{e} \right) \rightarrow f = 0,18389$$

f solución central en el canal Júcar-Turía:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \left(3,7 \cdot \frac{D}{e} \right) \rightarrow f = 0,018389$$

De este modo, las pérdidas debidas a la fricción a lo largo de la tubería supondrán:

h_f central en el río Júcar:

- Época de caudales bajos:

$$h_{f1} = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} = 0,018389 \frac{395 \cdot 0,34^2}{5,4} = 0,155 \text{ m}$$

- Época de caudales altos:

$$h_{f2} = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} = 0,018389 \frac{395 \cdot 1,31^2}{5,4} = 2,308 \text{ m}$$

h_f solución central en canal Júcar-Turia:

$$h_f = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} = 0,018389 \frac{300 \cdot 0,39^2}{5,4} = 0,155 \text{ m}$$

5.4.1.2 Pérdidas de carga a través de las válvulas

La pérdida de carga a través de las válvulas son las generadas al paso del agua por una válvula completamente abierta, depende del modelo de válvula y se calcula aplicando el coeficiente correspondiente en la siguiente fórmula:

$$h_v = k_v \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- **h_v** las pérdidas por válvula.
- **k_v** es el coeficiente de la válvula.
- **v** es la velocidad.

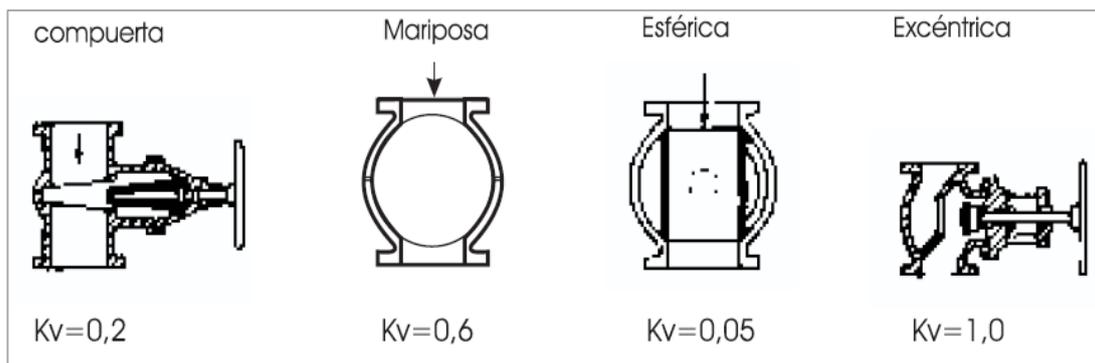


Imagen 13: Coeficiente de pérdida de carga de las válvulas.

Para el caso que nos ocupa, se ha decidido que se colocará una válvula de mariposa ($k_v = 0,6$), al igual para cada alternativa.

Las válvulas de mariposa se utilizan para abrir o cerrar el paso a un fluido, es decir, para regulación. Constan de un disco con capacidad de girar 90º y se caracterizan por su operación rápida. Cuando están completamente abiertas tienen pocas pérdidas y tienen poca robustez mecánica. Suelen utilizarse para diámetros mayores o iguales a 250-300 mm.

Es por todo ello, que esta será la mejor válvula para ambas soluciones.



Imagen 14: Válvula de mariposa. Catálogo VAYCOM.

Así pues, las pérdidas por válvulas serán las siguientes:

h_v solución central en el río Júcar:

- Época de caudales bajos:

$$h_{v1} = 0,6 \frac{v^2}{2g} = 0,6 \frac{0,34^2}{2g} = \mathbf{0,00353 \text{ m}}$$

- Época de caudales altos:

$$h_{v2} = 0,6 \frac{v^2}{2g} = 0,6 \frac{1,31^2}{2g} = \mathbf{0,0524 \text{ m}}$$

h_v solución central en canal Júcar-Turia:

$$h_v = 0,6 \frac{v^2}{2g} = 0,6 \frac{0,39^2}{2g} = \mathbf{0,00465 \text{ m}}$$

A continuación, se muestran dos tablas resumen del salto bruto y de las pérdidas obtenidas de los cálculos anteriores para cada caso, necesarios para la conocer cuál será el salto neto:

Tabla 4: Resumen para el cálculo del salto neto de la central del río Júcar. Elaboración propia.

CENTRAL RÍO JÚCAR (m)		
Hb	36,31	
Hf	Hf1	0,1551
	Hf2	2,3081
Hv	Hv1	0,0035
	Hv2	0,0524

Tabla 5: Resumen para el cálculo del salto neto de la central del canal Júcar-Turia. Elaboración propia.

CENTRAL CANAL JÚCAR-TURIA (m)	
Hb	13,31
Hf	0,1551
Hv	0,00465

Finalmente, se obtienen los siguientes saltos netos a partir de la siguiente ecuación:

$$H_n = h_b - h_f - h_v$$

• **Solución central en el río Júcar:**

- Época de caudales bajos:

$$H_n = 36,31 - 0,155 - 0,00353 = \mathbf{36,151\ m}$$

- Época de caudales altos:

$$H_n = 36,31 - 2,308 - 0,0524 = \mathbf{33,949\ m}$$

• **Solución central en el canal Júcar-Turia:**

$$H_n = 13,31 - 0,155 - 0,00465 = \mathbf{13,150\ m}$$

5.4.2 Caudal ecológico

Una abstracción de agua incontrolada, aunque se devuelva al cauce una vez pasada por la turbina, hará que el tramo cortocircuitado quede prácticamente seco, con serio peligro para la supervivencia de la biota acuática. Para evitarlo, la autorización para derivar agua va siempre acompañada de la obligación de mantener un cierto caudal reservado en el tramo de río comprendido entre la toma y la restitución. Este caudal es conocido, según países o regiones con múltiples nombres - "caudal ecológico", "caudal reservado", "caudal de compensación" etc.

5.5 Potencia activa

La central hidroeléctrica cuenta con una potencia disponible que varía en función del caudal de agua disponible para ser turbinado y el salto existente en cada instante.

La expresión que nos proporciona la *potencia activa* es la siguiente:

$$P = \gamma * Q * H_n * \eta$$

Donde:

- P es la potencia máxima en kW
- γ es igual a 9,81.
- Q es el caudal de equipamiento en m³/s
- H_n es el salto neto existente en metros
- η es el factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía. Según el tipo de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia igual a 0,92.

5.5.1 Potencia activa en la solución de la central del río Júcar

- Época de caudales bajos:

$$P = 9,81 \cdot 8 \cdot 36,151 \cdot 0,92 = \mathbf{2.610,16 \text{ kW}}$$

- Época de caudales altos:

$$P = 9,81 \cdot 30 \cdot 33,949 \cdot 0,92 = \mathbf{9.191,89 \text{ kW}}$$

Teniendo en cuenta que el factor de potencia (fdp) del generador elegido para esta ocasión es igual a 0.97, las potencias máximas para cada solución serán las siguientes, cumpliendo la relación que se muestra a continuación:

$$P(MVA) = \frac{P(kW)}{0,97} * \frac{1}{1000}$$

- Época de caudales bajos:

$$P(MVA) = \frac{2.610,16 \text{ kW}}{0,97} * \frac{1}{1000} = \mathbf{2,69 \text{ MVA}}$$

- Época de caudales altos:

$$P(MVA) = \frac{9.191,89 \text{ kW}}{0,97} * \frac{1}{1000} = \mathbf{9,47 \text{ MVA}}$$

5.5.2 Potencia activa en la solución de la central del canal Júcar-Turia

$$P = 9,81 \cdot 9 \cdot 13,150 \cdot 0,92 = \mathbf{1.068,13 \text{ kW}}$$

Teniendo en cuenta que el factor de potencia (fdp) del generador elegido para esta ocasión es igual a 0.97, las potencias máximas para cada solución serán las siguientes, cumpliendo la relación que se muestra a continuación:

$$P(MVA) = \frac{P(kW)}{0,97} * \frac{1}{1000}$$

$$P(MVA) = \frac{1.068,13 \text{ kW}}{0,97} * \frac{1}{1000} = \mathbf{1,10 \text{ MVA}}$$

Tabla 7: Resumen de la potencia a instalar y el factor de potencia de ambas soluciones.

		Potencia activa (kW)	Potencia aparente (MVA)
CENTRAL RÍO JÚCAR	Época caudales bajos	2,61	2,69
	Época caudales altos	9,19	9,47
CENTRAL CANAL JÚCAR-TURIA	Año hidrológico completo	1,07	1,1

6. PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Una vez conocida la potencia es posible calcular la producción media de la mini-central hidroeléctrica, como producto de la potencia en cada momento por las horas de funcionamiento.

De forma más precisa, la producción podría calcularse con la siguiente expresión:

$$E(kWh) = \gamma * \sum (Q_i * Hn_i * T(h)) * \eta$$

Donde:

- T es el nº de horas de funcionamiento (con Hni y Qi)
- V es el volumen máximo (caudal * tiempo)
- η es el factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía. Según el tipo

de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia igual a 0,92.

6.1 Producción energética en la solución central en el río Júcar

- Época de caudales bajos:

$$E_1 = 9,81 * \sum (Q_i * Hn_i * 24) * 0,92 = 5,28 \text{ GWh}$$

- Época de caudales altos:

$$E_2 = 9,81 * \sum (Q_i * Hn_i * 24) * 0,92 = 22,55 \text{ GWh}$$

- Energía total:

$$E = E_1 + E_2 = 27,84 \text{ GWh}$$

Para el cálculo de la producción del río Júcar no será necesario parar el funcionamiento de las máquinas ya que las dos turbinas no funcionan a la vez, se aprovechará el tiempo de parada para los posibles mantenimientos de las diferentes máquinas. Aunque no se llegue a perder energía por la parada de las máquinas para su mantenimiento, se ha considerado oportuno tomar un 1% de la energía total por un mantenimiento correctivo, en el caso que alguna vez fallaran. Finalmente, la producción de la central del río Júcar será de **27,56 GWh**.

6.2 Producción energética en la solución central en el canal Júcar-Turia

$$E = 9,81 * \sum (Q_i * Hn_i * 24) * 0,92 = 5,98 \text{ GWh}$$

Para el cálculo de la producción de la central de canal Júcar Turia vamos a estimar que durante un mes al año se procederá a parar la central para mantenimiento. El mes más apropiado para parar el funcionamiento de la central es aquel que menos energía nos proporciona. El mes elegido para este caso es el mes de diciembre. Finalmente, la producción de la central del canal Júcar-Turia será de **5,71 GWh**.

Después de los cálculos realizados, se muestra a continuación una tabla resumen con los datos obtenidos:

Tabla 8: Resumen de la producción energética de ambas soluciones.

	Producción energética (GWh)
CENTRAL RÍO JÚCAR	27,56
CENTRAL CANAL JÚCAR-TURIA	5,71

7. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS E INSTALACIONES

7.1 Obra civil e instalaciones eléctricas comunes a las dos centrales.

En este apartado se va a explicar la obra civil común existente en la presa de Tous que sirve para las dos centrales.

Con respecto a la obra civil que se va a llevar a cabo para el estudio de las dos centrales hidroeléctricas, se tiene que tener en cuenta que la presa de Tous, ya dispone de infraestructura preparada para albergar dichas centrales. Esto es debido a que ya se pensó durante la construcción de la presa que se iba a generar un importante salto que daría origen a un aprovechamiento hidroeléctrico de gran rentabilidad económica.

Aguas arriba, en el embalse, existen dos torres unidas por una pasarela. Mediante estas dos torres y un conjunto de tuberías y demás infraestructura, se asegura el consumo de muchos habitantes de Valencia, su área metropolitana y Sagunto, gracias al canal Júcar-Turia.

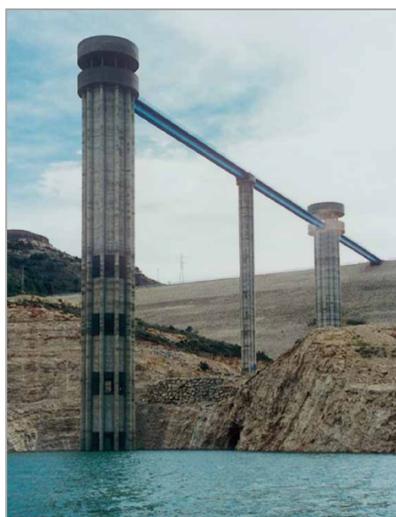


Imagen 15: Torre de toma y de compuertas de la presa de Tous. Libro La presa de Tous.

Para tomar el agua embalsada por la presa, se diseñó un sistema que debía cumplir diferentes objetivos:

- Suministrar la demanda del canal Júcar-Turia tanto para riegos como para abastecer a Valencia y su área metropolitana. Posteriormente se ha incorporado el suministro de agua a Sagunto y el riego localizado de la Acequia Real del Júcar.
- Suministrar caudales al río Júcar para el regadío de la Ribera.
- Permitir el aprovechamiento hidroeléctrico a pie de presa.

