



Trabajo de final de grado

Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia

Valencia, septiembre de 2019

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Civil

CURSO: 2018/2019

AUTOR: Sánchez Saiz, Alejandro

TUTOR: Pérez Martín, Miguel Ángel

TUTOR: Estrela Monreal, Teodoro

TUTOR EMPRESA: Regidor Perona, María Carmen



Índice.

1.	Introducción y objetivos.....	1
2.	Antecedentes.....	3
2.1.	Plan Hidrológico del Júcar.....	4
2.2.	Caudales ecológicos para las distintas masas de agua.	5
3.	Ámbito de estudio.....	7
3.1.	Sistema de explotación Turia.....	7
3.2.	Central hidroeléctrica de Castielfabib.	8
3.3.	Central hidroeléctrica de la presa de Benagéber.....	9
3.4.	Central hidroeléctrica de saltos de Domeño.....	11
3.5.	Central hidroeléctrica del embalse de Loriguilla.....	12
3.6.	Central hidroeléctrica de Chulilla.	13
3.7.	Central hidroeléctrica de Portlux.	15
3.8.	Central hidroeléctrica de Gestalgar.	16
3.9.	Central hidroeléctrica de Bugarra.	17
3.10.	Central hidroeléctrica de Pedralba.....	18
3.11.	Central hidroeléctrica de La Pea.	19
3.12.	Unidades de aforo. (UDA)	20
4.	Metodología.	23
5.	Aplicación.....	26
5.1.	Central hidroeléctrica de Chulilla.....	26
5.1.1.	Datos medioambientales.	26
5.1.2.	Datos hidrológicos.....	28
5.1.3.	Datos hidroeléctricos.	29
5.1.4.	Curvas de caudales clasificados y esquema de funcionamiento.	30
5.1.5.	Simulación para los distintos escenarios.....	31
5.1.6.	Cálculo de la potencia y la producción.	36
5.1.7.	Valoración económica de la central hidroeléctrica de Chulilla.....	39
6.	Resultados obtenidos y propuestas de actuación.	41
6.1.	Equipo 0.....	42
6.2.	Equipo 1.....	43
6.3.	Equipo 2.....	45
6.4.	Equipo 3.....	47



Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia



6.5. Valoración económica global y alternativas propuestas.	49
7. Análisis de los caudales intradiarios.	53
8. Resumen y conclusiones.....	55
9. Líneas futuras.....	57
ANEJO 1. Datos previos del estudio.	59
ANEJO 2. Obtención y cálculo de los resultados.....	59
REFERENCIAS.	63

Índice de Figuras.

Figura 1 : Salmo trutta, Linnaeus, 1758. Trucha común y Luciobarbus guiraonis, Steindachner, 1866. Barbo mediterráneo	2
Figura 2 : Situación de las centrales de la DHJ.....	3
Figura 3 : Esquema resumen de las metodologías empleadas para la determinación del régimen de caudales mínimos.....	6
Figura 4 : Esquema de las centrales hidroeléctricas presentes en el río Turia.....	7
Figura 5 : Balsa central hidroeléctrica Castielfabib.....	8
Figura 6 : Salto de agua de la central hidroeléctrica de Castielfabib.	9
Figura 7 : Foto aérea embalse de Benagéber (Extraída de SIA Júcar)	10
Figura 8 : Presa del embalse de Benagéber.....	10
Figura 9 : Foto aérea de la Central hidroeléctrica de Saltos de Domeño.....	11
Figura 10 : Foto de la central hidroeléctrica de Loriguilla (Foto de autor).	12
Figura 11 : Central hidroeléctrica de Chulilla.	14
Figura 12 : Foto aérea Chulilla. Toma de derivación y central hidroeléctrica.....	14
Figura 13 : Central hidroeléctrica de Portlux.	15
Figura 14 : Foto aérea de la toma y la central hidroeléctrica de Gestalgar.	16
Figura 15 : Central hidroeléctrica de Bugarra (Foto de autor).	17
Figura 16 : Central hidroeléctrica de Pedralba. (Foto de autor)	18
Figura 17 : Central de Pedralba. Canal de alimentación, central y construcciones auxiliares. (Foto de autor)	19
Figura 18 : Foto aérea La Pea. Toma de derivación y central hidroeléctrica.	19
Figura 19 : Estación de aforo de Castielfabib.	20
Figura 20 : Estación de aforo de Loriguilla. (Foto de autor)	20
Figura 21 : Estación de aforo de Bugarra.	21
Figura 22 : Esquema de la metodología a emplear en el proyecto.....	23
Figura 23 : Luciobarbus guiraonis (Barbo de montaña)	27
Figura 24 : Leuciscus pyrenaicus (Cacho).....	27
Figura 25 : Gráfica de caudales diarios de los últimos 30 años.	28
Figura 26 : Caudales diarios desde la aprobación del PHJ 2015-2021	29
Figura 27 : Ficha identificativa de la central hidroeléctrica de Chulilla. (PHJ)	29
Figura 28 : Esquema de la central hidroeléctrica de Chulilla.....	30
Figura 29 : Curva de caudales clasificados para la CH de Chulilla.	31
Figura 30 : Rango de turbinación para la situación inicial.	32
Figura 31 : Rango de turbinación con la entrada de caudales ecológicos. (PHJ 2015-2019)	33
Figura 32 : Rango de turbinación para un caudal ecológico futuro propuesto.....	34
Figura 33 : Rango de turbinación para un caudal ecológico futuro propuesto 2.....	35
Figura 34 : Formula para el cálculo de la potencia de una central hidroeléctrica.....	36
Figura 35 : Ingresos de la central hidroeléctrica de Chulilla para cada uno de los escenarios.....	39
Figura 36 : Gráfica representativa de la reducción de ingresos de la central hidroeléctrica de Chulilla.	40
Figura 37 : Gráfica representativa de la reducción porcentual de ingresos de la central hidroeléctrica de Chulilla	40



Figura 38: Distribución de las centrales por equipos.	41
Figura 39: Producción para el grupo 0 en los distintos escenarios.	42
Figura 40: Gráfico reducción de ingresos del grupo 0.	42
Figura 41: Gráfica de la reducción porcentual de ingresos.	43
Figura 42: Gráfica de la producción energética para los distintos escenarios del equipo 1.	44
Figura 43: Gráfica de reducción de ingresos del equipo 1.	44
Figura 44: Gráfica de la reducción porcentual de ingresos del grupo 1.	45
Figura 45: Gráfica de la producción de las centrales del grupo 2.	45
Figura 46: Gráfica de reducción de ingresos del grupo 2.	46
Figura 47: Gráfica de la reducción porcentual de ingresos del grupo 2.	46
Figura 48: Gráfica de la producción para los distintos escenarios del equipo 3.	47
Figura 49: Gráfica de la reducción de ingresos para el equipo 3.	48
Figura 50: Gráfico de la reducción porcentual de ingresos del equipo 3.	48
Figura 51: Extrapolación de la producción para el nuevo caudal propuesto.	49
Figura 52: Extrapolación de la reducción de ingresos para el nuevo caudal propuesto.	50
Figura 53: Extrapolación de la producción para el nuevo caudal propuesto.	50
Figura 54: Extrapolación de la producción para el nuevo caudal propuesto.	51
Figura 55: Extrapolación de la reducción de ingresos para el nuevo caudal propuesto. (Equipo 1)	52
Figura 56: Extrapolación de la reducción de ingresos para el nuevo caudal propuesto. (Equipo 2)	52
Figura 57: Gráfico caudales del 16 de junio de 2018 de la estación de aforo de Loriguilla.	54
Figura 58: Gráfico caudales del 16 de junio de 2018 de la estación de aforo de Bugarra.	54

Índice de tablas.

Tabla 1: Masas de agua afectadas por las centrales hidroeléctricas.	4
Tabla 2: Caudales mínimos, máximos y tasas de cambio para las distintas centrales hidroeléctricas.	5
Tabla 3: Caudales máximos, caudales mínimos y tasas de cambio (ascendentes y descendentes) de las distintas masas de agua.	6
Tabla 4: Producción para la situación inicial.	37
Tabla 5: Producción para la situación con caudal ecológico.	37
Tabla 6: Producción para la situación con caudal ecológico futuro 1.	38
Tabla 7: Producción para la situación con caudal ecológico futuro 2.	38

1. Introducción y objetivos.

El presente proyecto de fin de grado ha sido realizado en un grupo de tres personas dividiéndose en función del ámbito de aplicación de los tres ríos más importantes del sistema Júcar (Júcar, Túrria y Mijares). Aunque el procedimiento a seguir y la metodología empleada para la obtención de resultados sea parecida, pues ha habido un planeamiento conjunto por parte de los autores, se han encontrado problemáticas diferentes en los distintos tramos y por lo tanto se ha debido de proceder de formas distintas, lo que ha variado la aplicación y la forma de emplear la metodología propuesta.

El objeto del presente estudio consiste en un análisis sobre las repercusiones que supondría sobre el parque hidroeléctrico del río Turia una subida de los caudales ecológicos en las masas de agua de dicho río. Se pretende realizar una simulación estadística sobre los caudales circulantes por el río, y evaluando diferentes escenarios de caudales, determinar la repercusión económica que estos van a suponer para las empresas energéticas que gestionan las centrales en cuestión.

A lo largo del río Turia aparecen un número de central hidroeléctricas, actualmente activas, las cuales estarán sujetas a estos estudios. De estas centrales se ha de, en primer lugar, que diferenciar entre las centrales de tipo fluyente (Cómo la de Castielfabib, Chulilla, Portlux, Gestalgar, Bugarra, Pedralba o La Pea) o las que están a pie de presa (Cómo las centrales de Benagéber y Chulilla). También existe en este río una excepción de central hidroeléctrica, que deriva el agua directamente desde el embalse de Benagéber y lo devuelve en la masa de agua próxima al embalse de Loriguilla (La central hidroeléctrica de Saltos de Domeño).

Puesto que los problemas relacionados con el medio ambiente y la carencia de recursos energéticos es un tema que está muy presente en la actualidad, la motivación del proyecto reside en promover un buen estado ecológico de las masas de agua sin perjudicar en exceso a una fuente de energía renovable como es la hidráulica. La energía hidráulica es un recurso cuya tecnología lleva muchos años en marcha y está muy avanzada, en la cual, la transformación de energía tiene una eficiencia muy elevada, y una gran versatilidad, por lo que resulta importante incentivar el uso de este tipo de energías, pero siempre intentando conservar el mejor estado ecológico posible de las masas de agua.

La importancia de este proyecto residirá en la correcta utilización del agua, como prioridad, y en los aprovechamientos energéticos y su viabilidad económica como valor añadido. Es importante remarcar que el perfecto estado de las masas de agua es una necesidad actual, y por eso es importante que se cumplan los valores prefijados en el PHJ (Plan Hidrográfico del Júcar). Una vez asegurada la protección de las masas de agua, y de los ecosistemas que en ellas habitan, se analizarán las necesidades de estos aprovechamientos y se estudiarán las posibles alternativas para salvaguardar la seguridad de las masas de agua y no perjudicar a las empresas implicadas.