Dentro de este sistema encontramos dos grupos de estructuras diferenciadas: la obra preparada para la toma de agua propiamente dicha y la obra destinada a controlar la salida.

Para la entrada de agua encontramos, en primer lugar, una torre desde la que se produce la toma, a continuación, un túnel que conduce el agua de unos 510 metros de longitud y después una segunda torre, llamada torre de compuertas. Finalmente se encuentra una nueva conducción en túnel que desemboca en el sistema de salida del agua.

7.1.1 Torre de toma

La torre de toma está destinada a captar el agua embalsada y que abastece a cerca de un millón y medio de habitantes. Se trata de una torre de hormigón armado, que tiene 109,70 m de altura, con sección cilíndrica de 6 m de diámetro interior y 9,25m de diámetro exterior, con 10 pilas. Tiene 4 tomas para facilitar la entrada de agua. Estas cuatro tomas, situadas a diferente nivel, son un diseño destinado a poder seleccionar, en función del nivel de embalse, la calidad de las aguas disponibles. Estas 4 tomas se encuentran a las cotas 78, 91, 104 y 107 respectivamente.

En el exterior de las pilas y en cada embocadura hay instaladas unas rejillas fijas para impedir el paso de cuerpos flotantes indeseados al interior del conducto.

7.1.2 Toma-torre de compuertas

Después de que el agua salga de la torre de toma, el agua pasa a la conducción torre de toma-torre de compuertas. Es un túnel revestido de hormigón armado, de 6,20 m de diámetro y de 150 m de longitud aproximadamente. Este túnel es de sección circular, pero con una transición a rectangular.

7.1.3 Torre de compuertas

La torre de compuertas es la segunda torre de las torres que se encuentra en el emplazamiento y se encuentra situada casi junto la presa. El agua que llega es la que es conducida por el túnel de toma-torre de compuertas. Esta torre es una estructura de hormigón armado. Permite cerrar el túnel por completo, por ello dispone de una ataguía de 6,50 x 4 m.

7.1.4 Túnel

Después de la torre de compuertas hay otro túnel, la conducción torre de compuertas-estanco de distribución. Este nuevo túnel tiene 5,40 m de diámetro interior de revestimiento metálico.

El tramo blindado correspondiente al túnel de toma, de 5,40 m de diámetro, que se desarrolla entre la torre de compuertas y el estanque de regulación, está conformado mediante virolas, de longitud aproximada 6 m, excepto en curvas y bifurcaciones. Una vez soldadas las virolas y dispuestas en su posición definitiva, se procedió a ejecutar el hormigonado de relleno entre blindaje y excavación del túnel a través de las bocas de hormigonado dejadas al efecto en cada una de ellas. Posteriormente fue realizada una inyección en los contactos hormigón-virola y hormigón-roca, con objeto de rellenar los posibles despeques existentes en dichos contactos.

La conducción tiene dos bifurcaciones a lo largo de su recorrido para alimentar a las centrales hidroeléctricas. Estas bifurcaciones fueron construidas en su debido momento para el futuro aprovechamiento hidroeléctrico.

Después de un largo recorrido, el agua llega al otro lado de la presa. Y desde el túnel, que tenía 5,40 m de diámetro, el líquido pasa a una tubería de 3,25 m que, finalmente, se trifurca en tres tuberías más de 1,5 m de diámetro cada una.

Estas tres tuberías, que se encuentran embebidas en un macizo de hormigón armado, se albergan en la casa de válvulas, un edificio de hormigón de 21 x 6,5 m de planta y 18 m de altura, desde donde el agua se vierte a un estanque de regulación y distribución. Este estante está destinado a mantener estables los caudales que se envían al canal y toma la forma aproximada del sitio donde se ha instalado, la vaguada del barranco Aliagar.

El cerramiento del estanque se ha efectuado con muros verticales de hormigón armado. La cota de la solera se ubica a 76 y 77 m.

Los equipos que se ocupan de regular el paso del agua hasta el estanque están instalados dentro de la casa de válvulas y son tres válvulas Howell-Bunger de 1,5 m de diámetro, diseñadas para funcionamiento sumergido, que están precedidas de tres válvulas tipo compuerta de seguridad de 1,5 m de diámetro y cierre en cuña.

Para permitir que la válvula Howell funcione sumergida en el cuenco amortiguador, se incorporó un deflector cónico de 5,5 m de diámetro máximo.



Imagen 16: Trifurcación de la tubería. Libro La presa de Tous.

7.1.5 Caseta de bombeo

Estas tres tuberías, se encuentran en una caseta de bombeo de dimensiones 21 x 6,5 m de planta y 18 m de altura. Esta caseta de bombeo tiene la función de bombear agua hacia un estanque de regulación y distribución para mantener en equilibrio el caudal destinado al canal Júcar-Turia.

7.1.6 Estanque de regulación

Desde el estanque de regulación, el agua se distribuye según el destino final que vaya a tener. El canal tiene dos vertientes. En primer lugar, existe el caudal que va a servir para el consumo humano y el riego y se envía a la toma del canal Júcar-Turia.

Esta toma está situada en la margen izquierda del estanque y conecta con el mismo gracias a un túnel de aproximadamente 123 m de longitud y sección abovedada de 4,78 m de anchura y 4,64 m de altura. Para regular esta toma hay tres compuertas.

En segundo lugar, aunque una gran parte del caudal se destina al consumo humano y agrícola, otra parte es reintegrada al propio río Júcar, para lo cual se utiliza el vertedero lateral. Este vertedero se encuentra en el estanque y permite que el agua rebose por él, vertiendo a un canal que la conduce el agua hasta el río. El vertedero tiene una longitud de 32 m y tiene el labio situado a la cota 81,00. La forma del vertedero poligonal, lo que responde a la necesidad de incorporar en un espacio reducido la máxima longitud de vertedero.



Imagen 17: Estanque de regulación. Libro La presa de Tous.

7.1.7 Instalaciones eléctricas

Por otro lado, en la construcción de la presa de Tous también se tuvo en cuenta la zona de transformación de la energía para usos futuros. Las instalaciones eléctricas de la presa de Tous fueron diseñadas para asegurar el suministro eléctrico en todo momento y garantizar así el funcionamiento de todos los mecanismos.

Las líneas de alta tensión instaladas son tres.

- La principal es una línea de 132 Kv de 4 kilómetros de longitud y de doble circuito creada para alimentar la nueva subestación de 132/6,3 Kv.
- Se montó una segunda línea de 132 Kv, en este caso de 2 kilómetros de longitud y de simple circuito. Durante las obras, su función era la de unir la subestación antigua con la nueva pero cuando la instalación entró en servicio, pasó a alimentar, a 6 Kv, la estación de bombeo.
- También fue necesario sustituir 2,9 kilómetros de una línea de 25 Kv que estaba destinada a la construcción de la presa de Escalona, para evitar daños mientras se ejecutaban las obras en Tous.

El nuevo parque de transformación 132/6,3 Kv. Está formado por dos campos de entrada de líneas de doble circuito, tres campos de alimentación a transformadores y un equipo de medida situado en barras generales. Cuenta con varios transformadores adaptados cada uno a diferentes fines: Los tres más importantes son de 10.000 KVA (relación 132/6,3 KV); hay uno más, de 400 KVA (relación 6,3/25 Kv), destinado a alimentar a la presa de Escalona y dos de 5.500 KVA (relación 6,3/13,8 Kv) que dan servicio a las instalaciones de la presa de Tous. Queda aún un transformador de 200 KVA para servicios auxiliares.

Los equipos de distribución de potencia, medida y control de la subestación, están ubicados en dos edificios de control donde están instalados los cuadros de mando, control, protecciones y servicios auxiliares de todos los transformadores.



Imagen 18: Subestación de transformación. Equipos de transformación y potencia. Libro La presa de Tous.

7.2 Equipos electromecánicos generales a todo tipo de centrales hidroeléctricas

7.2.1 Tipos de turbinas hidráulicas

En los siguientes apartados se describen los tipos más utilizados de turbinas hidráulicas (acción y reacción), el rango de utilización y el cálculo de la potencia instalada.

7.2.1.1 Turbinas de acción

Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es la turbina Pelton, aunque existen otras como la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o de flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger o Banki-Michell.

Pelton

Esta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Está formada por un rodete (disco circular) móvil con álabes (cazoletas) de doble cuenco. El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro de la turbina.

La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. En las paradas de emergencia se emplea un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada.

Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto (superior al 90% en condiciones de diseño). Presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal).

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con eje horizontal o vertical, y con uno o varios inyectores. Por lo general se combinan:

- Eje horizontal en las máquinas con uno o dos inyectores.
- Eje vertical en las máquinas con más de dos inyectores. Esta solución encarece el coste del generador.

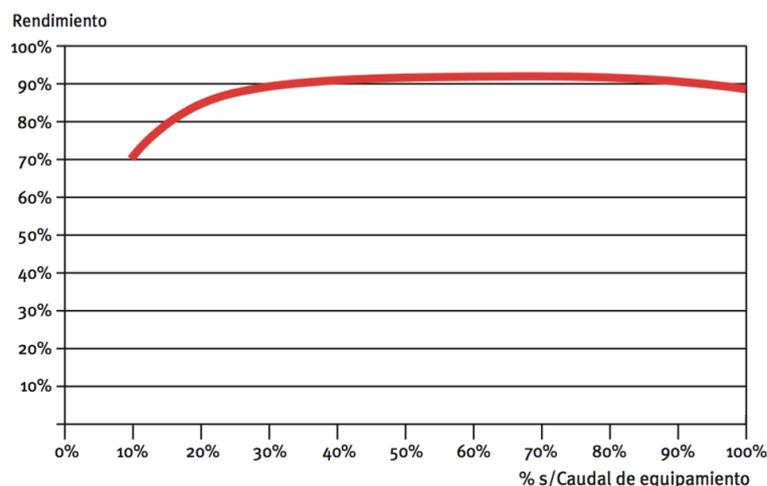


Gráfico 19: Rendimiento-Q equipamiento turbina Pelton. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

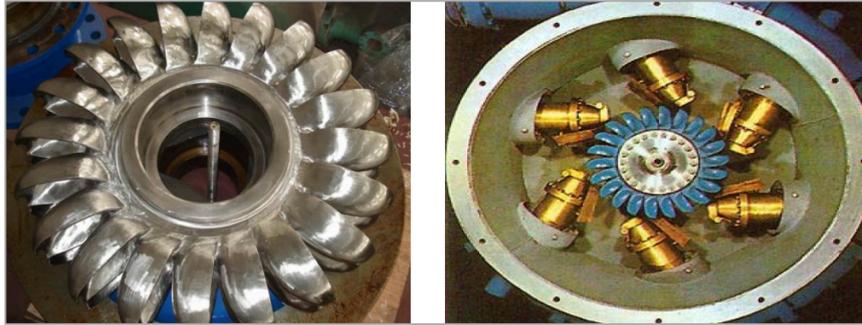


Imagen 19: Turbina Pelton. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

7.2.1.2 Turbinas de reacción

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al agua a su entrada para convertirla en energía cinética. Esto hace que el agua al salir del rotor tenga una presión por debajo de la atmosférica.

Las turbinas de reacción más utilizadas son las Francis y la Kaplan. La mayoría de estas turbinas se componen casi siempre de los siguientes elementos:

- **Carcasa o caracol:** Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.
- **Distribuidor:** Lo componen dos coronas concéntricas; el estator (corona exterior de álabes fijos) y el rotor (corona de álabes móviles).
- **Rodete:** Es un elemento móvil que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo.
- **Difusor:** Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua.

Francis

Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que ésta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial.

El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal.

Los elementos que componen este tipo de turbinas son los siguientes:

- Distribuidor. Contiene una serie de álabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete.

- Rodete formado por una corona de paletas fijas, con una forma tal que cambian la dirección del agua de radial a axial.
- Cámara de entrada. Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.
- Tubo de aspiración o de salida de agua. Puede ser recto o acodado, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

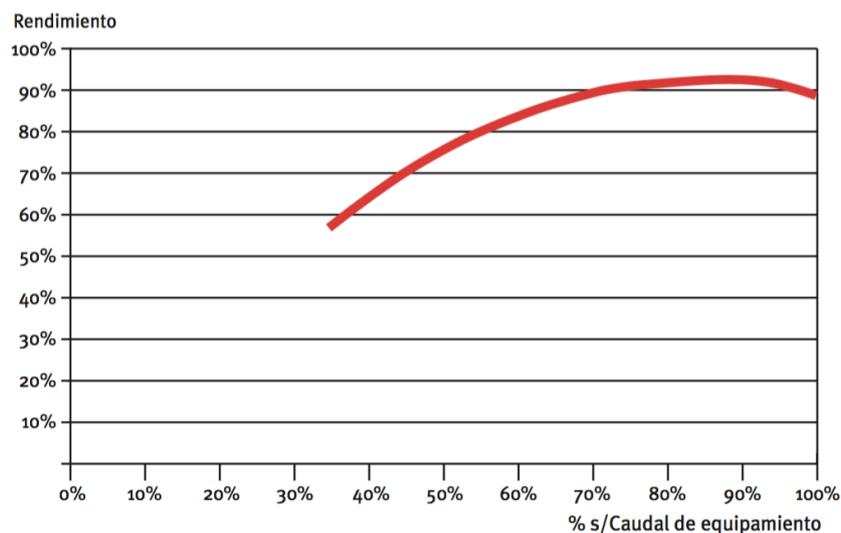


Gráfico 20:Rendimiento-Q equipamiento turbina Francis. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.



Imagen 20: Turbina Francis. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

Kaplan

Las turbinas Kaplan se componen básicamente de una cámara de entrada abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 o 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración. Incorpora un distribuidor regulable que le da un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a cambio de una mayor complejidad y un coste más elevado.

El rendimiento es de aproximadamente el 90% para el caudal nominal y disminuye a medida que nos alejamos de él. Este tipo de turbinas se emplean generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes.



Imagen 21: Turbina Kaplan. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

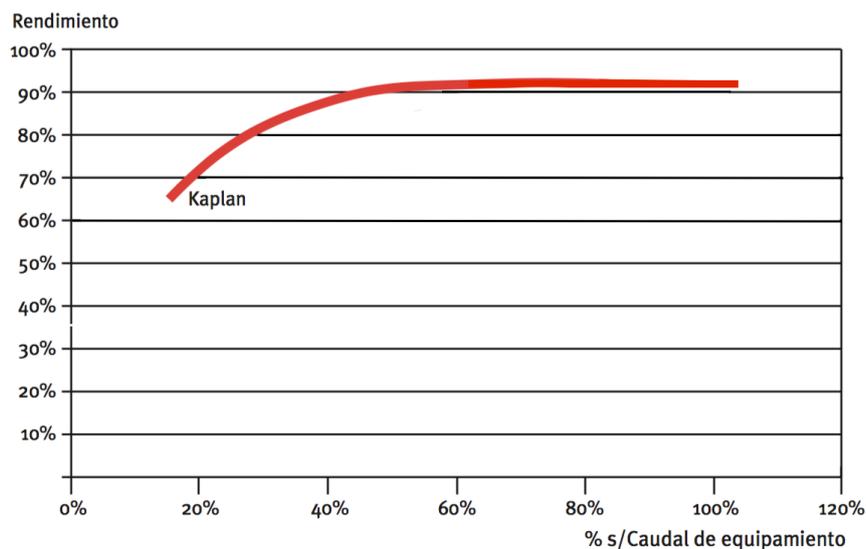


Gráfico 21: Rendimiento-Q equipamiento turbina Kaplan. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

7.2.2 Rangos de utilización y rendimientos de las turbinas

En función del salto (grande o pequeño) y del caudal (variable o constante, alto o bajo), es más conveniente usar un tipo u otro de turbina. Esto es lo que nos indica el rango de utilización. En el gráfico 24, se muestra el rango de utilización de cada turbina en función del caudal y del salto.

La curva de rendimiento de cada turbina varía según sea el caudal de funcionamiento. En general, la turbina a utilizar sería:

- **Kaplan:** Saltos pequeños (6 a 40 metros) y caudales variables.
- **Francis:** Saltos más elevados (15 a 500 metros) y caudales variables.
- **Pelton:** Grandes saltos (> 50 metros) y caudales variables.

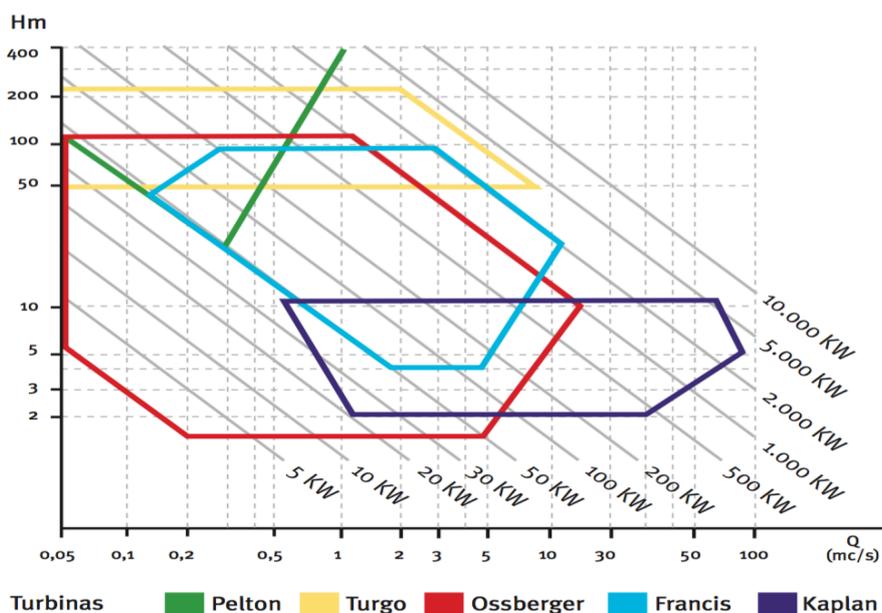


Gráfico 22: Diagrama para la elección de turbinas hidráulicas. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

Además, es necesario conocer el caudal mínimo con el que cada turbina puede ser utilizada. La tabla 2 muestra el caudal mínimo técnico para diferentes tipos de turbina como un porcentaje del caudal nominal (o de diseño).

Tabla 9: Caudal mínimo técnico de distintos tipos de turbina. Elaboración propia.

Tipo de turbina	Q min (% Q nominal)
Francis	50
Kaplan	15
Pelton	10
Turgo	20

7.2.3 Tipos de generador

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. El generador basa su funcionamiento en la inducción electromagnética. El principio de su funcionamiento se basa en la ley de Faraday, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador, o alternador, está compuesto de dos partes fundamentales:

- Rotor o inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
- Estator o inducido fijo. Sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

El generador puede ser de dos tipos, o bien síncrono o asíncrono. A continuación, se hace una diferenciación de cada uno de estos dos tipos.

Generador síncrono

En este tipo de generador la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo, que viene dada por la expresión:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Donde:

- N_s es la velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.
- f es la frecuencia en Hz (50 Hz en España)
- p es el número de pares de polos del generador

Generador asíncrono

Debido a la simplicidad, robustez y bajo costo de los clásicos motores eléctricos, éstos han venido utilizándose como generadores eléctricos sobre todo en centrales de pequeña potencia. Para ello es necesario que el par mecánico comunicado al rotor produzca una velocidad de giro superior a la de sincronismo. Este exceso de velocidad produce un campo giratorio excitador. Es importante que la diferencia entre las velocidades de funcionamiento y la de sincronismo sea pequeña, para reducir las pérdidas en el cobre del rotor.

El generador toma la corriente de la red para la creación del campo magnético. También es necesaria la colocación de una batería de condensadores que compense la energía reactiva generada.

El uso de este tipo de generadores no precisa regulador de velocidad en la turbina. Para arrancar el grupo se abre el distribuidor de la turbina hasta que se llega a una velocidad superior a la de sincronismo (aunque próxima a la misma) y en este momento se conecta a la red por medio de un interruptor automático.

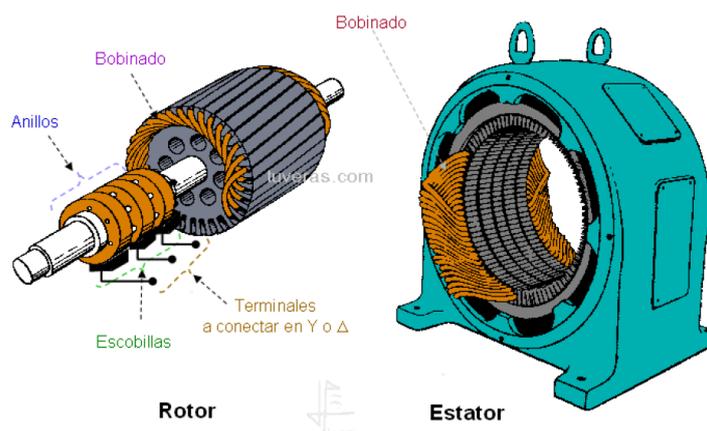


Imagen 22: Elementos de un generador eléctrico. Mini-centrales hidroeléctricas, Ministerio de Industria, turismo y comercio.

7.2.4 Equipos eléctricos generales y línea

El equipamiento eléctrico es necesario en la central hidroeléctrica, ya que es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica, de la conexión a la línea de salida y de la distribución de la energía.

El transformador de tensión es uno de los elementos fundamentales de este equipamiento. El objetivo del transformador es elevar la tensión al nivel de la línea existente para permitir el transporte de la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles.

Los equipos eléctricos necesarios se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior del edificio central, y básicamente son:

- Disyuntores y seccionadores, que se emplean para la conexión y desconexión a la red.
- Transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, que facilitan los valores instantáneos de estas magnitudes en diversas partes de la instalación.
- Transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el correcto funcionamiento de los equipos.
- Pararrayos o autoválvulas, que actúan como descargadores a tierra de las sobreintensidades que se producen.
- La *línea eléctrica* necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución es otro de los puntos importantes a la hora de diseñar y presupuestar el proyecto. El coste de esta línea puede encarecer notablemente el proyecto, dependiendo de su longitud y de la orografía del terreno.

Las características de la red que hay que conocer son frecuencia y tensión:

- Frecuencia. Dato conocido de partida (50 Hz).
- Tensión. Los valores normalizados varían desde 3 kV hasta 66 kV, 72 kV o incluso 132 kV, dependiendo de las condiciones del punto de conexión. La tensión nominal de la red existente tiene gran importancia ya que implica una transformación al mismo nivel, que puede suponer un coste elevado si se estuviera condicionado a conectar a una línea de alta tensión.

7.2.5 Elementos de protección, control y regulación

Es muy importante instalar elementos de protección, control y regulación para el buen funcionamiento de la central.

Los principales bucles de control y sistemas de supervisión y mando para una mini-central hidroeléctrica son:

Para el control de la turbina:

- Regulador de velocidad en instalaciones con grupos síncronos.
- Reguladores de nivel para centrales con grupos asíncronos conectados a la red.
- Regulador de potencia generada para centrales en red aislada.
- Regulador de caudal turbinado.

Para el control del generador:

- Regulador de tensión para grupos síncronos.
- Equipo de sincronización, cuando existen grupos síncronos funcionando conectados a la red.
- Baterías de condensadores y un relé taquimétrico, cuando existan grupos asíncronos funcionando conectados a la red.

Las protecciones de los sistemas que componen una mini-central actúan cuando detectan alguna anomalía en su funcionamiento, con la consecuente activación de una alarma o parada parcial o total de la central. A continuación, se exponen el tipo de protecciones con las principales causas que pueden accionarlas:

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

- Protecciones eléctricas del generador y transformador
 - Intensidad máxima.
 - Retorno de potencia (máxima admitida 5% de la nominal).
 - Calentamiento del generador y/o del transformador.
 - Derivación en el estator.
 - Producción de gases en el transformador (Buchholz).
 - Nivel de tensión (entre el 85 y el 100% de la tensión nominal).
 - Nivel de frecuencia (entre 47,5 y 51 HZ). Protecciones de la línea de media tensión
 - Derivación de una fase de tierra.
 - Cortocircuito o inversión de fases.
 - Sobreintensidad.
 - Red de tierra, para limitar la tensión con respecto al terreno.

7.2.6 Automatización

La automatización de una mini-central permite reducir los costes de operación y mantenimiento, aumentar la seguridad de los equipos y optimizar el aprovechamiento energético de la instalación.

El grado de automatización va a depender principalmente de la ubicación y el tipo de central, de las posibilidades reales de regulación, y del presupuesto, incluyendo el coste del personal de trabajo. Actualmente, todas las nuevas centrales se diseñan totalmente automatizadas.

En cuanto a la tecnología se puede distinguir entre convencional o digital. A continuación, se va a hacer una diferenciación de los dos tipos citados.

• **Convencional**

Basada en los relés electromecánicos o estáticos. La utilización de relés convencionales es la forma más sencilla y económica de automatizar una central, aunque tiene la desventaja de ser más limitada. Esta tecnología permite automatizar

- Secuencias de arranque
- Secuencias de parada por protecciones

• **Digital**

Se refiere a técnicas informáticas que permiten la gestión de todas las funciones de la central. 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 o caudal.
- Optimización de funcionamiento del conjunto de la instalación.