Figura 1 : *Salmo trutta*, Linnaeus, 1758. Trucha común y *Luciobarbus guiraonis*, Steindachner, 1866. Barbo mediterráneo

2. Antecedentes.

Es necesario, destacar el papel actualmente indispensable que está jugando la energía de origen hidroeléctrico con regulación, en calidad de cobertura de la demanda del sistema eléctrico. Véase, que este tipo de energía, capas como ninguna otra de arranques, paradas y rápidas variaciones de la carga aportada al sistema, es la única que puede garantizar el seguimiento fino de la curva de demanda y la atención rápida a variaciones bruscas de la energía entregada. (IDAE, 2006)

El parque hidroeléctrico en la demarcación del Júcar tiene una potencia instalada del 7,6% del total hidroeléctrico nacional, total que cuenta con 1.166 centrales de las cuales 71 se encuentran en la *Demarcación del Júcar*. De estas 71 centrales, el sistema Turia, que es objeto del estudio, cuenta con un 4,0% de la potencia total instalada en la demarcación, destacando los aprovechamientos de Benagéber (con 18,9 MW) y la presa de Loriguilla (con 4,4 MW). De todos los aprovechamientos hidroeléctricos que cuenta el sistema Turia, a parte de los recién mencionados, existen un gran número de centrales fluyentes que derivan agua del río para la generación de energía hidroeléctrica (Cateilfabib, Saltos de Domeño, Chulilla, Portlux, Gestalgar, Bugarra, Pedralba y La Pea) así como los aprovechamientos que se encuentran en pies de presa (Benagéber y Loriguilla). (PHJ 2015)

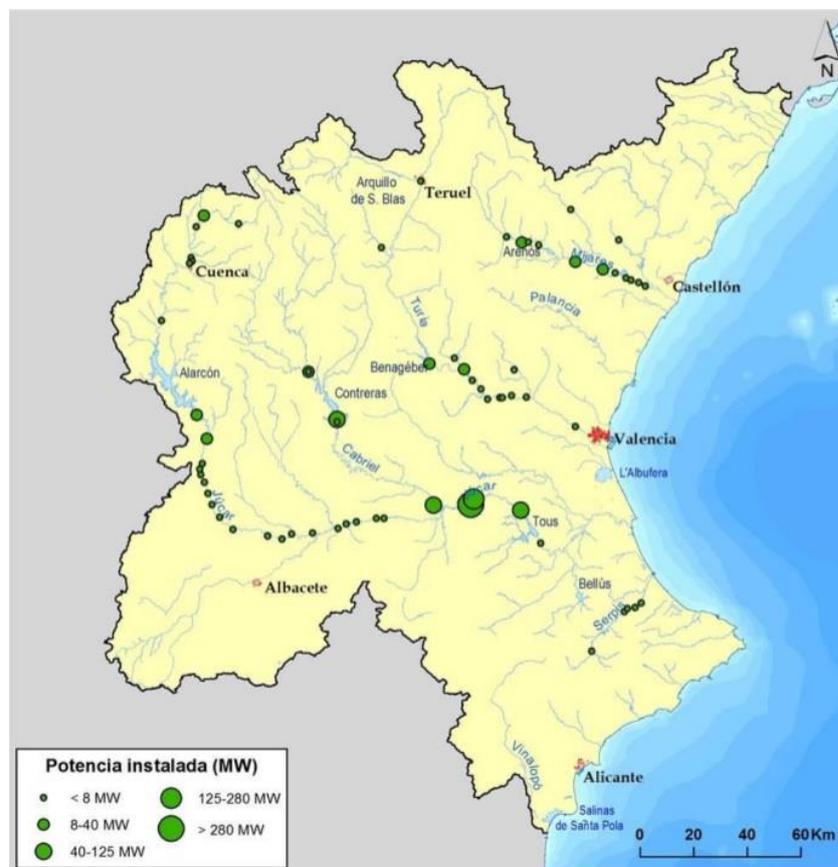


Figura 2 : Situación de las centrales de la DHJ

2.1. Plan Hidrológico del Júcar.

La planificación hidrológica es un requerimiento legal que se establece con los objetivos generales de conseguir el buen estado y la adecuada protección de las masas de agua de la Demarcación, la satisfacción de las demandas de agua y el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial.

Estos objetivos pretenden alcanzarse con un uso eficaz y eficiente de los recursos fluviales, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Para la consecución de los objetivos, la planificación hidrológica se guiará por criterios de sostenibilidad en el uso del agua mediante la gestión del estado de las aguas, protección y mejora del medio acuático y de los ecosistemas acuáticos y reducción de la contaminación. Asimismo, la planificación hidrológica contribuirá a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.

Los objetivos propuestos por el plan hidrológico de cuenca vienen definidos por el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, llamada Directiva Marco del Agua (DMA), en consecuencia, la planificación hidrológica ha ampliado su concepto para recoger el enfoque y los contenidos de la DMA, desarrollados en tres ejes fundamentales: sostenibilidad ambiental, racionalidad económica y transparencia y participación social.

Para el seguimiento y revisión del plan hidrológico, así como la facilitación del suministro de información y la participación ciudadana en la planificación, se ha elaborado el Sistema de Información del Agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar (S.I.A. Júcar) que incluye una web de descarga y visualización de datos y cartografía.

En primer lugar, se debe de tener en cuenta los datos previos proporcionados por la Planificación Hidrológica del Júcar (PHJ) respecto a la geometría y longitud de las masas de agua afectadas, por tanto, que tendrán una importancia relevante en nuestro proyecto.

Código UE	Código	Nombre	Ecotipo	X	Y	Naturaleza	Área (km ²)	Long (km)
ES080MSPF15.06.02.01	15.06.02.01	Río Ebrón	R-T12	-1,39	40,27	Natural		47,07
ES080MSPF15.10	15.10	E. Benagéber	E-T11	-1,11	39,74	Muy modificada	7,46	
ES080MSPF15.11	15.11	Río Turia: E. Benagéber - E. Loriguilla	R-T09	-1,04	39,72	Natural		17,02
ES080MSPF15.12	15.12	E. Loriguilla	E-T11	-0,93	39,69	Muy modificada	3,69	
ES080MSPF15.13	15.13	Río Turia: E. Loriguilla - Río Sot	R-T09	-0,89	39,65	Natural		10,28
ES080MSPF15.14	15.14	Río Turia: Río Sot - Bco. Teulada	R-T14	-0,80	39,61	Natural		32,24

Tabla 1: Masas de agua afectadas por las centrales hidroeléctricas.

2.2. Caudales ecológicos para las distintas masas de agua.

La definición de los caudales ecológicos está estrechamente relacionada con la cantidad de agua que debe haber en el ecosistema acuático en cada momento para su adecuada conservación y mantenimiento. El régimen de caudales ecológicos es aquel que permite mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Son los caudales mínimos y máximos que deben existir en las distintas masas de agua existentes en la Demarcación para la conservación de los ecosistemas y correcto mantenimiento ecológico de las aguas superficiales.

En la Directiva Marco del Agua (DMA) no hay sin embargo una referencia explícita a los caudales ecológicos, aunque se asume que los regímenes de caudales ecológicos deben contribuir a alcanzar los objetivos medioambientales en las masas de agua superficial. En España, la Ley de Aguas (LA) y el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) establecen que la determinación de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición, así como la determinación de las necesidades hídrica de lagos y humedales, es un contenido obligatorio de los planes hidrológicos de cuenca, entendiéndose que constituyen una restricción que se impone con carácter general a los usos del agua en los distintos sistemas de explotación.

En la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) los ríos se encuentran fuertemente alterados ya que la mayor parte de los recursos disponibles están asignados o reservados para los distintos usos del agua, lo que hace que, si cabe, sea más necesario que en otros lugares, implantar adecuadamente los regímenes de caudales ecológicos establecidos en el plan, especialmente en aquellos ríos de mayor entidad o con mayor valor ambiental.

Los usos consuntivos se ven por tanto poco afectados por la implantación del régimen de caudales ecológicos. Otros usos como el hidroeléctrico, objeto de nuestro estudio, pueden verse más afectados.

En la siguiente Tabla se recogen las centrales hidroeléctricas en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) afectadas por el régimen de caudales ecológicos, tanto en su componente de mínimos como en su componente de máximos y tasas de cambio.

Ámbito	Nombre de la Central	Q _{min} (m ³ /s)	Q _{max} (m ³ /s)	Tasa Cambio (m ³ /s/h)	
Turia Alto	Castielfabib	0,15	No evaluado	5,31	-4,22
	Benagéber	1,2	10,03	5,31	-4,22
Turia Medio	Loriguilla	1,2	No evaluado (11,49)*	5,31	-4,22
	Chulilla	1,2	No evaluado (11,49)*	No evaluado	No evaluado
	Portlux, Gestalgar, Bugarra, Pedralba, La Pea	1,8	11,49	No evaluado	No evaluado

Tabla 2: Caudales mínimos, máximos y tasas de cambio para las distintas centrales hidroeléctricas.

En el presente estudio, se le dará mucha importancia a los caudales ecológicos para las distintas masas de agua que se vean afectadas por las instalaciones de centrales hidroeléctricas. Estas masas cuentan cada una con unos caudales máximos, caudales mínimos y tasas de cambio que tienen, como objetivo principal, ser cumplidas para alcanzar un buen estado ecológico de los ríos y otras masas de agua superficiales.

Para la obtención de los caudales ecológicos, se analizan las masas de agua mediante dos métodos para determinar el régimen de caudales. Los caudales se determinarán mediante métodos hidrológicos y de modelación del hábitat seleccionando periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos periodos distintos dentro del año de acuerdo con lo indicado en la Instrucción para la Planificación Hidrológica (IPH) y según el esquema metodológico que se muestra en la siguiente figura:

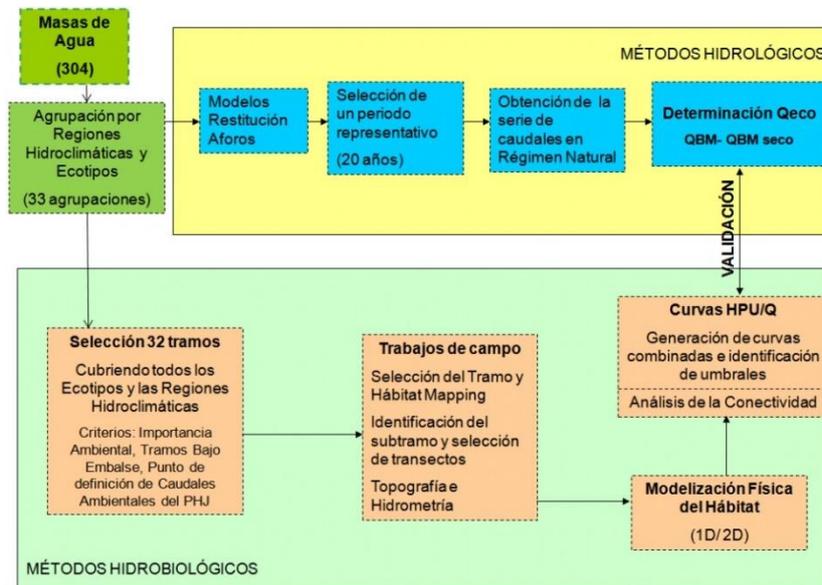


Figura 3: Esquema resumen de las metodologías empleadas para la determinación del régimen de caudales mínimos.

Por lo que, para las masas de agua objeto del estudio, según la información proporcionada por la Planificación Hidrológica de Júcar, se establecen los siguientes caudales máximos, caudales mínimos y tasas de cambio.

Código masa de agua	Nombre masa de agua	Espacio con protección	Caudal mínimo (m ³ /s)		Hidroregión	Caudal máximo (m ³ /s)												Tasa de cambio		
			Situación ordinaria	Situación de sequía		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Ascendente (m ³ /s/h)	Descendente (m ³ /s/h)	
15.06.02.01	Río Ebrón	Sí	0,15	**	2														5,31	-4,22
15.10	E. Benagéber	Sí	-	-	2														5,31	-4,22
15.11	Río Turia: E. Benagéber - E. Loriguilla	Sí	1,2	**	3	10	10	10	12	12	10	10	10	10	10	10	10	5,31	-4,22	
15.12	E. Loriguilla	Sí	-	-	3													5,31	-4,22	
15.13	Río Turia: E. Loriguilla - Río Sot	Sí	1,2	**	3													-	-	
15.14	Río Turia: Río Sot - Bco. Teulada	Sí	1,8	**	3	11,5	11,5	11,5	13,8	13,8	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	-	-	

Tabla 3: Caudales máximos, caudales mínimos y tasas de cambio (ascendentes y descendentes) de las distintas masas de agua.

3. Ámbito de estudio.

En este estudio hay que centrarse en el análisis del sistema de explotación Turia y los aprovechamientos hidroeléctricos que trabajan produciendo energía a lo largo de dicho río. Este sistema de explotación se sitúa aproximadamente en el centro de la *Cuenca Hidrográfica del Júcar (CHJ)*, iniciándose en la provincia de Teruel y terminando en su desembocadura en la provincia de Valencia.