7.3 Soluciones estudiadas

Después de realizar un estudio sobre la presa se ha podido observar que existen muchas infraestructuras preparadas para la puesta en funcionamiento de dos centrales hidroeléctricas. Serán estas las que tendremos en cuenta para la toma de algunas decisiones.

Después de haber analizado la infraestructura existente, de los tipos de turbinas y elementos de los que consta una central hidroeléctrica, en este apartado, además se explicarán las dos posibles soluciones para albergar las centrales hidroeléctricas. Ambas soluciones se llevarán a cabo a partir de la obra civil ya construida.

7.3.1 Central en el río Júcar

La solución de la central del río Júcar se ha decidido emplazarla en una pequeña llanura situada a pie de presa a una cota de 73,00 m como se puede ver en la siguiente imagen. Con este emplazamiento se consigue el mayor salto posible y además, la parte más importante es que se puede aprovechar las infraestructuras existentes y así minimizar el gasto.



Imagen 23: Emplazamiento de la central a pie de presa. Google Earth

Con la construcción de la central en dicho emplazamiento, se consigue un salto de 36,31 m, ya que el agua turbinada pasa de cota 95,31 a cota 59 la cual pertenece al punto de retorno al río Júcar. El terreno del que se dispone tiene aproximadamente 450 m².

Para el caso que nos ocupa, para llevar a cabo un aprovechamiento hidroeléctrico, es necesaria la presencia de una casa de máquinas. Esta, es el edificio donde se instalan las turbinas, cuyo objetivo principal es proteger de las adversidades climatológicas a todo el conjunto de máquinas que convierten la energía potencial del agua en energía eléctrica.

Las turbinas que se han calculado, deberán instalarse dentro de un edificio. Junto con las turbinas, también se instalará dentro de dicho edificio, los generadores, alternadores, cuadros eléctricos, etc.

Una vez descritas las dimensiones de la turbina, se puede hacer una estimación de las dimensiones aproximadas de las que tiene que disponer la central. Para la construcción de dicha central se escogerán los materiales que mejor resistan a la corrosión.

7.3.1.1 Obra civil

En este caso la central del río Júcar ya dispone de una entrada desde el túnel que fue construida ya que en el proyecto así se reflejaba para la posible construcción de centrales hidroeléctricas. Además, también se creó la galería de retorno al río Júcar con una tubería de acero.

Así pues, la creación de la central del río Júcar será crear la unión de las nuevas tuberías con las ya existentes en la zona. Como ya se ha explicado anteriormente, esta central dispondrá

de dos turbinas y para ello se necesitará una tubería de acero de 15 m que sea capaz de bifurcar para ambas turbinas. La primera de ellas, la correspondiente a los caudales bajos, deberá de tener un diámetro de 1,4 m siendo este el diámetro de entrada a la turbina. En segundo lugar, la segunda parte de la tubería correspondiente a los caudales altos, deberá de tener un diámetro de 2,6 m que al igual que el caso anterior es el diámetro correspondiente a la entrada de la turbina.

A continuación, se muestra una imagen en la que se resaltan en color azul las tuberías que se necesitan construir.



Imagen 24: Obra civil a construir en la solución de la central en el río Júcar. Elaboración propia.

Además, como se ha comentado en la introducción del apartado, será necesaria la construcción de una casa de máquinas donde se podrán los equipos electromecánicos. La casa de máquinas será de hormigón con unas dimensiones de 14 x 12 m, para su construcción será necesaria una excavación de 504 m³.

La casa de máquinas también dispondrá de un puente grúa de 30 toneladas con un polipasto para pequeñas cargas. En el anejo de planos se puede observar un dibujo de dicha casa de máquinas con sus dimensiones.

7.3.1.2 Turbinas

Después de analizar los caudales en el apartado 5.4.3, se ha decidido que la mejor solución era disponer de dos turbinas, la primera de ellas será la encargada de generar la energía durante los periodos de septiembre hasta mayo ya que los caudales de salida son menores. Por otro lado, la segunda turbina que ubicaremos en la central será la encargada de general la energía durante el resto del año, es decir, desde mayo hasta septiembre.

Las turbinas elegidas para ambos casos serán las turbinas Kaplan espiral, debido al buen resultado frente a variaciones de caudales. En cada una de las dos turbinas se ha decidido emplear una válvula mariposa para controlar el flujo.

La disposición de ambas turbinas será la misma, de forma vertical y tendrá forma de espiral como se muestra en las imágenes siguientes, la entrada del agua se efectuará desde la parte izquierda con una tubería de 1,4 m para caudales bajos y 2,6 m para caudales altos con unos diámetros de tubería de 3,5 m y 1,82 m, respectivamente.

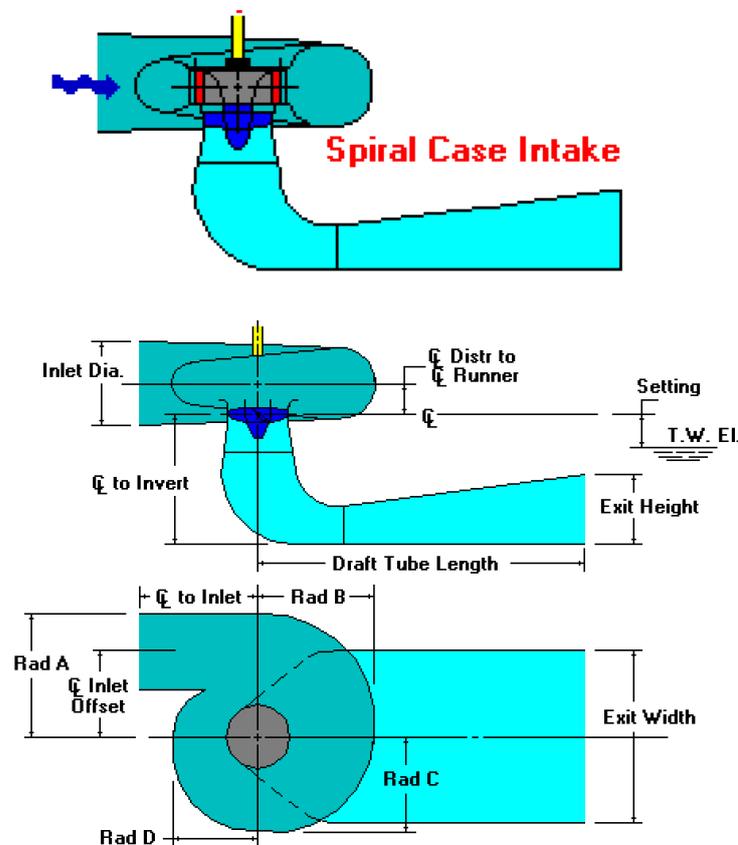


Imagen 25: Disposición de las turbinas de la central del río Júcar. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.

La primera de las turbinas se ha diseñado para un caudal nominal de $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Tendrá un diámetro de 1.154 mm y será capaz de generar 2.610 kW, para ello será necesario realizar una excavación de 0,6 m. A continuación, se muestra con más detalle las dimensiones de esta.

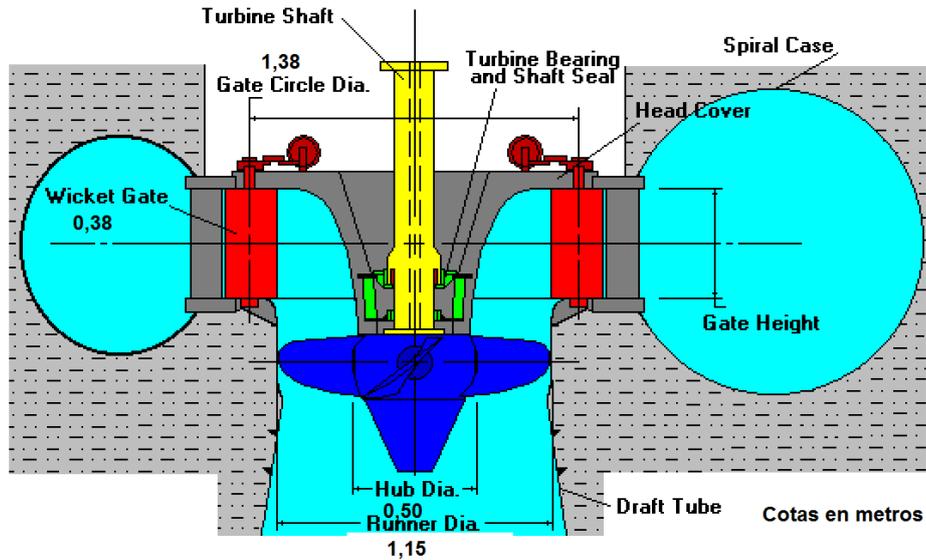


Imagen 26: Dimensiones turbina Kaplan para caudales bajos en la solución central río Júcar. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.

La segunda de las turbinas se ha diseñado para un caudal nominal de $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Tendrá un diámetro de 2.249 mm y será capaz de generar 9.192 kW, para ello se realizará una excavación de 0,4 m. Las dimensiones de esta son las que se muestran a continuación.

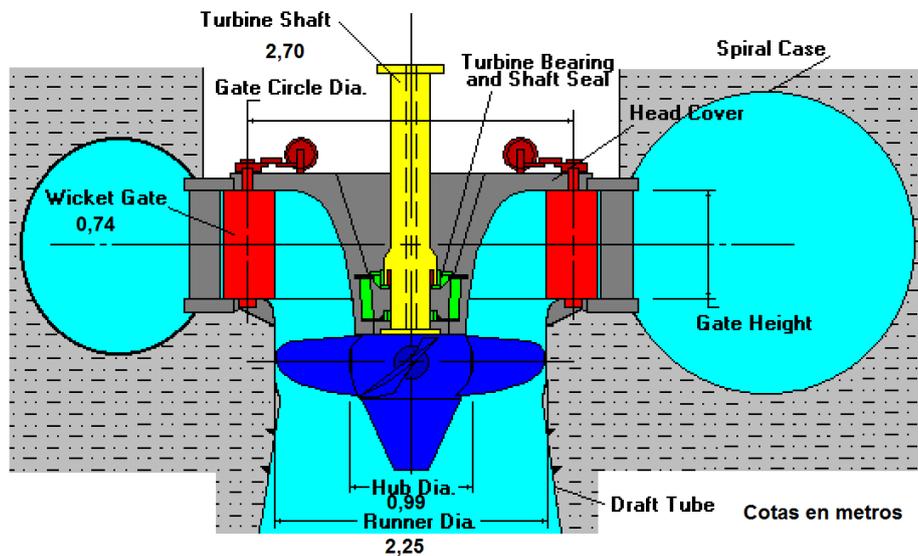


Imagen 27: Dimensiones turbina Kaplan para caudales altos en la solución central en el río Júcar. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.

Es importante recalcar también, que no es necesario indicar un tiempo de parada de las máquinas, ya que como la solución de la central a pie de presa incluye dos turbinas, una para distinta época, éstas se alternan trabajando por separado.

7.3.1.3 Generadores

En la central del río Júcar será necesaria la presencia de un total de dos generadores, uno para cada turbina instalada en dicha central. Para ello, se instalarán en ambos casos un generador del tipo síncrono, trifásico, de eje vertical, rotor con polos salientes y devanado de estator en estrella proyectado para trabajar con el neutro del sistema de generación conectado a tierra a través de alta impedancia.

El sistema de excitación es de tipo rotativo con escobillas. El devanado del rotor del generador es alimentado por un puente de diodos rotativos conectados a los devanados del rotor de la excitatriz.

Debido a la existencia de dos caudales nominales cada generador tendrá unas determinadas características para cada ocasión:

Caudales bajos:

Tipo: Síncrono

Potencia máxima: 2,69 MVA

Tensión asignada: 13,8 kV \pm 5%

Velocidad nominal: 600 r.p.m.

Conexión: Estrella

Frecuencia asignada: 50 Hz

Factor de potencia asignado: 0,97

Caudales altos:

Tipo: Síncrono

Potencia máxima: 9,47 MVA

Tensión asignada: 13,8 kV \pm 5%

Velocidad nominal: 300 r.p.m.

Conexión: Estrella

Frecuencia asignada: 50 Hz

Factor de potencia asignado: 0,97

Otra de las características que varía y en este caso que depende de la velocidad que genera la turbina es el número de polos del que dispondrá el generador.

En el caso de la turbina 1, el generador síncrono con una frecuencia igual a 50 Hz (red europea 400/230V) y cuya velocidad de sincronismo es de **600 rpm**. Dispondrá de **5 pares de polos** tal y como se calcula a continuación.

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} = p = \frac{60 \cdot 50}{600} = 5 \text{ pares de polos}$$

En el caso de la turbina 2, el generador síncrono con una frecuencia igual a 50 Hz (red europea 400/230V) y cuya velocidad de sincronismo es de **300 rpm**. Dispondrá de **10 pares de polos** tal y como se calcula a continuación.