3.1. Sistema de explotación Turia.

El sistema de explotación Turia incluye la cuenca propia del río Turia, así como la de los barrancos de Carraixet y poyo, y las subcuencas litorales comprendidas entre el límite norte del término municipal de Puçol y la gola de El Saler. El río Turia nace en la muela de San Juan, provincia de Teruel, conociéndose también, hasta su confluencia con el Alfambra, con el nombre de Guadalaviar. Aparte del ya mencionado Alfambra, sus afluentes son: Camarena, Riodeva, Arcos y Tuérjar por la izquierda y Ebrón, Vallanca y Sot por la derecha. La superficie total comprendida por el sistema de explotación es de 7.7240 km². (PHJ)

En el sistema de explotación se localizan distintas centrales hidroeléctricas cuyo funcionamiento no altera los caudales a escala mensual. Sin embargo, la central de Domeño constituye una excepción, ya que se deriva el agua por el canal de Campo de Turia y se reintegra al río Turia tras el salto situado en cola del embalse de Loriguilla. Aunque no supone un uso consuntivo influye en el caudal ambiental entre los embalses de Benagéber y Loriguilla.

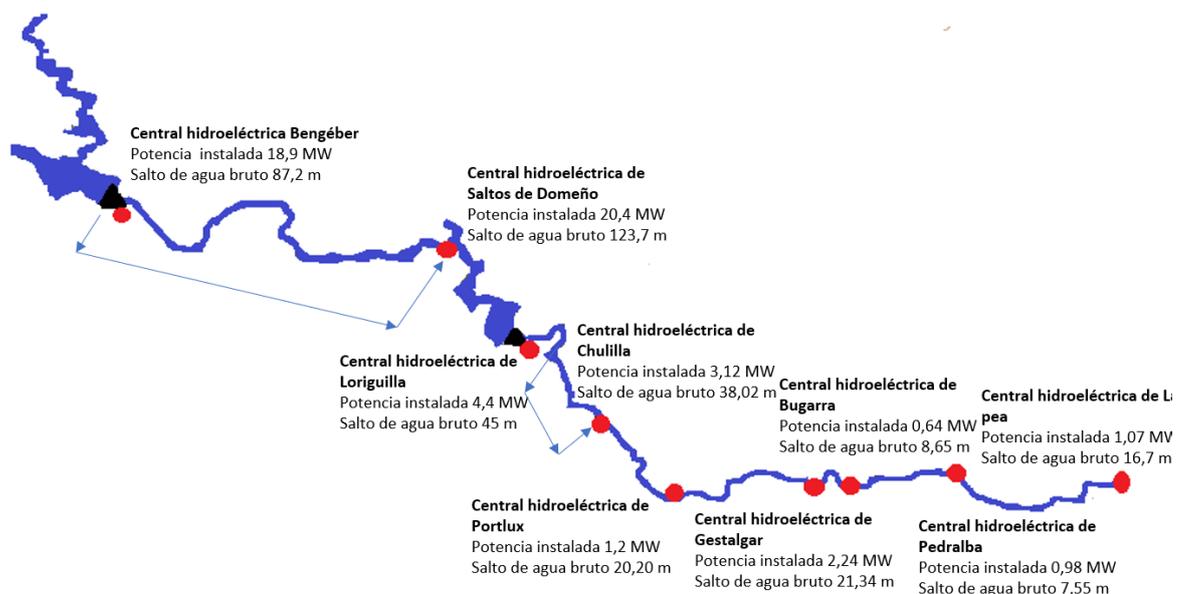


Figura 4: Esquema de las centrales hidroeléctricas presentes en el río Turia.

3.2. Central hidroeléctrica de Castielfabib.

La central hidroeléctrica de Castielfabib (También conocida como “La Central”), está situada en el término municipal de Castielfabib, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España). La primera fábrica fue construida a principios del siglo XX (1913) por la «Teledinámica Turolense, S.A.», empresa con sede social en Madrid, en funcionamiento desde 1914 hasta 1986, fecha en que se construyó la nueva central denominada «Central Eléctrica de Castielfabib».

Las obras de la central comenzaron durante el verano de 1913, construyendo un canal, en parte cubierto utilizando la piedra de cantería del convento de San Guillermo.

A principios de agosto de 2016 el suministro a las minas de azufre de Libros, regentada por *La Industrial Química de Zaragoza*, constituyéndose en uno de los primeros y más importantes clientes.

La central de Castielfabib se halla en el tramo final de las *Hoces del Ebrón*, perteneciente al río Ebrón, uno de los afluentes del “Sistema Turia”. Forma parte de la masa de agua con código 15.06.02.01(Río Ebrón) establecida por la “Planificación Hidrográfica del Júcar”. Actualmente, la central hidroeléctrica cuenta con un salto de agua bruto de 70,8 metros, contando con una sola turbina que genera una potencia de 1,3 MW. (Ficha técnica PHJ)

El actual titular de la central hidroeléctrica con código 0402 (según la *Demarcación Hidrográfica del Júcar*) es la empresa “Endesa Generación, S.A.”, como así lo plasma la ficha técnica (ANEJO X) extraída directamente de la “Planificación Hidrográfica del Júcar”, en el Apéndice 3 del Anejo 3 de “Usos y Demandas del Agua”.



Figura 5: Balsa central hidroeléctrica Castielfabib.



Figura 6: Salto de agua de la central hidroeléctrica de Castielfabib.

3.3. Central hidroeléctrica de la presa de Benagéber.

El embalse de Benagéber está enclavado en el río Turia y en el término municipal de Benagéber (Mancomunidad del Alto Turia, Comarca de los Serranos), Valencia (Comunidad Valenciana, España).

Este embalse fue incluido en el plan de obras hidráulicas de 1912, y no sería hasta 1931, fecha en que se aprobó por la *Dirección General de Obras Hidráulicas* que comenzaría su construcción. El 5 de abril de 1932 el presidente de la República, Niceto Alcalá-Zamora inauguraba las obras con el nombre de Pantano Blasco Ibáñez. Su construcción duraría hasta el año 1955 rebautizándose como Embalse del Generalísimo.

Las obras proyectadas del Embalse de Benagéber se dividieron en dos grupos: el primero comprendía todas las obras necesarias para el desvío del río, el camino de acceso a las obras, los edificios para viviendas, almacenes, talleres, oficinas, hospital, escuelas, etc., abastecimiento de agua potable, alumbrado y alcantarillado; el segundo abarcaba la presa y aliviadero, las compuertas de toma y limpia y la corrección de las laderas.

El actual embalse de Benagéber ocupa 722 ha, con una capacidad máxima de 228 hm³. Tiene una presa de gravedad y un aliviadero tipo morning-glory y de él parte el canal Campos del Turia, que abastece una importante zona regable entre los términos de Casinos y Bétera.

La central hidroeléctrica del Embalse de Benagéber está situada al pie de la presa que constituye dicho embalse, a la margen izquierda del río Turia. Esta central, que recibe el código de 0404 por la Confederación Hidrográfica del Júcar, recibe el agua del embalse de la masa de agua de origen 15.10(Embalse de Benagéber) y la retorna a la masa de agua de destino 15.11(Río Turia: E. Benagéber- E. Loriguilla). La central cuenta con dos turbinas instaladas y un salto bruto de 87,2 metros, lo que le permite generar energía hasta una potencia instalada de 18,9 MW. (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central la recibe la empresa *Iberdrola Renovables, S.A.*



Figura 7: Foto aérea embalse de Benagéber (Extraída de SIA Júcar)

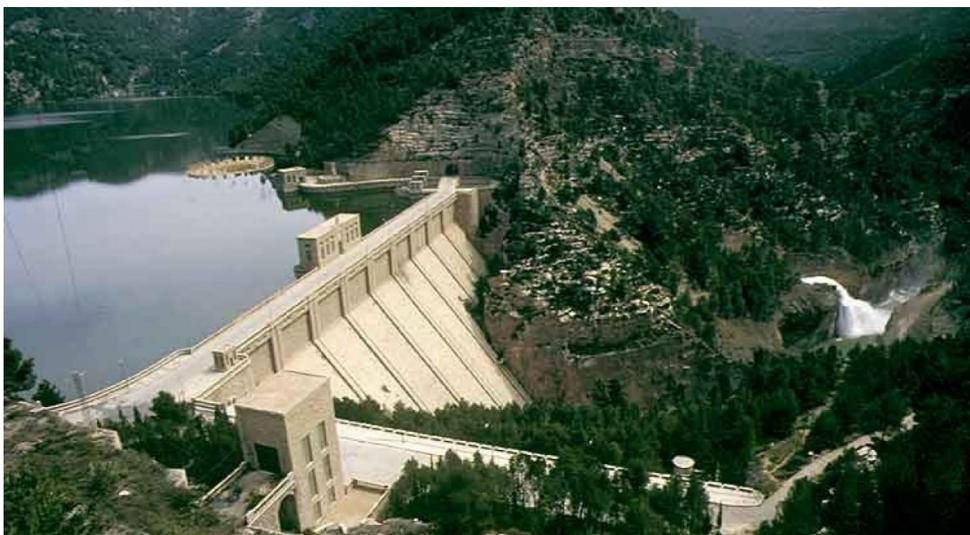


Figura 8: Presa del embalse de Benagéber.

3.4. Central hidroeléctrica de saltos de Domeño.

La central hidroeléctrica de Saltos de Domeño está situada en el margen derecho del río Turia, en el término municipal de Domeño, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España).

La central de Saltos de Domeño está situada en la margen derecha del río Turia, y aprovecha el desnivel que existe entre el canal principal del *Campo del Turia* y el embalse de Loriguilla para conseguir un salto bruto de 125 metros. El agua es derivada directamente a la salida de la central de Benagéber (masa de agua 15.10) y llega a través del citado canal principal del *Campo del Turia* hasta el reintegro de esta agua al propio río Turia próximo al embalse de Loriguilla (masa de agua 15.12), recorriendo 15 km de longitud desde el embalse de Benagéber hasta el depósito de acumulación de la central hidroeléctrica. (DHJ)

Desde dicho depósito, el agua desciende, a partir de una tubería de 2,3 metro de diámetro y 175 metros de longitud, hasta una turbina que producirá una electricidad vertida a la red a través de un parque de transformación de 66 kilovoltios(kV). (Ficha técnica PHJ)

La central de *Saltos de Domeño* consta de un grupo de 20,4 megavatios (MW) de potencia que le permiten producir unos 21.000 megavatios hora (MWh) de energía.

La titularidad de la central hidroeléctrica de Saltos de Domeño, con código 0405 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberenova Promociones, S.A.*



Figura 9: Foto aérea de la Central hidroeléctrica de Saltos de Domeño.

3.5. Central hidroeléctrica del embalse de Loriguilla.

El embalse de Loriguilla se encuentra en la cuenca del río Turia, entre los términos municipales de Chulilla y Loriguilla, a 63 km de la ciudad de Valencia, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España).

El embalse fue un proyecto que surgió en 1926, por un ingeniero de la División Hidráulica del Júcar, y que concluyó que se redactase en abril de 1928 con una capacidad de 21 Hm³.

Tras una gran sequía, el proyecto se retoma en 1946. La Confederación General de Obras Hidráulicas aprobará el proyecto del embalse en 1955 y será asumido por la Dirección General de Obras Hidráulicas, que ordenó a la Confederación Hidrográfica la redacción de un replanteo de la obra para aumentar su capacidad hasta 70.9 Hm³.

Finalmente, la presa se construyó en 1962, luego se seguirían añadiendo algunas obras de detalle, hasta que finalmente se daría todo por finalizado para su inauguración oficial el 27 de noviembre de 1967.

La central hidroeléctrica, se sitúa en la margen izquierda del río Turia, en el pie de la presa de Loriguilla. Consta con una potencia instalada de 4,4 megavatios (MW), con un salto de agua bruto de 45 metros y con tan sólo una turbina.

La central toma el agua del embalse (masa de agua código 15.12) y lo reintegra al propio río Turia tras ser turbinado (masa de agua código 15.13). (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central hidroeléctrica de *Loriguilla*, con código 0408 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Ibernova Promociones, S.A.*

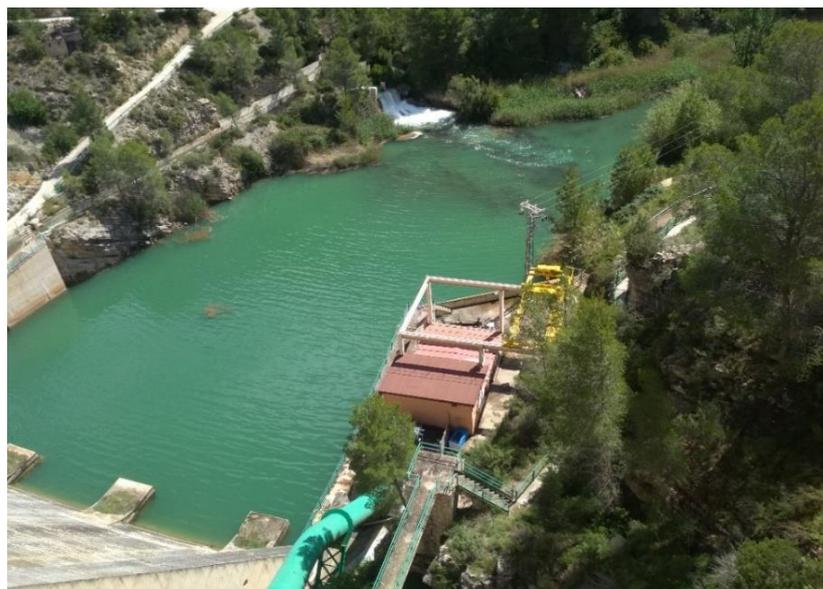


Figura 10: Foto de la central hidroeléctrica de Loriguilla (Foto de autor).

3.6. Central hidroeléctrica de Chulilla.

La central hidroeléctrica de Chulilla está situada en el margen derecho del río Turia, en el término municipal de Chulilla, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España).

La primera concesión de aprovechamiento hidráulico fue concedida a un particular por 1918, a quien se le otorgaría una segunda concesión un año después. En 1920 las concesiones fueron transferidas a la Sociedad Valenciana de Electricidad quien llevó a cabo las obras de construcción de la central. (Ana Planells, 2015)

Se sabe que a principios de 1921 se encontraban terminadas las obras de la sección comprendida entre el azud del Charco Azul y el pueblo de Chulilla y que en la sección aguas debajo de Chulilla se encontraban adelantados los trabajos correspondientes a los canales y se estaban excavando los cimientos de la futura central (Sociedad Valenciana de Electricidad, 1921)

A comienzos de 1922 las obras estaban próximas a su fin, y a pesar de las dificultades económicas que se plantearon, el 8 de diciembre de 1922 se puso en marcha la central hidroeléctrica de Chulilla.

La central de Chulilla cuenta con dos secciones claramente diferenciadas y unidas entre sí por una canal que cruza el pueblo. La primera de ellas se encuentra aguas arriba del núcleo urbano, en el paraje conocido como *Charco Azul* en el que existe un azud. Es allí donde se produce la toma y se deriva el agua por un canal que consta de 4 km de longitud y que se encuentra cubierto en algunas zonas llegando a contar con once tramos de túnel.

Con razón a las características de la central hidroeléctrica de Chulilla, se trata de una central que cuenta con tres turbinas que pueden turbinar un caudal máximo de 11,46 m³/s. Cuenta también con un salto bruto de 38,02 metros que se produce entre el canal de derivación que contiene la masa de agua de origen con código 15.13(Río Turia: E. Loriguilla- Río Sot) y las turbinas que finalmente reintegran todo el caudal a la misma masa de agua. (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central hidroeléctrica de *Chulilla*, con código 0409 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberenova Promociones, S.A.*



Figura 11: Central hidroeléctrica de Chulilla.

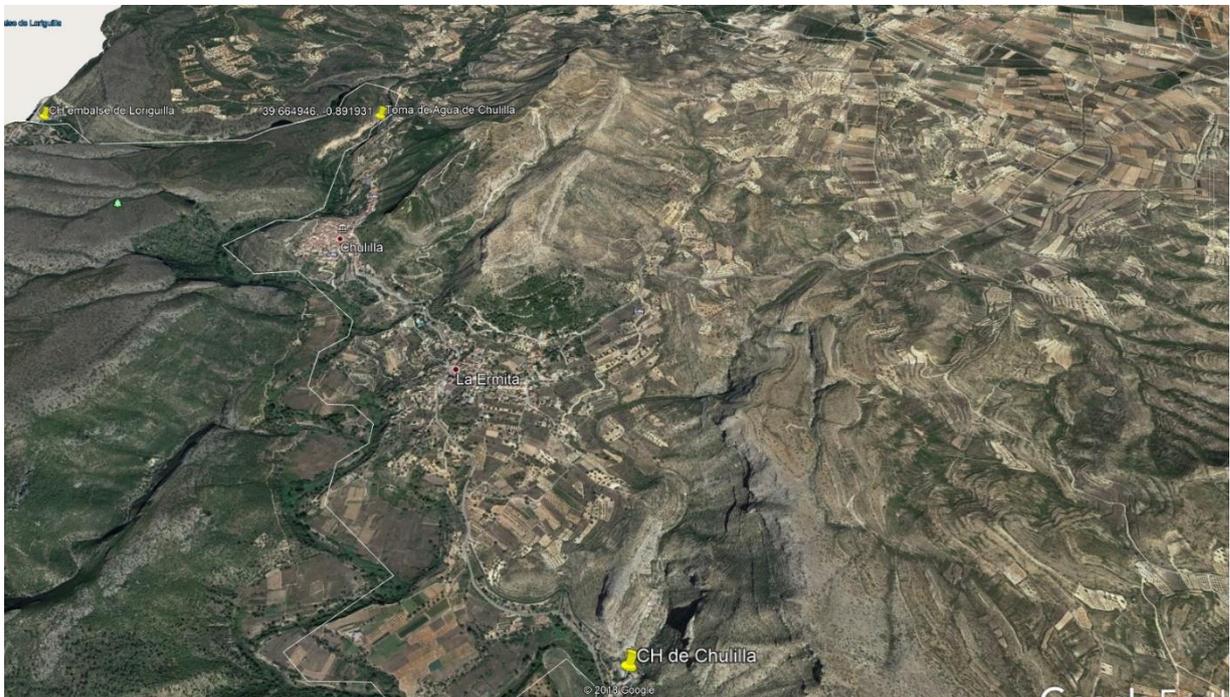


Figura 12: Foto aérea Chulilla. Toma de derivación y central hidroeléctrica

3.7. Central hidroeléctrica de Portlux.

La central hidroeléctrica de Portlux se encuentra en el término municipal de Gestalgar, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España) y adquiere su nombre por la sociedad propietaria de la concesión que Portlux S.A. quien terminó su construcción en 1931. (PHJ 2015)

Se encuentra en un entorno natural privilegiado a los pies de la Peña María y fácilmente visitable ya que cuenta con un sendero que sigue el curso del río y pasa junto a ella.

La central de Portlux, cuenta con un salto bruto de agua de 20,20 metros, con el que, a partir de dos turbinas de la misma potencia consigue una potencia instalada de 1,2 megavatios (MW). El agua es derivada de la masa de agua con código 15.14(Río Turia: Río Sot- Barranco Teulada) y es devuelta a esta misma masa de agua. (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central hidroeléctrica de *Portlux*, con código 0410 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberdrola Renovables, S.A.*



Figura 13: Central hidroeléctrica de Portlux.

3.8. Central hidroeléctrica de Gestalgar.

La central hidroeléctrica de Gestalgar se encuentra en el término municipal de Gestalgar, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España). La documentación consultada no especifica el año de la construcción, pero se sabe que es posterior a 1941, ya que fue entonces cuando se otorgó la concesión y se autorizó la obra (BOE, 8 de marzo de 1941).

Se encuentra próxima a la casa de la Andenia y es la que presenta mayor incomodidad de acceso al no estar en una zona de paso o formar parte de un sendero como el resto.

Gestalgar cuenta con dos turbinas de potencia instalada de 1,120 megavatios (MW) cada una, que le permite tener una potencia total instalada de 2,240 megavatios (MW). Se hace valer de un salto bruto de 21,32 metros de altura para la generación de energía por el paso del agua a través de las turbinas.(PHJ 2015)

Toma el agua derivándola desde la masa de agua 15.14 (Río Turia: Río Sot- Barranco Teulada) en la parte del río Turia anterior al pueblo de Gestalgar, y la reintegra en la misma masa de agua unos kilómetros más adelante, entre los pueblos de Gestalgar y Bugarra. (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central hidroeléctrica de *Gestalgar*, con código 0411 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberdrola Renovables, S.A.*

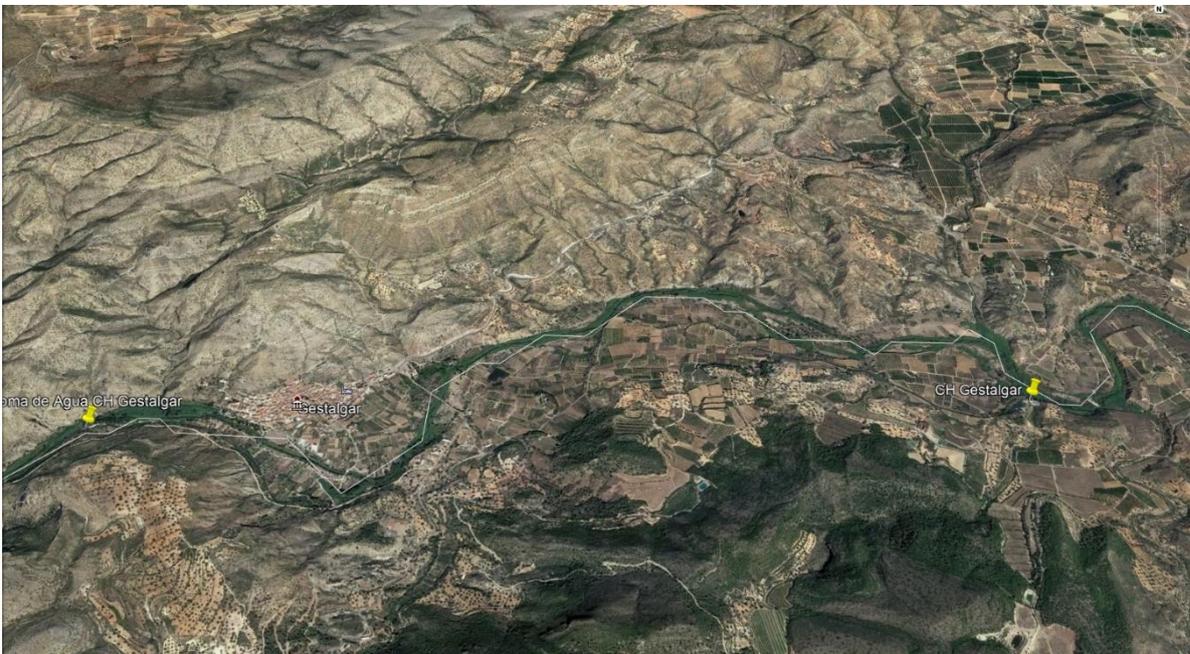


Figura 14: Foto aérea de la toma y la central hidroeléctrica de Gestalgar.

3.9. Central hidroeléctrica de Bugarra.

La central hidroeléctrica de Bugarra se encuentra en el término municipal de Bugarra, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España). Es la más antigua de la batería de minicentrales hidroeléctricas que hay aguas abajo del embalse de Loriguilla.