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} = p = \frac{60 \cdot 50}{300} = 10 \text{ pares de polos}$$

7.3.1.4 Transformador

El transformador es el dispositivo que transfiere la energía eléctrica de un circuito a otro, normalmente con un cambio de voltaje. Los transformadores funcionan solamente con una corriente de electricidad variable, así como una corriente alternativa (AC). El transformador es un elemento imprescindible, ya que eleva el voltaje de la electricidad generada en una central eléctrica a los niveles necesarios para transmitir la electricidad de manera eficiente.

Para la central a pie de presa del río Júcar, se colocará un único transformador cuya potencia será igual a 12,16 MVA, siendo esta la suma de los dos generadores que se encuentran en esta central.

El transformador cumple con la norma UNE-EN 60076 en sus diferentes partes, así como con otras normas y reglamentos aplicables.

Dicho transformador será trifásico, 50 Hz, conexión Dyn11, servicio continuo, sumergidos en aceite, y sistema de refrigeración ONAF. La potencia nominal del transformador en régimen ONAF es de 34.000 kVA. Siendo 135 kV la tensión más habitual de la red, y la tensión de generación de 13,8 kV, la relación de transformación del transformador será $135 \pm 2,5\% \pm 5\%$ / 13,8 kV.

7.3.2 Central en el canal Júcar-Turia

Para esta solución el emplazamiento escogido es el que se muestra destacado en la imagen siguiente:



Imagen 28: Emplazamiento de la central en el canal Júcar-Turia. Google Earth.

Con la construcción de la central en dicho emplazamiento, se consigue un salto de 13,31 m, ya que el agua turbinada pasa de cota 95,31 a cota 82,00 la cual pertenece al punto de retorno al río Júcar. El terreno del que se dispone tiene aproximadamente 250 m².

Para llevar a cabo un aprovechamiento hidroeléctrico, es necesaria la presencia de una caseta de máquinas. Las turbinas que se ha calculado para esta solución, deberá instalarse dentro de un edificio. Junto a la turbina, también se instalará dentro de dicho edificio, el generador, alternador, cuadro eléctrico, etc.

Una vez descritas las dimensiones de la turbina, de nuevo se realizará una estimación de las dimensiones aproximadas de las que tiene que disponer la central. Para la construcción de dicha central se escogerán los materiales que mejor resistan a la corrosión.

7.3.1.1 Obra civil

En este caso la central del canal Júcar-Turia ya dispone también de una entrada desde el túnel que fue construida como en el proyecto fue reflejaba para la construcción una central hidroeléctrica. En este caso, el retorno al canal es bastante sencillo ya que a escasos metros se sitúa la entrada del canal. De esta forma, la obra civil que corresponde a esta central es la creación de una galería de 35 m para colocar y conectar la nueva tubería de acero con la ya existente. Para este caso se fijará un deflector cónico que convertirá la tubería de 5,4 m de diámetro en 2,59 m de diámetro, siendo este el diámetro de la entrada a la turbina.

A continuación, se muestra una imagen en la que se resaltan en color rojo las tuberías que se enciesitan construir.

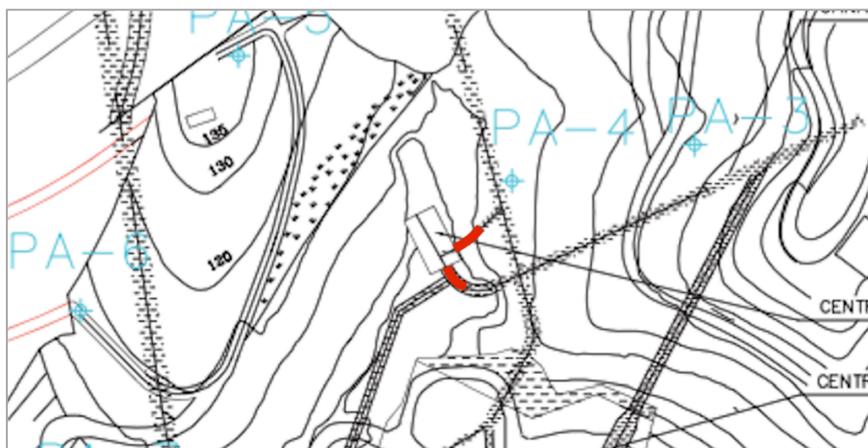


Imagen 29: Obra civil a construir en la solución de la central en el canal Júcar-Turia. Elaboración propia

Además, como se ha comentado en la introducción del punto será necesaria la construcción de una casa de máquinas donde se podrán los equipos electromecánicos. La casa

de máquinas será de hormigón con unas dimensiones de 10 x 10 m, para su construcción será necesaria una excavación de 300 m³.

La casa de máquinas también dispondrá de un puente grúa de 20 toneladas con un polipasto para pequeñas cargas. En el anejo de planos se puede observar un dibujo de dicha casa de máquinas con sus dimensiones.

7.3.1.2 Turbina

Después de ser analizados los caudales en el apartado 5.4.3, se ha decidido que la mejor solución para esta central es de disponer de una única turbina, ya que los caudales no son tan variables como en el caso anterior.

La turbina elegida para este caso será la turbina Kaplan semi-espiral debido al buen resultado frente a cambios de caudales. La disposición de esta turbina será de forma vertical. La estructura de esta será como la que se muestra a continuación:

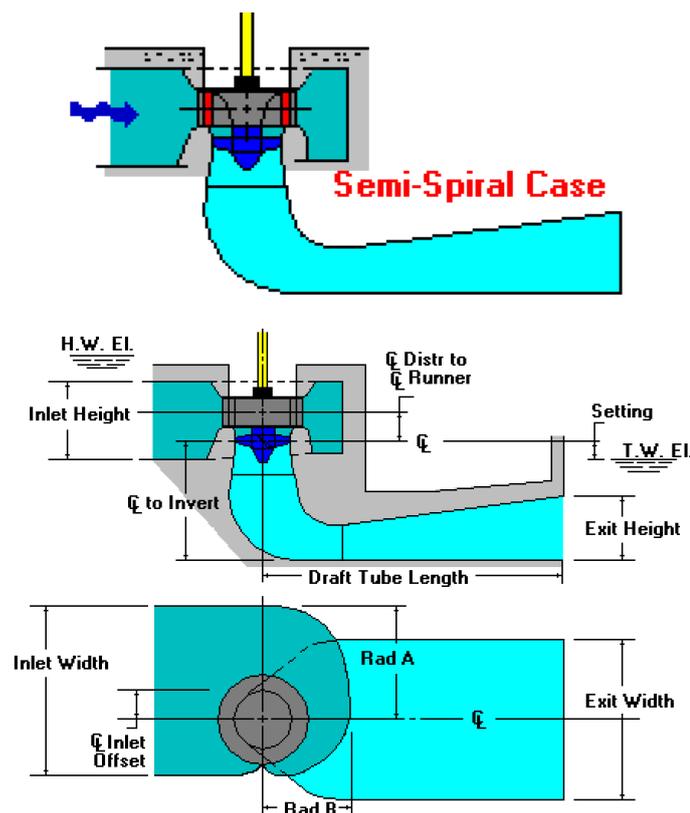


Imagen 30: Disposición de las turbinas de la central del canal Júcar -Turia. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.

A la entrada de cada turbina se dispondrá de una válvula mariposa para controlar los caudales de entrada.

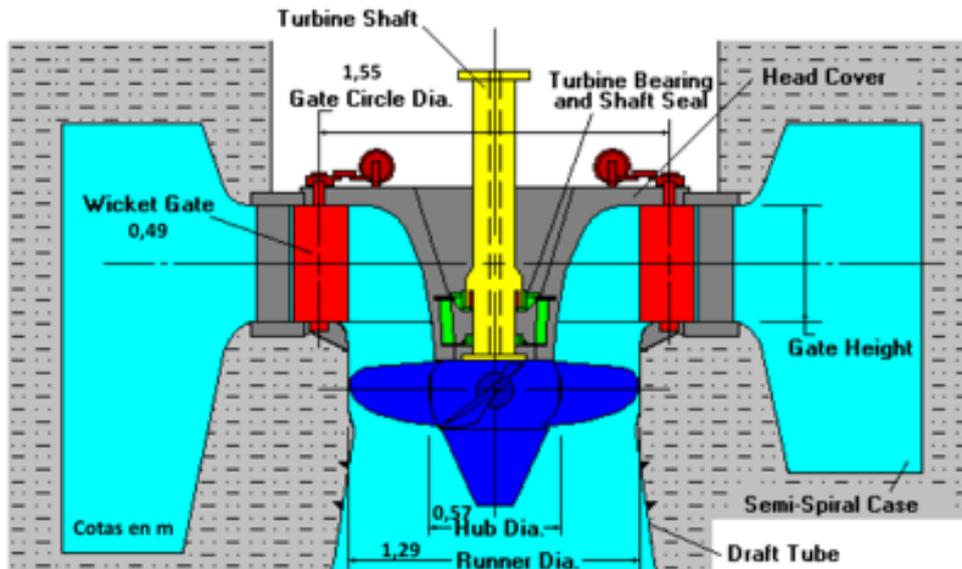


Imagen 31: Dimensiones turbina Kaplan para la solución central en canal Júcar-Turía. Programa para el dimensionamiento de turbinas hidráulicas TRBN PRO.

La turbina se ha diseñado para un caudal nominal de $9 \text{ m}^3/\text{s}$. Tendrá un diámetro de 1.295 mm y será capaz de generar 1068 kW, para ello será necesario realizar una excavación de 3,1 m.

Después de estudiar la solución de la central en el canal Júcar-Turía, será importante introducir un mes de descanso de la máquina, ya que solo se dispone de una turbina que trabaje todo el año. Por ello será necesario que descance durante un mes.

7.3.1.3 Generador

Para la central del canal Júcar-Turía será necesaria la presencia de un total de un generador, ya que solo se dispondrá de una única turbina instalada en dicha central. El tipo de generador elegido será también del tipo síncrono, trifásico, de eje vertical, rotor con polos salientes y devanado de estator en estrella proyectado para trabajar con el neutro del sistema de generación conectado a tierra a través de alta impedancia.

El sistema de excitación es de tipo rotativo con escobillas. El devanado del rotor del generador es alimentado por un puente de diodos rotativos conectados a los devanados del rotor de la excitatriz.

Las características principales del generador de la central del canal Júcar-Turia son:

Tipo: Síncrono

Potencia máxima: 1,10 MVA

Tensión asignada: 13,8 kV \pm 5%

Velocidad nominal: 375 r.p.m.

Conexión: Estrella

Frecuencia asignada: 50 Hz

Factor de potencia asignado: 0,7

Además, ya que el generador síncrono tiene una frecuencia igual a 50 Hz (red europea 400/230V) y cuya velocidad de sincronismo es de **375 rpm**, contará con un total de **8 pares de polos** tal y como se calcula a continuación:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} = p = \frac{60 \cdot 50}{375} = 8 \text{ pares de polos}$$

7.3.1.4 Transformador

El transformador es el dispositivo que transfiere la energía eléctrica de un circuito a otro, normalmente con un cambio de voltaje. Los transformadores funcionan solamente con una corriente de electricidad variable, así como una corriente alternativa (AC). El transformador es un elemento imprescindible, ya que eleva el voltaje de la electricidad generada en una central eléctrica a los niveles necesarios para transmitir la electricidad de manera eficiente.

Para la central del canal Júcar-Turia, se colocará un transformador cuya potencia será igual a 1,10 MVA siendo esta potencia resultante del generador que se encuentran en esta central.

El transformador cumple con la norma UNE-EN 60076 en sus diferentes partes, así como con otras normas y reglamentos aplicables.

Dicho transformador será trifásico, 50 Hz, conexión Dyn11, servicio continuo, sumergidos en aceite, y sistema de refrigeración ONAF. La potencia nominal del transformador en régimen ONAF es de 34.000 kVA.

Siendo 135 kV la tensión más habitual de la red, y la tensión de generación de 13,8 kV, la relación de transformación del transformador será $135 \pm 2,5\% \pm 5\% / 13,8$ kV.

8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se va a hacer un estudio de impacto ambiental de las dos soluciones que se estudian en el presente trabajo de final de grado. La finalidad de dicho estudio de impacto ambiental será ver el efecto que la obra tiene sobre el medio en el cual se inscribe. Para ello, se analizarán todos los factores que puedan influir en la obra a realizar.

Es muy importante puntualizar que las dos soluciones que se están estudiando, se encuentran a pocos metros de distancia, es por ello que el impacto ambiental que producirán será prácticamente el mismo, a diferencia de algún aspecto, como puede ser el número de turbinas (la central en el río Júcar tiene dos turbinas hidráulicas y la central en el canal Júcar-Turia tiene solamente una turbina hidráulica).