Bugarra cuenta con dos turbinas de potencia instalada de 0,320 megavatios (MW) cada una, que le permite tener una potencia total instalada de 0,64 megavatios (MW). Se hace valer de un salto bruto de 8,65 metros de altura para la generación de energía por el paso del agua a través de las turbinas. (PHJ 2015)

Toma el agua derivándola desde la masa de agua 15.14 (Río Turia: Río Sot- Barranco Teulada) en la parte del río Turia posterior a la central hidroeléctrica de Gestalgar, y la reintegra en la misma masa de agua unos metros más adelante, próxima al pueblo de Bugarra e inmediatamente antes de la estación de aforo de Bugarra. (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central hidroeléctrica de *Bugarra*, con código 0412 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberdrola Renovables, S.A.*



Figura 15: Central hidroeléctrica de Bugarra (Foto de autor).

3.10. Central hidroeléctrica de Pedralba.

La central hidroeléctrica de Pedralba se encuentra en el término municipal de Pedralba, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España). La construcción data de 1924, aunque la primera concesión se concedió en 1902 y en ella ya se indicó la obligación de “suministrar las acequias del Molino de Pedralba y los de la vega de Valencia”.

La central de Pedralba guarda una estrecha relación con las acequias de la zona, ya que se situó aprovechando el trazado de la acequia Mayor. Esta última constituye uno de los elementos más representativos de la población, ya que servía de lavadero, regaba las huertas y movía el molino además de ser la causa de la construcción de puentes de acceso a las viviendas que dan al pueblo esa imagen tan característica. (Ana Planells, 2015)

Pedralba cuenta con dos turbinas de potencia instalada 0,640 megavatios (MW) una de ellas y 0,340 megavatios (MW) la otra, que le permite disponer de una potencia instalada total de 0,98 megavatios (MW). (PHJ 2015)

Se hace valer de un salto de agua bruto de 7,55 metros para la generación de energía por el paso del agua a través de las turbinas.

Toma el agua derivándola desde la masa de agua 15.14 (Río Turia: Río Sot- Barranco Teulada) en la parte del río Turia posterior a la ciudad de Bugarra, y la reintegra en la misma masa de agua unos metros más adelante, entre los pueblos de Bugarra y Pedralba. (Ficha técnica PHJ)

La titularidad de la central hidroeléctrica de *Pedralba*, con código 0413 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberdrola Renovables, S.A.*



Figura 16: Central hidroeléctrica de Pedralba. (Foto de autor)



Figura 17: Central de Pedralba. Canal de alimentación, central y construcciones auxiliares. (Foto de autor)

3.11. Central hidroeléctrica de La Pea.

La central hidroeléctrica de La Pea se encuentra en el término municipal de Villamarchante, provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España). Fue construida en 1906, siendo una de las primeras plantas de la zona.

La central está dotada de tres grupos turbina-alternador trifásicos síncronos iguales, tipo Francis horizontal, con una potencia instalada cada uno de ellos de 0,360 megavatios (MW), lo que proporciona una potencia total instalada a la central de 1,07 megavatios (MW).

Se hace valer de un salto de agua bruto de 16,7 metros para la generación de energía por el paso del agua a través de las turbinas. (Ficha técnica PHJ)

Toma el agua derivándola desde la masa de agua 15.14 (Río Turia: Río Sot- Barranco Teulada) en la parte del río Turia posterior a la ciudad de Pedralba, y la reintegra en la misma masa de agua unos metros más adelante.

La titularidad de la central hidroeléctrica de *La Pea*, con código 0414 (según la *Demarcación Hidrológica del Júcar*) pertenece actualmente de la empresa *Iberdrola Renovables, S.A.*

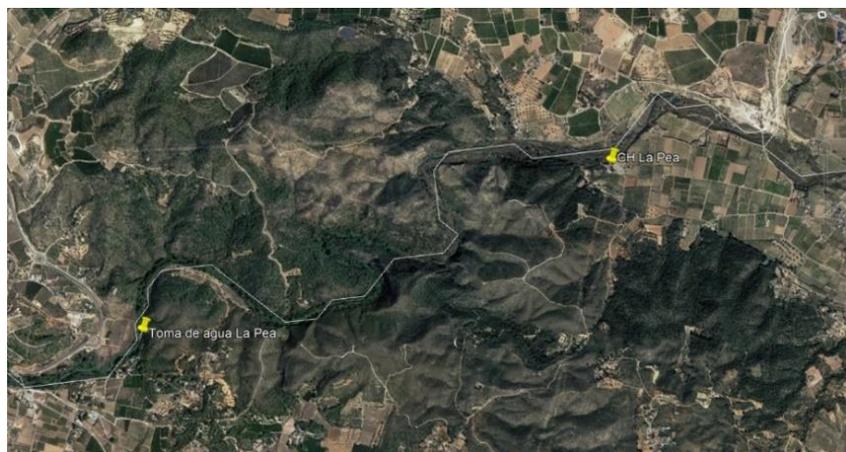


Figura 18: Foto aérea La Pea. Toma de derivación y central hidroeléctrica.

3.12. Unidades de aforo. (UDA)

A lo largo del río Turia, se encuentran una serie de estaciones de aforo que serán de importancia para el estudio de los caudales circulantes por el río y la influencia que estos tienen sobre las centrales hidroeléctricas.

Uno de los primeros aforos que se encuentran es el aforo de “Los Santos”, en el municipio de Castielfabib y aguas debajo de la central hidroeléctrica de Castielfabib. Se encuentra en el río Ebrón, un afluente del río Turia, correspondiente a la masa de agua 15.06.02.01.



Figura 19: Estación de aforo de Castielfabib.

La siguiente estación de aforo se encuentra aguas abajo del embalse de Loriguilla, en el municipio de Chulilla y próxima a el azud de derivación para la central hidroeléctrica de Chulilla. Se encuentra en el propio río Turia y pertenece a la masa de agua 15.13.



Figura 20: Estación de aforo de Loriguilla. (Foto de autor)

Y el último de los aforos que serán de interés para nuestro estudio será el aforo de Bugarra, dispuesto aguas abajo del reintegro de la central hidroeléctrica de Bugarra y aguas arriba del azud de derivación de la central hidroeléctrica de Pedralba. Se sitúa en el municipio de Bugarra y pertenece a la masa de agua 15.14. (Ministerio de fomento 2015-2016)



Figura 21: Estación de aforo de Bugarra.



Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia



Tras separar en tramos el río y diferenciar las limitaciones actuales de cada tramo, se hará un análisis estadístico para cada una de las centrales individualmente, con el fin de obtener las repercusiones económicas que la subida del caudal ecológico supondrá a cada una de las masas de agua. Finalmente, se analizará el conjunto de cada tramo, para conocer el alcance económico total que supondría subir el caudal ecológico a toda la masa de agua.

Para realizar el análisis individual de cada tramo del río, se empleará el procedimiento a seguir que se muestra en la *figura 22*. El análisis se dividirá en tres escenarios diferenciados los cuales se explica a continuación:

- **Análisis de datos:** Se dividirá en tres partes.
 - Datos hidrológicos: Corresponde a los datos propios de la hidrología del río, así como caudales diarios (Se empleará un espectro de 30 años), caudales medios, caudales en régimen natural, e idoneidad de especies habitantes en el río.
 - Datos ambientales: Importancia en los caudales ecológicos establecidos en el río en la actualidad (PHJ 2015), las tasas de cambio y los kilómetros afectados por las derivaciones de agua para aprovechamientos hidroeléctricos.
 - Datos hidroeléctricos: Haciendo referencia a las características propias de cada central hidroeléctrica, así como el salto de agua empleado, la potencia instalada, la potencia de la que consta cada turbina, el tipo de turbina, los kilómetros que recorre la derivación y los aforos próximos a cada central para estimar los caudales empleados en la simulación estadística.
- **Esquema de la central hidroeléctrica:** Se dispondrá de un esquema especificativo sobre el funcionamiento de cada una de las centrales, donde se indicará, de forma gráfica, donde se encuentra la toma, cuantos kilómetros se deriva, y el tipo de central que se emplea.
- **Curvas de caudales clasificados:** Pretenden establecer una relación entre probabilidad y caudal, para conocer la probabilidad de ocurrencia de la serie de caudales de 30 años y con esta poder establecer un modelo estadístico clásico que consiste en el ajuste de una función de distribución de una serie de datos de caudales. (Método de la probabilidad empírica de *Weibull*)
- **Simulación para distintos escenarios:** Mediante la obtención de la curva de caudales clasificados, empleando los datos de los aforos más cercanos a cada central, y asumiendo el margen de error que puede producir el ciclo de pérdidas/ganancias de un río, se establece un rango de turbinación para cada central. Para esto, se deberá tener en cuenta al caudal máximo turbinable y el caudal mínimo turbinable por cada una de las centrales, así como el caudal ecológico que actúe sobre la masa de agua donde la central se esté situada. Se evaluarán distintos escenarios, variando los caudales ecológicos del río en el proceso de simulación. Los escenarios serán los siguientes
 - En situación inicial: Previo a la aprobación del Plan Hidrográfico del Júcar de 2015 (PHJ 2015-2021), es decir, sin la consideración de ningún caudal ecológico mínimo en el río. Se evaluarán los rangos de turbinación de

- cada central hidroeléctrica para la serie de caudales de 30 años considerando un $Q_{eco} = 0$ (m^3/s)
- En situación de caudales ecológicos PHJ: Análisis considerando los caudales ecológicos mínimos que estipula el Plan Hidrográfico del Júcar de 2015 (PHJ 2015-2021). Se evaluará el rango de turbinación de cada central hidroeléctrica para la serie de caudales de 30 años considerando el Q_{eco} respectivo para cada masa de agua.
 - En situación futura (1): Se evaluará una situación futura aumentando el caudal ecológico al doble del actual estipulado en el Plan Hidrográfico del Júcar 2015 (PHJ 2015-2021). Se considerarán los nuevos caudales ecológicos y se evaluará el rango de turbinación de cada central hidroeléctrica para la serie de caudales de 30 años considerando un $Q_{eco} * 2$.
 - En situación futura (2): Se evaluará una situación futura aumentando el caudal ecológico al triple del actual estipulado en el Plan Hidrográfico del Júcar 2015 (PHJ 2015-2021). Se considerarán los nuevos caudales ecológicos y se evaluará el rango de turbinación de cada central hidroeléctrica para la serie de caudales de 30 años considerando un $Q_{eco} * 3$.
- **Obtención de la producción y valoración económica:** Una vez se tenga los distintos escenarios posibles, se calculará la potencia diaria para cada caudal de la distribución de caudales de 30 años, teniendo en cuenta los caudales máximos turbinables, los mínimos turbinables y los caudales ecológicos. Sabiendo cada potencia, y multiplicando cada una de las potencias para cada caudal, por su probabilidad de ocurrencia por horas en un año, se sacará la producción para cada uno de los caudales. Y finalmente, sumando todas las producciones, se tendrá la producción anual potencial de cada central para cada escenario. Con esto se estimará la repercusión económica sobre cada una de las centrales en los diferentes escenarios planteados.
- **Validación de resultados:** Se cotejarán los datos obtenidos con los datos reales de producción proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) e Iberdrola. El objetivo de la valoración de resultados es obtener un índice de error y corregir los valores de las centrales con resultados anómalos o lejos de la realidad.

5. Aplicación.

Para la aplicación se realizará, mediante la metodología antes expuesta, el análisis de las repercusiones para una de las centrales con las que cuenta el río Turia, más concretamente la central hidroeléctrica de Chulilla. Tras explicar la aplicación sobre esta central se mostrarán las repercusiones económicas que supone la subida de los caudales ecológicos para cada una de las masas de agua estudiadas a lo largo del río.

5.1. Central hidroeléctrica de Chulilla.

5.1.1. Datos medioambientales.

La central hidroeléctrica de Chulilla se encuentra en la masa de agua 15.12. (Río Turia: Embalse de Loriguilla- río Sot) (PHJ 2015). Esta central toma el agua del azud situado en el *Charco azul*, zona próxima al municipio de Chulilla, contando con un caudal ecológico de 1,2 m³/s.

Haciendo un análisis de las características medioambientales cabe que se valoren dos cosas. En primer lugar, se han estudiado las características hidrológicas del río, los caudales que circulan y los caudales ecológicos establecidos actualmente para la correcta conservación de los ríos. En segundo lugar, se han tenido en cuenta los datos sobre las especies habidas en el río, así como mencionar la idoneidad de habitabilidad con la que dichas especies cuentan.