Como ya se ha dicho que el impacto ambiental producido será prácticamente el mismo, se ha optado por elaborar un solo estudio de impacto ambiental (EIA) y anotar en el mismo, las pequeñas diferencias que puedan haber entre ambas soluciones.

Dicho EIA, se puede ver de forma completa y detallada en el apartado de Anejos de este trabajo de final de grado.

9. PLAZO DE EJECUCIÓN Y PRESUPUESTO

Se ha decidido que la construcción de ambas soluciones sería en paralelo ya que los accesos a la presa de Tous lo permiten, es por ello que el plazo previsto de ejecución y puesta en marcha es de 18 meses incluyendo diseño, fabricación, acopio, suministro, obra civil, montaje y puesta en marcha.

A continuación, se detalla el presupuesto correspondiente a las dos soluciones de aprovechamientos hidroeléctricos estudiadas.

9.1 Presupuesto solución central en el río Júcar

Para la solución de la central en el río Júcar en la modalidad a pie de presa, se ha calculado y estimado el presupuesto que se detalla a continuación.

RESUMEN PRESUPUESTO		
CAPÍTULO	CÓDIGO	TOTAL (Euros)
1.	EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	4.384.000
2.	OBRA CIVIL	1.930.000
3.	MONTAJE ELECTROMECAÑICO	786.000
	VARIOS (Seguridad y salud)	55.000
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		7.155.000

	PRECIO (Euros)
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	7.155.000,00
13% GASTOS GENERALES	930.150,00
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	429.300,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	8.514.450,00
INGENIERÍA	80.000,00
PRESUPUESTO TOTAL	8.594.450,00

9.2 Presupuesto solución central en el canal Júcar-Turia

Para la solución de la central en el canal Júcar-Turia, se ha calculado y estimado el presupuesto que se detalla a continuación.

RESUMEN PRESUPUESTO		
CAPÍTULO	CÓDIGO	TOTAL (Euros)
1.	EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	2.003.000
2.	OBRA CIVIL	1.030.000
3.	MONTAJE ELECTROMECAÑICO	374.000
	VARIOS (Seguridad y salud)	55.000
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		3.462.000

	PRECIO (Euros)
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	3.462.000,00
13% GASTOS GENERALES	450.060,00
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	207.720,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	4.119.780,00
INGENIERÍA	56.000,00
PRESUPUESTO TOTAL	4.175.780,00

A continuación, se muestra una tabla resumen para poder comparar el presupuesto total de ambas soluciones:

Tabla 10: Comparación de los presupuestos de ambas soluciones. Elaboración propia.

SOLUCIÓN	PRESUPUESTO (Euros)
Central en el río Júcar	8.594.450,00
Central en el canal Júcar-Turia	4.175.780,00

10. TRÁMITES ADMINISTRATIVOS PARA LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO.

10.1 Legislación aplicable.

Para llevar a cabo la tramitación administrativa que corresponde a las dos soluciones de centrales hidroeléctricas se ha recurrido al **RD 413/2014 de 6 de junio**, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

El objetivo del real decreto, como se cita en el *artículo 1 del RD*, es constituir una regulación del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

10.1.1 Ámbito de aplicación.

En cuanto al ámbito de aplicación, *artículo 2 del RD 413/2014*, las centrales hidroeléctricas están incluidas en el presente real decreto ya que estas instalaciones son de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos pertenecientes a las siguientes categorías, grupos y subgrupos. Las centrales hidroeléctricas se encuentran dentro de la categoría b), en la cual se agrupan todas aquellas instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no fósiles. De forma más concreta, estas centrales pertenecen al grupo b.5 en el que se tienen en cuenta las Centrales hidroeléctricas cuya potencia instalada sea superior a 10 MW. Dicho grupo se divide en dos subgrupos:

- Subgrupo b.5.1 Centrales hidroeléctricas cuyas instalaciones hidráulicas (presa o azud, toma, canal y otras) hayan sido construidas exclusivamente para uso hidroeléctrico.
- Subgrupo b.5.1 Centrales hidroeléctricas que hayan sido construidas en infraestructuras existentes (presas, canales o conducciones) o dedicadas a otros usos distintos al hidroeléctrico.

10.1.2 Potencia instalada.

Con respecto a la potencia instalada, *artículo 3 del RD 413/2014*, se corresponderá con la potencia activa máxima que puede alcanzar una unidad de producción y vendrá determinada por la potencia menor de las especificadas en la placas de características de los grupos motor, turbina o alternador instalados en serie, o en su caso, cuando la instalación esté configurada por varios motores, turbinas o alternadores en paralelo será la menor de las sumas de las potencias de las placas de características de los motores, turbinas o alternadores que se encuentren en paralelo.

Por otro lado, para llevar a cabo la construcción de ambas centrales es necesario que se tengan en cuenta una serie de procedimientos y registros administrativos que se explican en dicho real decreto, se considera importante cuales son las disposiciones generales y los procedimientos relativos al registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica.

10.1.3 Competencias administrativas.

Se debe de tener en cuenta las competencias administrativas, *artículo 35 del RD 413/2014*. Por el que se explica que las competencias corresponden a la Administración General del Estado, a través de la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, sin perjuicio de las competencias que tengan atribuidas otros departamentos ministeriales:

a) La autorización administrativa para la puesta en funcionamiento de nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, y modificación de las existentes, así como para la transmisión, cierre temporal y cierre definitivo de las mismas, en los siguientes casos:

- Instalaciones peninsulares, incluyendo sus infraestructuras de evacuación, de potencia eléctrica instalada superior a 50 MW eléctricos.
- Instalaciones, incluyendo sus infraestructuras de evacuación, que excedan del ámbito territorial de una Comunidad Autónoma.
- Instalaciones ubicadas en el mar territorial.
- Instalaciones de potencia eléctrica instalada superior a 50 MW eléctricos ubicadas en los territorios no peninsulares, cuando sus sistemas eléctricos estén efectivamente integrados con el sistema peninsular.

b) La inscripción en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica, así como la modificación o cancelación de dichas inscripciones, de aquellas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos cuya competencia para la autorización administrativa corresponde a la Dirección General de Política Energética y Minas, y la

toma de razón en dicho registro de las inscripciones de las demás instalaciones reguladas en este real decreto.

c) El otorgamiento del régimen retributivo específico regulado en el título IV de este real decreto, así como la verificación del cumplimiento por parte de los titulares de las instalaciones de las condiciones exigibles para tener derecho a su percepción y, en su caso, la revocación de dicho derecho.

d) La inscripción en el registro de régimen retributivo específico, así como la modificación o cancelación de dichas inscripciones de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración de alta eficiencia y residuos.

10.1.4 Autorización de la instalación.

Ambas centrales deberán de disponer de una autorización de las instalaciones como se explica en el artículo 36 del RD 413/2014. El procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones administrativas para la puesta en funcionamiento, modificación, transmisión, cierre temporal y cierre definitivo de las instalaciones a las que hace referencia este real decreto, cuando sea competencia de la Administración General del Estado, se regirá por las normas por las que se regulan con carácter general las instalaciones de producción de energía eléctrica, o las instalaciones de generación eólicas marinas, sin perjuicio de las concesiones y autorizaciones que sean necesarias, de acuerdo con otras disposiciones que resulten aplicables, que pudieran ser previas a la autorización de instalaciones como en el caso de la concesión de aguas para las centrales hidroeléctricas.

Para la obtención de la autorización de la instalación, será un requisito previo indispensable la obtención de los permisos de acceso y conexión a las redes de transporte o distribución correspondientes por la totalidad de la potencia de la instalación.

10.1.5 Registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica.

Por último, en cuanto a la tramitación administrativa tenemos que tener en cuenta los procedimientos relativos al registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica. El procedimiento de inscripción en este registro constará de una fase de inscripción previa y de una fase de inscripción definitiva.

Para la inscripción en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica las instalaciones de producción de energía eléctrica incluidas en el ámbito de aplicación del presente real decreto deberán estar inscritas obligatoriamente en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica dependiente del Ministerio

de Industria, Energía y Turismo. Además, cada instalación se inscribirá en la sección que le corresponda en función de su potencia, de acuerdo con lo siguiente:

- Las instalaciones cuya potencia instalada sea superior a 50 MW, deberán ser inscritas en la sección primera de dicho registro.
- Las instalaciones cuya potencia instalada sea igual o inferior a 50 MW, deberán ser inscritas en la sección segunda de dicho registro.

Las instalaciones obligadas a ello deberán realizar previamente a la inscripción definitiva una prueba para acreditar su potencia bruta, neta y mínima, según lo indicado en la normativa que regule los mecanismos de capacidad e hibernación que en su caso se dicte. Dichas potencias deberán constar en la sección del registro que corresponda.

La Dirección General de Política Energética y Minas facilitará el acceso electrónico al registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica a los órganos competentes de las comunidades autónomas de las inscripciones que afecten a su ámbito territorial, así como al órgano competente para realizar la liquidación, a la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, al operador del sistema y al operador del mercado, de forma que estos puedan tener conocimiento de las inscripciones y modificaciones realizadas en el registro.

En cuanto a la inscripción previa, la solicitud de inscripción previa se acompañará, al menos, de:

- La autorización de explotación provisional para pruebas.
- El contrato técnico con la empresa distribuidora o, en su caso, contrato técnico de acceso a la red de transporte, a los que se refiere el artículo 5 de este real decreto.
- El certificado emitido por el encargado de la lectura, que acredite el cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico, aprobado por el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, con detalle del Código de la Instalación de producción a efectos de Liquidación (CIL).
- El informe del gestor de la red de transporte, o del gestor de la red de distribución en su caso, que acredite la adecuada cumplimentación de los procedimientos de acceso y conexión y el cumplimiento de los requisitos de información, técnicos y operativos establecidos en los procedimientos de operación, incluyendo la adscripción a un centro de control de generación con los requisitos establecidos en el presente real decreto.

En el caso de las instalaciones para cuya autorización sea competente la Administración General del Estado, la solicitud de inscripción previa será dirigida a la Dirección General de Política Energética y Minas y presentada por el titular de la instalación o por quien le represente, entendiéndose por tales al propietario, arrendatario, concesionario hidráulico o titular de cualquier otro derecho que le vincule con la explotación de una instalación. Dicha solicitud se acompañará de los datos incluidos en el anexo X, del RD 413/2014.

La solicitud de inscripción previa se resolverá por el Director General de Política Energética y Minas en el plazo máximo de un mes desde la fecha de solicitud de inscripción.

En el caso de las instalaciones para cuya autorización sean competentes las comunidades autónomas, en el plazo máximo de un mes desde la inscripción de la instalación en el registro autonómico, la comunidad autónoma competente deberá dar traslado de dicha inscripción, a través de procedimientos electrónicos, a la Dirección General de Política Energética y Minas para la toma de razón de la inscripción previa en el registro administrativo. La fecha de la inscripción previa de la instalación en el registro será la que haya consignado el órgano autonómico en su resolución.

La formalización de la inscripción previa dará lugar a la asignación, por parte de la Dirección General de Política Energética y Minas, de un número de identificación en el registro, que será comunicado a la comunidad autónoma competente al objeto de que por esta última se proceda a su notificación al interesado. Esta notificación será efectuada por la Dirección General de Política Energética y Minas cuando se trate de instalaciones para cuya autorización sea competente la Administración General del Estado.

La formalización de la inscripción previa en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica dependiente de la Dirección General de Política Energética y Minas, será considerada requisito suficiente para dar cumplimiento a lo previsto en el artículo 4.a) del Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el mercado de producción de energía eléctrica y será notificada al interesado.

La inscripción de la instalación en el registro de instalaciones de producción de energía eléctrica con carácter previo permitirá el funcionamiento en pruebas de la misma.

La energía eléctrica que pudiera haberse vertido a la red como consecuencia de un funcionamiento en pruebas, previo a la autorización de explotación definitiva, tendrá derecho a percibir exclusivamente el precio del mercado.

El último paso es la inscripción definitiva, necesario para la inscripción definitiva en el registro que la instalación disponga de autorización de explotación definitiva.

En el caso de las instalaciones para cuya autorización sea competente la Administración General del Estado, la solicitud de inscripción definitiva se dirigirá a la Dirección General de Política Energética y Minas, acompañada de la acreditación del cumplimiento de los requisitos exigidos para los sujetos del mercado de producción y, en su caso, de los resultados de la prueba de potencia bruta, neta y mínima a la que se refiere el artículo 37. La solicitud de inscripción definitiva se resolverá por el Director General de Política Energética y Minas en el plazo máximo de un mes desde la fecha de solicitud de inscripción.

En cambio, en el caso de que la competencia para la resolución de la solicitud corresponda a una comunidad autónoma, ésta, en el plazo máximo de un mes desde su

resolución, deberá comunicar por vía electrónica la inscripción de la instalación en el registro autonómico, para la toma de razón de la inscripción definitiva en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica a la Dirección General de Política Energética y Minas. La fecha de la inscripción definitiva de la instalación en el registro será la que haya consignado el órgano autonómico en su resolución.

La Dirección General de Política Energética y Minas comunicará la formalización de la inscripción definitiva en este registro y el número de identificación correspondiente, a la comunidad autónoma que resulte competente. Por su parte el órgano competente para otorgar la autorización administrativa de la instalación procederá a su notificación al solicitante y a la empresa distribuidora o transportista. Esta última notificación será efectuada por la Dirección General de Política Energética y Minas cuando se trate de instalaciones para cuya autorización sea competente la Administración General del Estado.

En aquellos casos en que la competencia para resolver corresponda a la Dirección General de Política Energética y Minas, podrán tramitarse simultáneamente las inscripciones definitiva y en estado de explotación en el registro de instalaciones de producción de energía eléctrica y en el registro de régimen retributivo específico, respectivamente.

10.1.6 Concesión del agua.

La autoridad competente que concede la autorización del uso del agua en España son las Confederaciones Hidrográficas. Por lo que la concesión de la autorización del uso del agua para el presente proyecto correspondería a la Confederación Hidrográfica del Júcar. Se realizaría una solicitud de tipo "Aprovechamientos de aguas públicas, Aguas superficiales, Aguas superficiales para aprovechamiento hidroeléctrico". La validez de la autorización suele ser de 25 años, más 15 años de gracia.

11. ESTUDIO ECONÓMICO

11.1 Introducción

Este apartado del trabajo es fundamental ya que en el estudio de soluciones se va a tener muy en cuenta el aspecto económico, es decir, que las soluciones sean rentables o no. Se va a realizar un estudio económico básico de ambas soluciones, que abarcará los primeros 30 años de vida de las obras.

En este apartado se realiza una comparativa del estudio económico de las dos soluciones que se han estudiado.

En la solución de la central en el río Júcar, en modalidad de regulación de pie de presa, se ha optado por disponer de dos turbinas hidráulicas Kaplan que sean capaces de turbinar el caudal que sale del embalse de Tous con dirección al río Júcar. Dicha solución dispone de un salto hidráulico de 36,31 m, tal y como se ha calculado en apartados anteriores. Esta central

tendrá una producción energética de 5,28 GWh en época de caudales bajos y 22,55 GWh en época de caudales altos, siendo un total de 27,84 GWh al año, aunque finalmente, como se ha explicado en el apartado 6.1 tras considerar el 1% como pérdidas por mantenimiento la energía total es de 27,56 GWh. Así pues, se ha estimado un presupuesto de 8.594.450,00 euros para esta central.

En la solución de la central en el canal Júcar-Turía, se ha optado por disponer de una única turbina hidráulica de tipo Kaplan. Dicha solución dispone de un salto hidráulico de 13,31 m, tal y como se ha calculado en apartados anteriores. Esta central tendrá una producción energética anual de 5,98 GWh y cómo se explica en el apartado 6.2 la producción anual es de 5,71 GWh, tras parar el equipo durante un mes para su mantenimiento. Así pues, se ha estimado un presupuesto de 4.175.780,00 euros para esta central.

Además, en el estudio económico también se contemplan dos opciones: hacer el estudio con gastos financieros o hacerlo sin ellos.

Se mostrarán los balances acumulados de cada solución, así como su Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Rentabilidad.

11.2 Estudio económico de la solución de la central en el río Júcar.

11.2.1 Beneficio por venta de energía

El beneficio por venta de energía consiste en el beneficio que se prevé cada año. Para ello, se considera que el precio de la energía es de 55 euros/MWh este precio tendrá una subida cada nuevo año. El incremento del precio de la subida de la energía será del 1,70% cada año.

11.2.2 Costes de operación y mantenimiento

El coste de operación y mantenimiento se estiman para el primer año en 20.000 euros con un incremento anual igual al IPC siendo este del 2,5%.

11.2.3 Gastos financieros

Como se ha explicado en la introducción, se plantea la hipótesis de pedir un préstamo al banco que cubra el 40 % del capital inicial total, siendo este de 8.594.450,00 euros. Por lo tanto, el préstamo asciende 3.437.780,00 euros a pagar en 10 años con un interés del 2%.

A través de la aplicación facilitada por el Banco de España, se calcula la cuota semestral que se deberá pagar durante los 10 años, siendo esta de 190.495,69 euros. El gasto anual es de 380.991,00 euros, y por lo tanto el gasto total es asciende a los 3.809.913,73 euros.

Por norma general, a lo largo que pasan los años los intereses disminuyen, al contrario que la amortización que a medida que pasan los años el valor va ascendiendo.

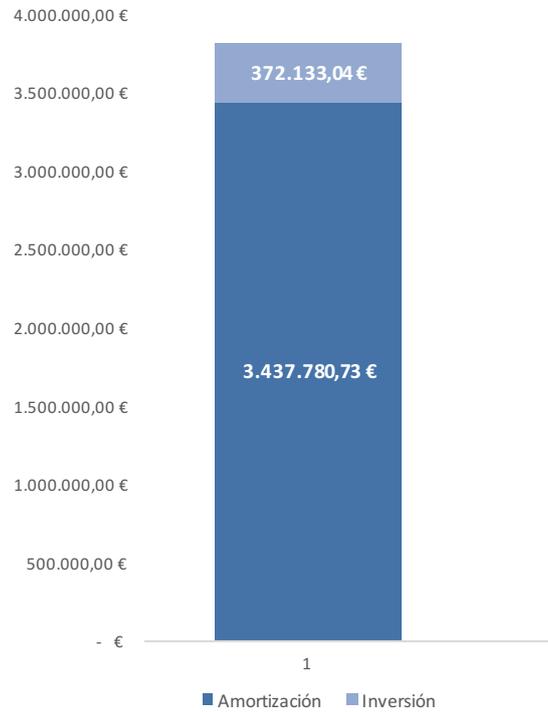


Gráfico 23: Detalle del préstamo para la construcción de la central del río Júcar. Elaboración propia.

11.2.4 Balance económico. Beneficios.

Cuando ya se ha calculado el beneficio que se tiene en un año y los gastos que se van a producir ese mismo año en la central, se realiza un balance económico para 30 años.

- IPC: 2,5%. Valor que se adopta para actualizar los precios de los gastos del seguro y los gastos de operación y mantenimiento.

Con todo ello se calcula el cash flow entendido como el resultado de hacer la diferencia ente los gastos anuales y los ingresos que se han obtenido en el año.

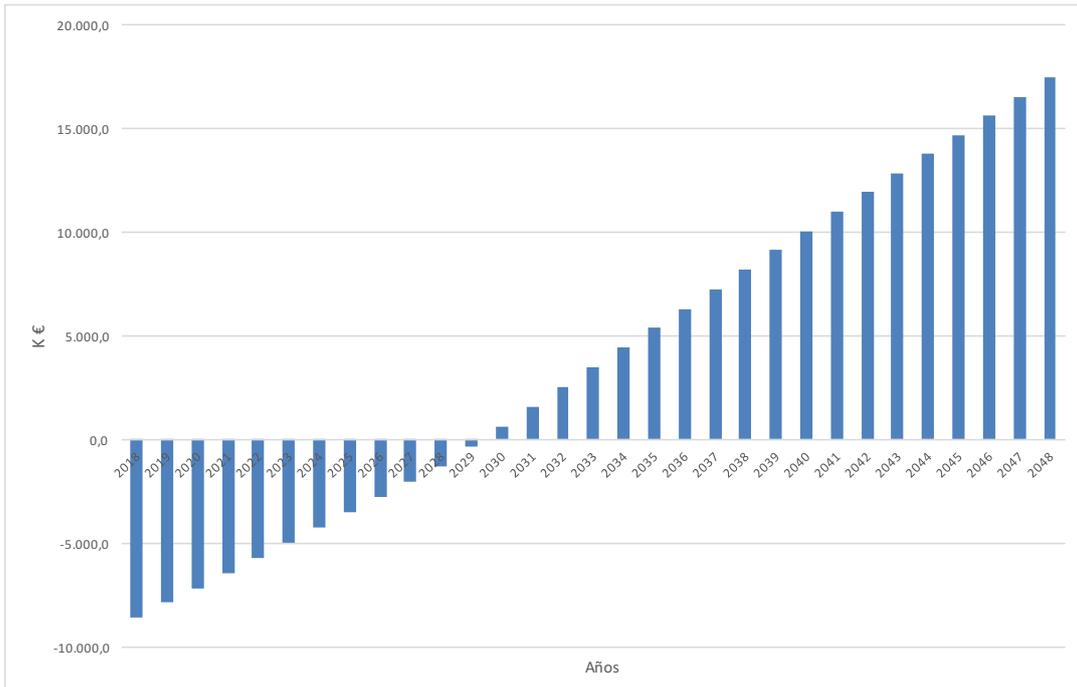


Gráfico 24: Pay Back central río Júcar con financiación. Elaboración propia

En este primer caso, en el que tenemos en cuenta una financiación del 40% del presupuesto total y realizar el cálculo del balance, se puede observar en el gráfico anterior que la instalación empieza a tener beneficios a partir del onceavo año. Llegando a tener un beneficio acumulado de 17.449.400 €

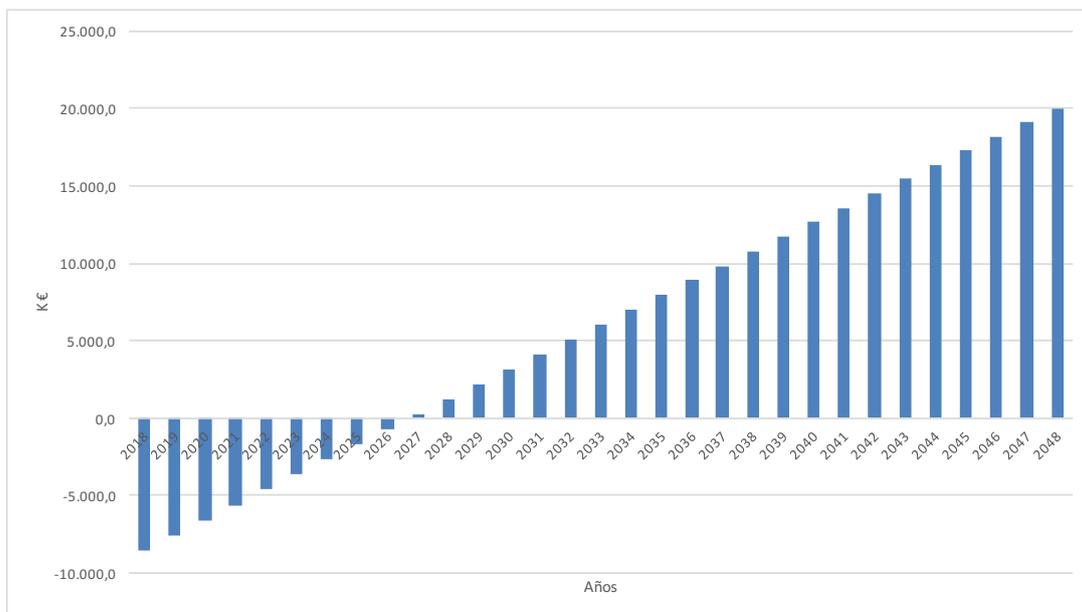


Gráfico 25: Pay Back central río Júcar sin financiación. Elaboración propia

En este segundo caso, en el que no se ha tenido en cuenta la financiación del 40% del presupuesto total y tras haber realizado el cálculo del balance, se puede observar en el gráfico anterior que la instalación empezará a tener beneficios tres años antes que, si lo hacemos mediante financiación, es decir, a partir del décimo año será ya todo beneficio. En este caso se conseguirá un beneficio acumulado de 20.016.100 € .

11.2.5 Rentabilidad

Los conceptos que intervienen en este apartado son el VAN y el TIR. A continuación, se hace una breve explicación de dichos conceptos y con sus respectivas fórmulas.