Los objetivos medioambientales en las masas de agua naturales superficial tipo río se han determinado conforme a lo que marca la IPH y según lo descrito en el anejo 12 de la PHJ, estableciendo en función del ecotipo, unos umbrales para los indicadores biológicos, físico químicos y químicos. Para las masas de agua muy modificadas y artificiales se fija un potencial ecológico. Siguiendo las directrices de la Dirección General del Agua, también se recoge el resultado del análisis del documento “Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España” (VV.AA., 2009).

Con respecto a las especies piscícolas que habitan esta masa de agua cabe destacar las siguientes:

- *Luciobarbus guiraonis* (barbo de montaña).

Las funciones de idoneidad utilizadas, tanto para alevín, juvenil y adulto, fueron las elaboradas por Martínez Capel en la Demarcación del Júcar en el año 2006 (MartínezCapel, F. y colaboradores, 2006). En aquellos tramos con un número de orden de Strahler superior a 4 y en aquellas ubicadas aguas abajo del embalse de Cortes, se utilizaron las curvas realizadas por el mismo autor en el 2000 en la cuenca del Tajo para el barbo común (*Barbus bocagei*) (Martínez-Capel, F, 2000). (PHJ 2015)

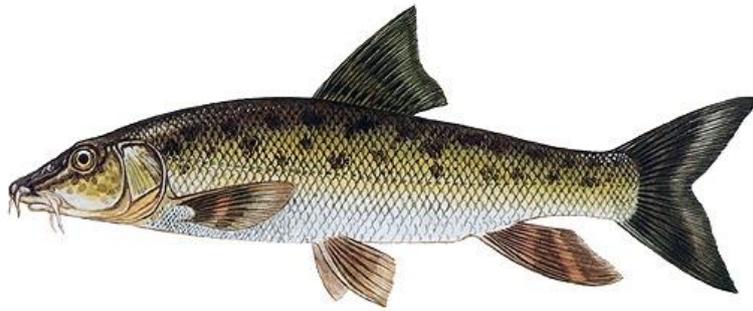


Figura 23: *Luciobarbus guiraonis* (Barbo de montaña)

➤ *Squalius/Leuciscus pyrenaicus* (cacho).

Las funciones de idoneidad utilizadas, tanto para alevín y juvenil-adulto, fueron las elaboradas por Martínez Capel en la Demarcación del Júcar en el año 2006 (MartínezCapel, F. y colaboradores, 2006). En aquellos tramos con un número de orden de Strahler superior a 4 y en aquellas ubicadas aguas abajo del embalse de Cortes, se utilizaron las curvas realizadas por el mismo autor en el 2000 en la cuenca del Tajo para la misma especie (Martínez-Capel, F, 2000). (PHJ2015)



Figura 24: *Leuciscus pyrenaicus* (Cacho).

5.1.2. Datos hidrológicos.

Considerando una serie de caudales, extraídos de la *Red oficial de estaciones de aforo* (ROEA), se observan las características hidrológicas del río en relación con su régimen de caudales para un periodo estadístico de 30 años, así como una breve observación sobre la diferencia entre el caudal medio circulante en este periodo estadístico y el caudal en régimen natural que contenía el río.

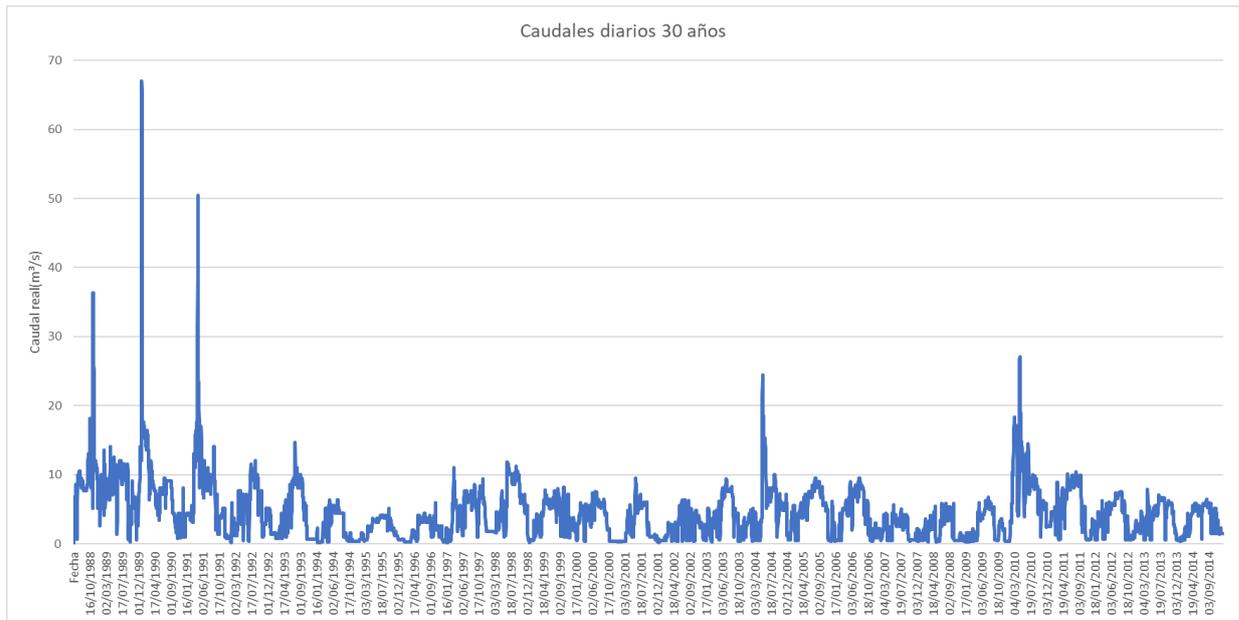


Figura 25: Gráfica de caudales diarios de los últimos 30 años.

En la gráfica de la figura 25, obtenida a partir del aforo de Loriguilla, situado aguas arriba de la central hidroeléctrica de Chulilla, se puede apreciar los caudales diarios de los últimos 30 años. Cabe destacar que este gráfico representa los caudales previos a la aprobación del plan hidrológico de cuenca. Esto representa que con la aprobación de una serie de caudales ecológicos a partir del PHJ 2015, se pretende mejorar el estado ecológico de las masas de agua, como se puede apreciar en la figura 26, donde los caudales mínimos no bajan del caudal ecológico fijado en $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

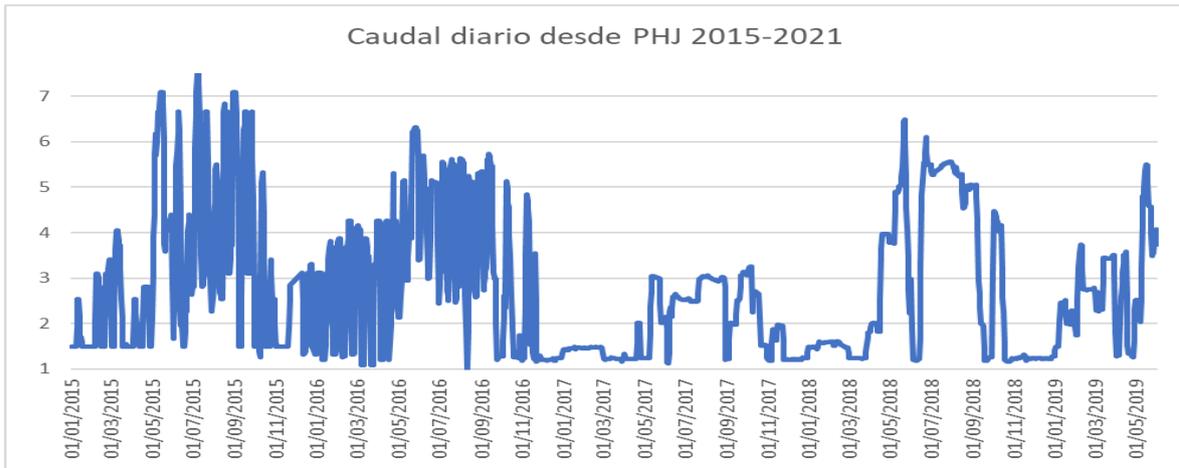


Figura 26: Caudales diarios desde la aprobación del PHJ 2015-2021

5.1.3. Datos hidroeléctricos.

La central hidroeléctrica de Chulilla, situada en el municipio de Chulilla, a 63 km de la ciudad de Valencia, cuenta con una potencia instalada de 3,12 MW. Esta potencia se la dan tres turbinas de mismas características, cada una de ellas con una potencia de 1,040 MW. La central, que deriva el agua desde el azud del charco azul, mediante unos canales que suponen unos 4 kilómetros de derivación, cuenta en su parte final de un salto de agua de 38,02 m.

1. IDENTIFICACIÓN					
Código:	0409	Nombre:	CHULILLA		
Sistema de explotación:	Turia				
Río:	Río Turia				
Municipio:	46112 Chulilla				
Titular:	Iberdrola Renovables, S.A.				
Identificación geográfica de la factoría (UTM)	X: 682.290	Y: 4.389.725	Masa de origen	15.13	
			Masas de destino	15.13	
2. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES					
Tecnología:	Potencia instalada (MW)		Clave Registro MITYC	Salto bruto (m)	
	Grupo 1:	1,040	RO1-0156		
	Grupo 2:	1,040	RO1-0157	38,02	
Rég. Ord. Fluyente	Grupo 3:	1,040	RO1-0158		
3. DEMANDA					
Identificación geográfica de los puntos de extracción (UTM)	1	X: 680.993 Y: 4.393.056	Identificación geográfica de los puntos de vertido (UTM)	1	X: 682.216 Y: 4.389.391
	2	X: Y:		4	X: Y:
				5	X: Y:
				6	X: Y:
Demanda y retorno (m³/s)	Caudal máximo	Turbinado	Canal		
	Estado actual	11,46	11,5		

Figura 27: Ficha identificativa de la central hidroeléctrica de Chulilla. (PHJ)

En la figura 27 se puede ver toda la información necesaria sobre la central hidroeléctrica de Chulilla, desde caudales máximos turbinables, empresa titular de su explotación, código identificativo para la *Confederación Hidrográfica del Júcar* (CHJ), así como las características hidroeléctricas antes comentadas como potencia instalada, salto de agua y los grupos de turbinas.

5.1.4. Curvas de caudales clasificados y esquema de funcionamiento.

Tras la recolección y análisis de datos, se emplean los datos hidrológicos disponibles, para la realización de una serie estadística, donde empleando la relación de caudal y probabilidad, se pretende evaluar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los caudales de una serie de 30 años.

Para la realización de esta serie, se empleará en este caso, el aforo de Loriguilla, situado unos metros aguas arriba de la toma de derivación de la central hidroeléctrica que se ha dispuesto estudiar.



Figura 28: Esquema de la central hidroeléctrica de Chulilla

En la figura 28, se puede ver un esquema del funcionamiento de la central de Chulilla, desde el aforo que hay aguas arriba que se empleará para la evaluación de los datos hidrológicos, como la situación de la derivación y reintegro del agua turbinada.

La curva de caudales clasificados resulta del análisis de la serie histórica de caudales medios diarios en el sitio de captación de un proyecto de suministro de agua, en este caso la serie histórica representada es de 30 años. Con esta serie histórica, se considera que es lo suficientemente buena para que la curva de duración sea representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto se puede emplear para pronosticar el comportamiento del régimen de caudales futuro.