- **VAN** (Valor Actual Neto): se utiliza para medir la viabilidad de una inversión que se basa en los flujos de caja que se estima que van a haber en un futuro y así saber cuánto se puede ganar o perder. Por eso, se incluyen los flujos de caja que hay en el momento y se descuentan a un tipo de interés determinado. Además, valora los diferentes tipos de inversión y así se puede llegar a conocer con qué inversión se va a obtener una ganancia máxima. También expresa cómo de rentable es un proyecto en términos netos.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

- F_t : Flujos de dinero en cada periodo t
- I_0 : Inversión realizada en el momento inicial ($t=0$)
- n : número de periodos de tiempo
- k : tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión, en nuestro caso es de un 2%

- **TIR** (Tasa Interna de Retorno): se utiliza para evaluar proyectos que tienen una inversión y está ligada con el VAN. Es el porcentaje de los beneficios o las pérdidas que puede tener la inversión. Esta tasa de descuento es la que hace que el VAN sea cero.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Donde:

- F_t : Flujos de dinero en cada periodo t
- I_0 : Inversión realizada en el momento inicial ($t=0$)
- n : número de periodos de tiempo

Por lo tanto, este será el resultado:

Tabla 11: Tabla resumen del estudio económico de la central del río Júcar. Elaboración propia

	VAN	TIR	PAY BACK
Central río Júcar con financiación	17.449.440 €	10,82 %	13 años
Central río Júcar sin financiación	20.016.150 €	13,02 %	10 años

11.3 Estudio económico de la solución de la central en el canal Júcar-Turia.

11.3.1 Beneficio por venta de energía

El beneficio por venta de energía consiste en el beneficio que se prevé cada año. Para ello, se considera que el precio de la energía es de 55 euros/MWh este precio tendrá una subida cada nuevo año. El incremento del precio de la subida de la energía será del 1,70% cada año.

11.3.2 Costes de operación y mantenimiento

El coste de operación y mantenimiento se estiman para el primer año en 20.000 euros con un incremento anual igual al IPC siendo este del 2,5%.

11.3.3 Gastos financieros

De nuevo, como se ha explicado en la introducción del estudio de rentabilidad, se plantea la hipótesis de pedir un préstamo al banco que cubra el 40 % del capital inicial total de la central del canal del Júcar-Turia, siendo este de 4.175.780 euros. Por lo tanto, el préstamo asciende 1.670.312,00 euros a pagar en 10 años con un interés del 2%.

A través de la aplicación facilitada por el Banco de España, se calcula la cuota semestral que se deberá pagar durante los 10 años, siendo esta de 92.560,87 euros. El gasto anual es de 185.121,74 euros, y por lo tanto el gasto total es asciende a los 1.851.226,18 euros.

Por norma general, a lo largo que pasan los años los intereses disminuyen, al contrario que la amortización que a medida que pasan los años, el valor va ascendiendo.



Gráfico 26: Detalle del préstamo para la construcción de la central del canal Júcar-Turia. Elaboración propia.

11.3.4 Balance económico. Beneficios.

Cuando ya se ha calculado el beneficio que se tiene en un año y los gastos que se van a producir ese mismo año en la central, se realiza un balance económico para 30 años.

- IPC: 2,5%. Valor que se adopta para actualizar los precios de los gastos del seguro y los gastos de operación y mantenimiento.

Con todo ello se calcula el cash flow entendido como el resultado de hacer la diferencia ente los gastos anuales y los ingresos que se han obtenido en el año.

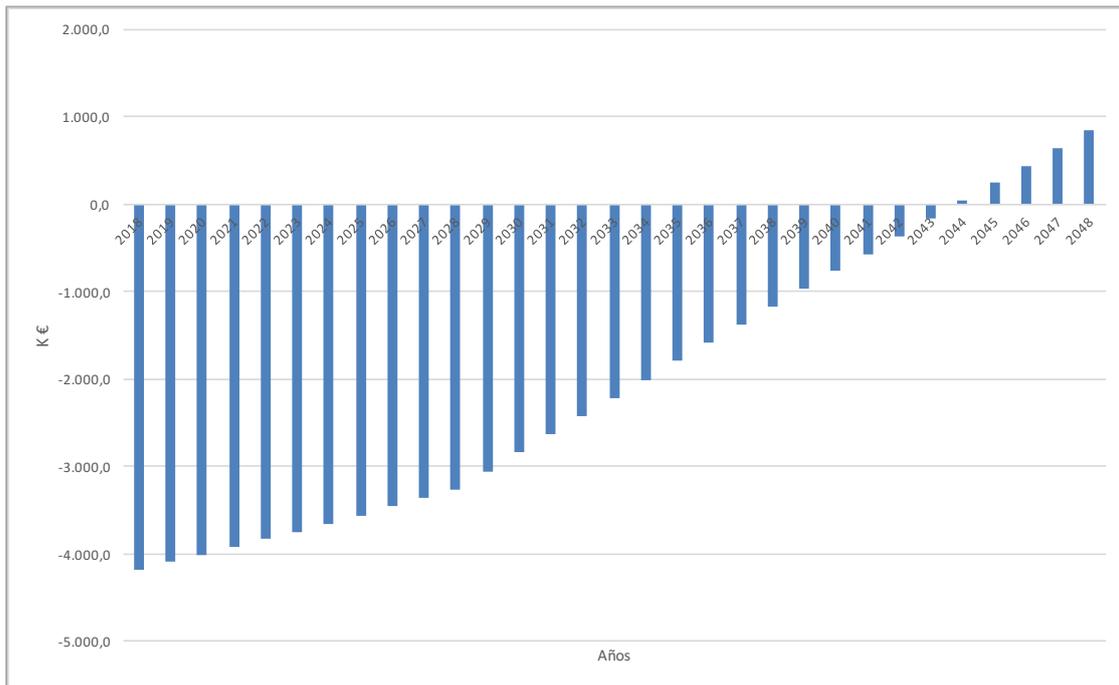


Gráfico 27: Pay Back central canal Júcar-Turia con financiación. Elaboración propia

En este primer caso, en el que tenemos en cuenta una financiación del 40% del presupuesto total y realizar el cálculo del balance, se puede observar en el gráfico anterior que la instalación empieza a tener beneficios a partir de 25 años después de la puesta en marcha de la central. Llegando a tener un beneficio acumulado de 836.690 €

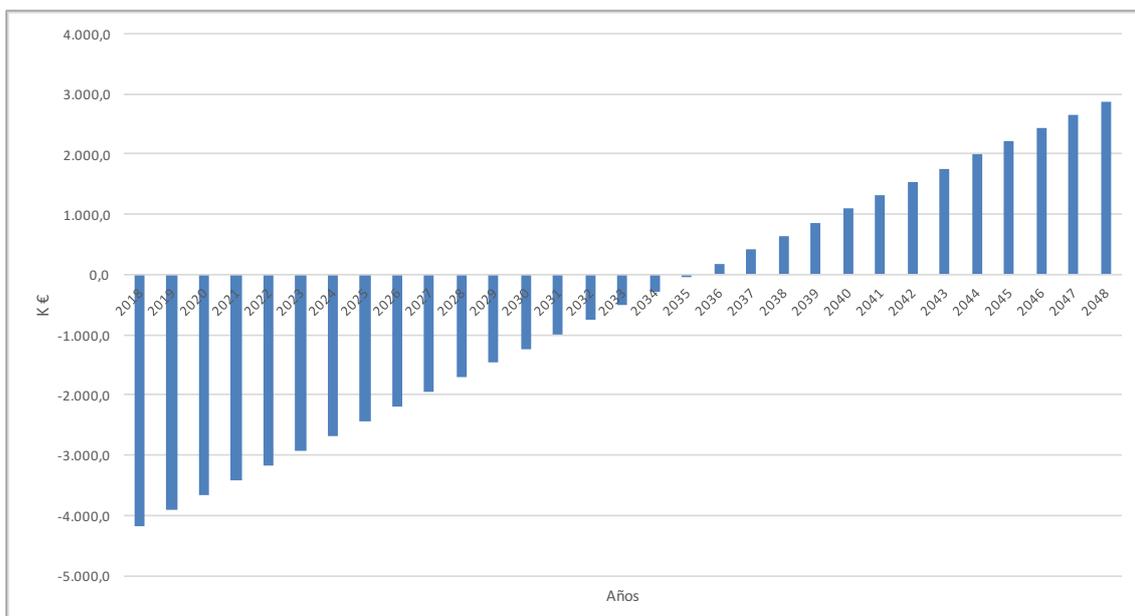


Gráfico 28: Pay Back central canal Júcar-Turia sin financiación. Elaboración propia

En este segundo caso, en el que no se ha tenido en cuenta la financiación del 40% del presupuesto total y tras haber realizado el cálculo del balance, se puede observar en el gráfico anterior que la instalación empezará a tener beneficios seis años antes que, si lo hacemos mediante financiación, es decir, 19 años después de la implantación de la central, será ya todo beneficio. En este caso se conseguirá un beneficio acumulado de 2.863.200 €

11.3.5 Rentabilidad

Los conceptos que intervienen en este apartado son el VAN y el TIR. A continuación, se hace una breve explicación de dichos conceptos y con sus respectivas fórmulas.

- **VAN** (Valor Actual Neto): se utiliza para medir la viabilidad de una inversión que se basa en los flujos de caja que se estima que van a haber en un futuro y así saber cuánto se puede ganar o perder. Por eso, se incluyen los flujos de caja que hay en el momento y se descuentan a un tipo de interés determinado. Además, valora los diferentes tipos de inversión y así se puede llegar a conocer con qué inversión se va a obtener una ganancia máxima. También expresa cómo de rentable es un proyecto en términos netos.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

- F_t : Flujos de dinero en cada periodo t
 - I_0 : Inversión realizada en el momento inicial (t=0)
 - n : número de periodos de tiempo
 - k : tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión, en nuestro caso es de un 2%
- **TIR** (Tasa Interna de Retorno): se utiliza para evaluar proyectos que tienen una inversión y está ligada con el VAN. Es el porcentaje de los beneficios o las pérdidas que puede tener la inversión. Esta tasa de descuento es la que hace que el VAN sea cero.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

Donde:

- F_t : Flujos de dinero en cada periodo t

- I_0 : Inversión realizada en el momento inicial ($t=0$)
- n : número de periodos de tiempo

Por lo tanto, este será el resultado:

Tabla 12: Tabla resumen del estudio económico de la central del canal Júcar-Turia. Elaboración propia

	VAN	TIR	PAY BACK
Central canal Júcar-Turia con financiación	836.690 €	3,08 %	25 años
Central canal Júcar-Turia sin financiación	2.863.200 €	5,96 %	19 años

12. CONCLUSIONES

Hoy en día la energía hidráulica es una buena opción para solucionar problemas de demanda de energía ya que es una fuente de energía renovable.

Este trabajo final de grado tenía como objetivo principal estudiar dos soluciones para el establecimiento de dos centrales hidroeléctricas en las inmediaciones de la presa de Tous. Esta presa no presenta aprovechamiento hidroeléctrico, pero en cambio sí tiene preparada la infraestructura necesaria para albergar centrales hidroeléctricas. De dicho estudio se pretendía sacar, en conclusión, qué solución era la más óptima.

Después de haber desarrollado todo el trabajo con su correspondiente estudio de impacto ambiental y estudio económico, se puede concluir que ambas centrales hidroeléctricas son viables tanto técnica como económicamente, si bien, la central del río Júcar en modalidad a pie de presa tiene unos parámetros de rentabilidad mejores que la central del canal Júcar-Turia.

Además, ambas centrales presentan un impacto ambiental moderado que con las oportunas medidas correctoras se consigue minimizar.

13. REFERENCIAS

- AYUNTAMIENTO DE TOUS. *Historia y patrimonio*. <<http://www.ayuntamientotous.es/>> [Consulta: 16 enero de 2018].
- CEDEX - MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Anuario de aforos (Salida embalse Tous - 8042)*. <http://ceh-flumen64.cedex.es/> [Consulta: 10 marzo de 2018]
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR. *Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar*. <https://www.chj.es/> [Consulta: 20 enero de 2018]
- CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL. *Medio natural*. <<http://www.agroambient.gva.es/>> [Consulta: 16 enero de 2018].
- EUROPEAN SMALL HYDROPOWER ASSOCIATION. (1998). *Manual de pequeña hidráulica*. DG XVII: Bélgica.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA - MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD. *Mapas geológicos de España (Valencia)*. www.igme.es/ [Consulta: 2 febrero de 2018]
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA - MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD. *Mapa Geotécnico General*. <www.igme.es/> [Consulta: 2 febrero de 2018]
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. <http://www.ine.es/> [Consulta: 2 febrero de 2018]
- ITURAIN BARRON, G. (2016). *Estudio de viabilidad de mini-central hidroeléctrica en el embalse de Urrunaga en Legutio (Álava)*. TFM en Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Inventario de Presas*. <<http://sig.mapama.es/snczi/visor.html?herramienta=Presas/>> [Consulta: 14 enero de 2018]
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. *Estado de los embalses y pantanos de España*. <<http://www.embales.net/>> [Consulta: 2 febrero de 2018]
- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. Estadísticas del sistema eléctrico. <<http://www.ree.es/>> [Consulta: 23 mayo de 2018]
- ULTRILLAS SERRANO, J.L (2013). *La presa de Tous: Ingeniería, seguridad y desarrollo en la Ribera del Júcar*. Valencia: Confederación Hidrográfica del Júcar.