Para la estimación de la curva, se va a emplear la probabilidad empírica de *Weibull*, con el fin de asignar un valor acumulado de probabilidad a cada uno de los caudales de la

serie de 30 años, desde el mayor al más pequeño. Así podrá representar la curva de caudales siguiente:

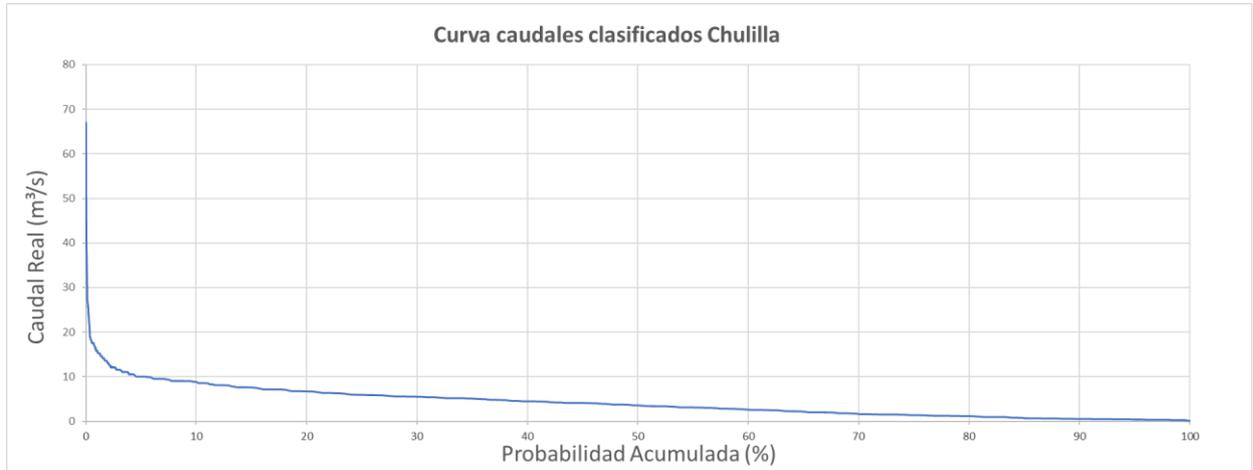


Figura 29: Curva de caudales clasificados para la CH de Chulilla.

En la figura 29, se puede apreciar la distribución de la curva de caudales clasificados de la central hidroeléctrica de Chulilla, donde los caudales más grandes representados son de 67 m³/s y el caudal medio de la serie representada es aproximadamente de 4,20 m³/s.

La curva servirá para analizar, a partir de la serie de caudales, y empleando las características hidrológicas con las que cuenta la central hidroeléctrica de Chulilla, los distintos escenarios que se pueden plantear para los distintos caudales máximos y caudales mínimos que se pretenden estudiar.

5.1.5. Simulación para los distintos escenarios.

Una vez recogidos los datos hidrológicos proporcionados por los aforos de las estaciones SAIH y ROEA, se comenzará con la simulación de los escenarios pasados, presentes y futuros. Estos escenarios, vendrán ligados a los distintos caudales ecológicos que se pretende estudiar en este estudio, y los rangos de turbinación efectivos con los que podrá trabajar la central para cada uno de estos caudales ecológicos.

Para esta simulación estadística se emplearán cuatro escenarios clave en la consecución del estudio y que nos proporcionan información suficiente para la posterior evaluación de resultados. Los escenarios que se van a estudiar son los siguientes:

- Situación inicial: La situación anterior a la aprobación de el Plan Hidrológico del Júcar 2015-2019. Es decir, la situación previa a la aprobación de los caudales ecológicos para las distintas masas de agua que se tratan en este estudio.
- Caudal ecológico actual: La situación actual, con los caudales ecológicos fijados en el Anejo 5 del Plan Hidrológico del Júcar 2015-2019. Se establecerán los nuevos caudales máximos y mínimos de turbinación, que se han visto modificados por la obligación de dejar unos caudales mínimos en la masa de agua río.

- Caudal ecológico futuro 1: Aquí se plantea una de las situaciones futuras, es decir, con unos caudales ecológicos el doble que los actuales en todas las masas de agua de influencia por los recursos hidroeléctricos. Se establecerán los nuevos rangos de turbinación máximos y mínimos, que se han visto modificados por el aumento del caudal mínimo que se ha de dejar en la masa de agua río.
- Caudal ecológico futuro 2: Aquí se plantea la segunda de las situaciones futuras, es decir, con los caudales ecológicos el triple de los actuales para todas las masas de agua de influencia en los recursos hidroeléctricos. Se establecerán los nuevos rangos de turbinación máximos y mínimos, que se han visto modificados por el aumento del caudal mínimo que se ha de dejar en la masa de agua río.

Al realizar un análisis de estos cuatro escenarios, permite tener una imagen general sobre las consecuencias ocurridas con los aumentos de los caudales mínimos que se deben dejar circulando por el río, y permite la posibilidad de extrapolar entre los distintos escenarios cuando se busca la solución óptima.

5.1.5.1. Situación inicial.

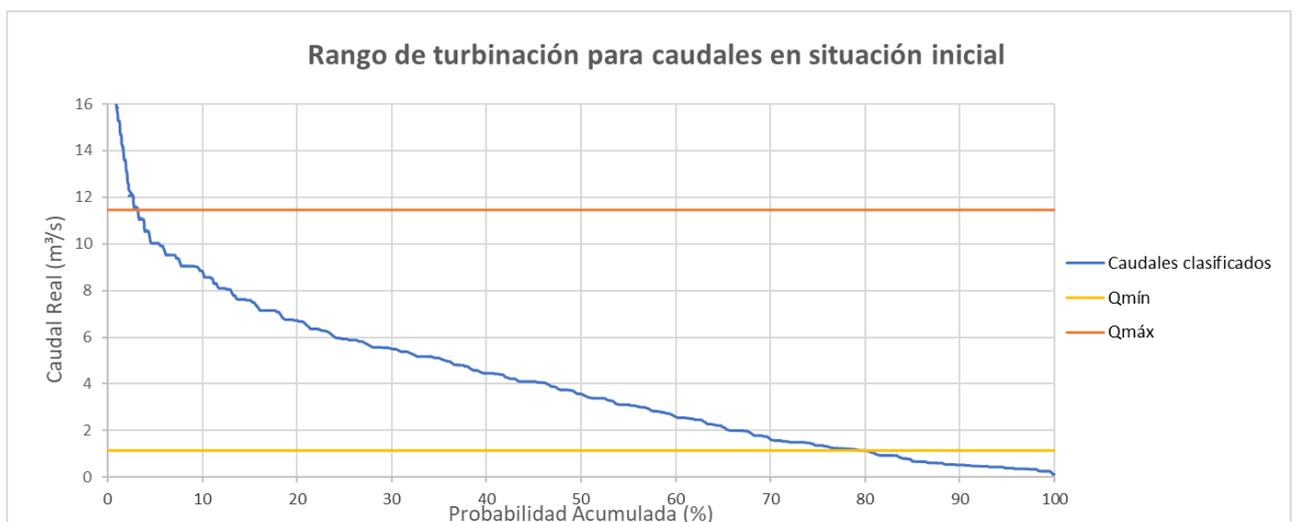


Figura 30: Rango de turbinación para la situación inicial.

Para la situación inicial se expone el rango de turbinación para los caudales de la serie de 30 años, poniendo sobre la curva de caudales clasificados los caudales máximos y mínimos que puede turbinar la central hidroeléctrica (extraído de la PHJ). Para los caudales mayores al caudal máximo de turbinación se supondrá que el caudal turbinado es el máximo, y para los caudales inferiores a el caudal mínimo de turbinación, se supondrá que lo turbinado será 0, pues para esos caudales tan pequeños la central no produce energía.

- Caudal máximo turbinable = 11,46 m³/s
- Caudal mínimo turbinable = 1,15 m³/s

5.1.5.2. Situación con caudal ecológico actual.

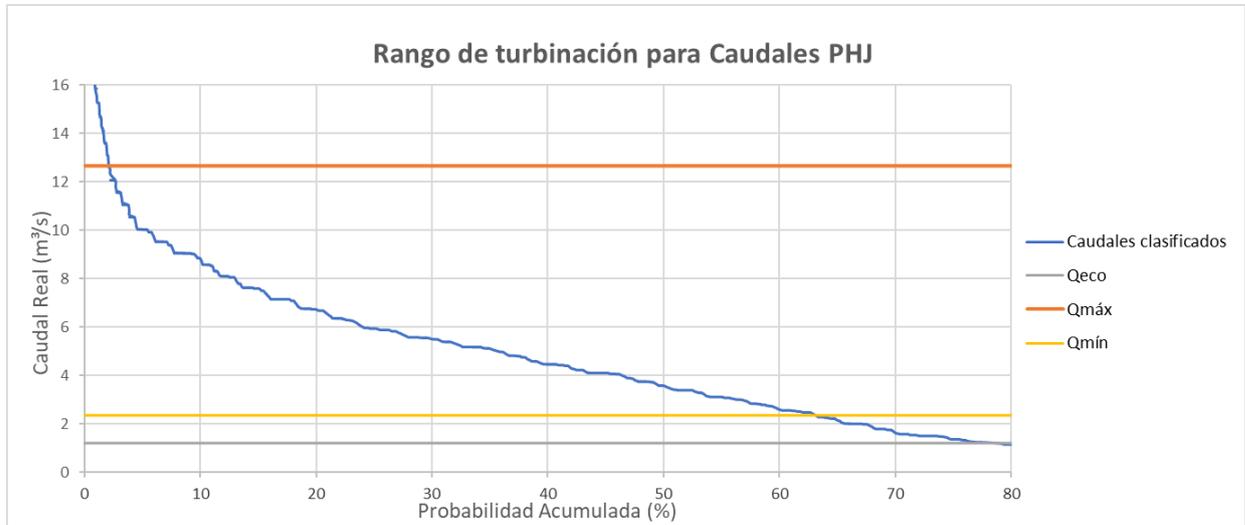


Figura 31: Rango de turbinación con la entrada de caudales ecológicos. (PHJ 2015-2019)

Para la situación actual, es decir, con los caudales ecológicos establecidos desde la entrada del Plan Hidrológico del Júcar, se expone sobre la curva de caudales clasificados tanto el caudal ecológico, como el nuevo caudal máximo y nuevo caudal mínimo, que nos proporcionará el rango de turbinación para este nuevo escenario. Con la entrada de un caudal ecológico mínimo, habrá una cantidad de caudal que nunca se podrá turbinar, por lo tanto, se ha de contar con que ahora el caudal mínimo ha de ser respetando la prescripción ecológica, al igual que el máximo. Todos los caudales superiores al caudal máximo se supondrá que son iguales a este, y los inferiores al caudal mínimo se supondrá que son 0, pues la central no puede turbinar menos que el caudal mínimo.

Con la implantación de un caudal ecológico, como se podrá ver en la figura 31, se reduce el número de caudales turbinables de la serie de 30 años se reduce tanto por arriba como por abajo, pues al establecer un caudal mínimo se dejarán de poder turbinar muchos de los caudales más pequeños circulantes por el río, por la necesidad de dejar el caudal necesario para la correcta conservación de los ecosistemas.

- Caudal ecológico = $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$
- Caudal máximo turbinable = $11,46 \text{ m}^3/\text{s}$
- Caudal mínimo turbinable = $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$

5.1.5.3. Situación caudal ecológico futuro 1.

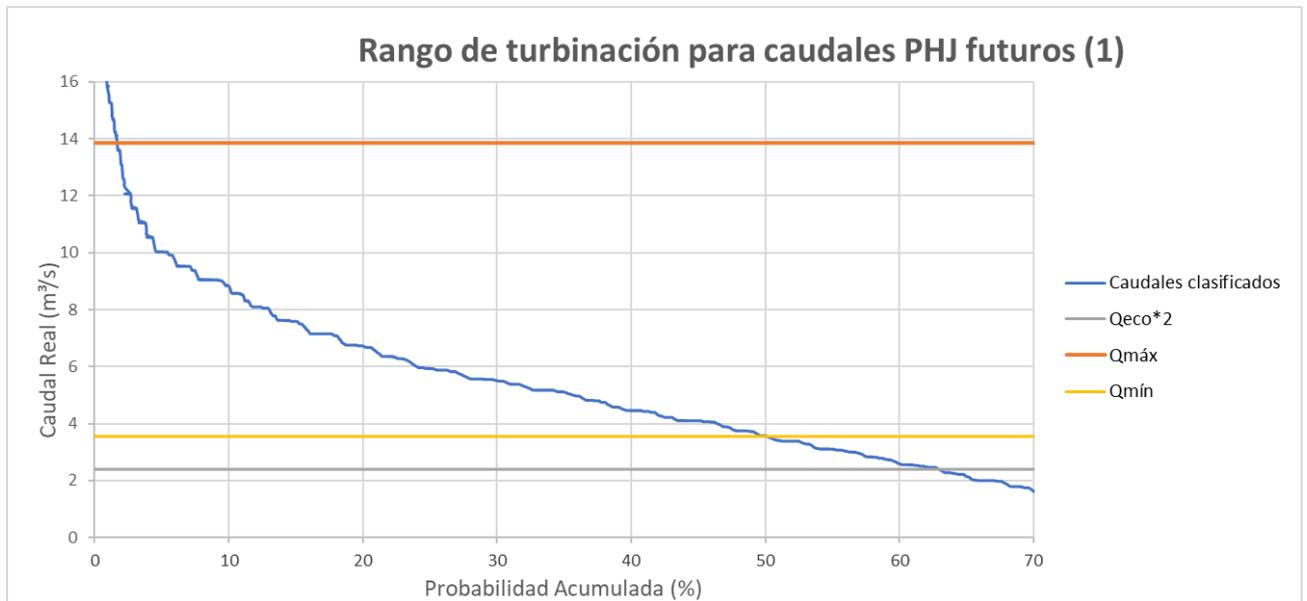


Figura 32: Rango de turbinación para un caudal ecológico futuro propuesto.

La situación de un caudal ecológico futuro es uno de los primeros escenarios planteados por nosotros para el estudio de consecuencias producidas con el aumento de los caudales ecológicos con el fin de la conservación de las masas de agua.

Para esta situación, empleando un caudal ecológico que supone el doble del caudal ecológico fijado actualmente en el Plan Hidrológico del Júcar para esta masa de agua, se expone sobre la curva de caudales clasificados de la serie de 30 años, el caudal mínimo empleado, y el rango de turbinación descrito por el caudal mínimo de turbinación y el caudal máximo de turbinación de esta central. Los caudales que sean superiores al caudal máximo de turbinación se supondrán que son igual al propio caudal máximo de turbinación, y los caudales inferiores al caudal mínimo de turbinación se supondrán que son igual a 0.

Como se puede comprobar en la figura 32, con la inserción de un nuevo caudal ecológico, que supone el doble del actual, se reducen los caudales que se pueden turbinar dentro de la serie de 30 años, sobre todo los caudales más pequeños, pues reside una obligación de dejar el caudal ecológico en la masa de agua río.

- Caudal ecológico = 2,4 m³/s
- Caudal máximo turbinable = 11,46 m³/s
- Caudal mínimo turbinable = 1,15 m³/s

5.1.5.4. Situación caudal ecológico futuro 2.

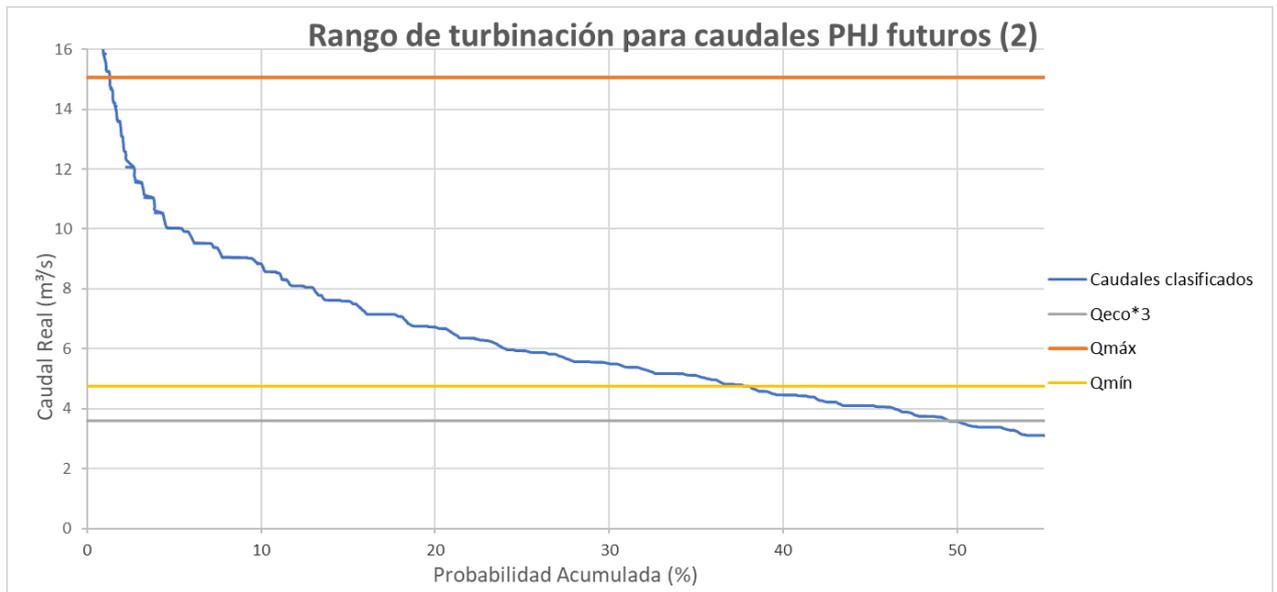


Figura 33: Rango de turbinación para un caudal ecológico futuro propuesto 2.

La situación de un caudal ecológico futuro 2 es otro de los escenarios planteados por nosotros para el estudio de consecuencias producidas con el aumento de los caudales ecológicos con el fin de la conservación de las masas de agua.

Para esta situación, empleando un caudal ecológico que supone el triple del caudal ecológico fijado actualmente en el Plan Hidrológico del Júcar para esta masa de agua, se expone sobre la curva de caudales clasificados de la serie de 30 años, el caudal mínimo empleado, y el rango de turbinación descrito por el caudal mínimo de turbinación y el caudal máximo de turbinación de esta central. Los caudales que sean superiores al caudal máximo de turbinación se supondrán que son igual al propio caudal máximo de turbinación, y los caudales inferiores al caudal mínimo de turbinación se supondrán que son igual a 0.

Fijando un caudal ecológico como este, que supone tres veces el actual estipulado por el Plan Hidrológico del Júcar, se reduce sustancialmente el rango de caudales de la serie de 30 años que van a poder ser turbinados, tal y como se aprecia en la figura 33. Esto supondría un gran avance ecológico en la conservación de los ecosistemas, pero tal y como se puede valorar en la figura 33, tan solo se podrán turbinar aproximadamente un 30% de los caudales de la serie de 30 años.

- Caudal ecológico = 3,6 m³/s
- Caudal máximo turbinable = 11,46 m³/s
- Caudal mínimo turbinable = 1,15 m³/s

5.1.6. Cálculo de la potencia y la producción.

Durante la simulación para los distintos escenarios planteados en el punto anterior, se ha calculado la potencia potencial producida por cada uno de los distintos escenarios para la serie estadística de datos de los 30 años. Para el cálculo de la potencia de la serie de datos de ha empleado la siguiente fórmula:

$$Pe(W) = \rho \cdot 9.81 \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_m \cdot Q \cdot H$$

- Pe = potencia en vatios (W)
- ρ = densidad del fluido en kg/m^3 (agua $1,000 \text{ kg}/\text{m}^3$)
- η_t = rendimiento de la turbina hidráulica (entre 0.75 y 0.94)
- η_g = rendimiento del generador eléctrico (entre 0.92 y 0.97)
- η_m = rendimiento mecánico del acoplamiento turbina alternador (0.95/0.99)
- Q = caudal turbinable en m^3/s
- H = desnivel neto disponible en la presa entre aguas arriba y aguas abajo, en metros (m)

Figura 34: Formula para el cálculo de la potencia de una central hidroeléctrica.

Dónde se ha calculado la potencia para cada uno de los datos de caudal de la serie de 30 años, asignándole unos coeficientes estimados (η_t, η_g, η_m), dentro de los parámetros establecidos, y empleando el salto propio de la central hidroeléctrica en cuestión (H).

Una vez se ha obtenido la potencia para cada uno de los caudales, teniendo en cuenta que los caudales superiores al caudal máximo de turbinación $Q = Q_{\text{máx}}$, y que en los caudales que sean inferior al caudal mínimo de turbinación $Q = 0$, se obtiene la producción. Para esto, empleando la fórmula de probabilidad empírica de Weibull, se extrae la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los caudales de la serie de 30 años, y se multiplicarán por las horas que tiene un año, con el fin de obtener la probabilidad de ocurrencia horaria de cada caudal para un año potencial. De esta forma, el producto entre la potencia para cada uno de los caudales de la serie empírica de 30 años y la probabilidad de ocurrencia de cada uno de estos en un año potencial proporcionará la producción para cada uno de los caudales estudiados.

Estudiando los distintos escenarios, es importante calcular la producción anual potencial, la producción máxima potencial y el factor de uso de cada uno de estos escenarios. Para obtener la producción anual potencial, se realizará un sumatorio de las producciones calculadas anteriormente para cada uno de los caudales. La producción máxima potencial se obtendrá con el producto de la producción máxima de la serie y las horas totales de un año ($365 \text{ años} \cdot 24 \text{ horas}$). Y el factor de uso será el cociente entre la producción anual potencial y la producción máxima potencial, multiplicado todo por 100 se quiere obtener el valor porcentual. (ITE-UPV, 2010)

5.1.6.1. Producción para la situación inicial.

Con Q _{mín} (PHJ)	
Horas totales	8760
Producción anual (MWh)	8890
Producción máxima (MWh)	25836
Factor de uso(%)	34

Tabla 4: Producción para la situación inicial.

Como se explicaba en el punto 5.1.6, para el cálculo de la producción, en primer lugar, se calculará la potencia para cada uno de los caudales de la serie estadística de datos de caudales de 30 años. Con la potencia para cada uno de estos caudales, multiplicada por la probabilidad de ocurrencia horaria dentro de un año potencial, se obtendrá la producción asignada a cada uno de estos valores de potencia vinculados a los caudales. Una vez obtenidos estos cálculos, realizando el sumatorio de todos los datos de producción, se obtiene la producción potencial anual para la serie estadística empleada. De esta misma forma, con el producto del mayor de las producciones, es decir, la vinculada al mayor caudal, y las horas totales habidas en un año, se obtiene la producción máxima potencial de la central hidroeléctrica. De este modo, haciendo el cociente entre estos dos valores se calcula el factor de uso de la central hidroeléctrica con las condiciones de caudal mínimo, caudal máximo y caudal ecológico que tienen en este escenario.

5.1.6.2. Producción para situación con caudal ecológico.

Con Q _{eco} (PHJ)	
Horas totales	8760
Producción anual (MWh)	6700
Producción máxima (MWh)	28541
Factor de uso(%)	23

Tabla 5: Producción para la situación con caudal ecológico.

Como se explicaba en el punto 5.1.6, para el cálculo de la producción, en primer lugar, se calculará la potencia para cada uno de los caudales de la serie estadística de datos de caudales de 30 años. Con la potencia para cada uno de estos caudales, multiplicada por la probabilidad de ocurrencia horaria dentro de un año potencial, se obtendrá la producción asignada a cada uno de estos valores de potencia vinculados a los caudales. Una vez obtenidos estos cálculos, realizando el sumatorio de todos los datos de producción, se obtiene la producción potencial anual para la serie estadística empleada. De esta misma forma, con el producto del mayor de las producciones, es decir, la vinculada al mayor caudal, y las horas totales habidas en un año, se obtiene la producción máxima potencial de la central hidroeléctrica. De este modo, haciendo el cociente entre estos dos valores se calcula el factor de uso de la central hidroeléctrica con las condiciones de caudal mínimo, caudal máximo y caudal ecológico que tienen en este escenario.

5.1.6.3. Situación con caudal ecológico futuro 1.

Con Qeco(PHJ) futuro(1)	
Horas totales	8760
Producción anual (MWh)	4900
Producción máxima (MWh)	31246
Factor de uso(%)	16

Tabla 6: Producción para la situación con caudal ecológico futuro 1.

Como se explicaba en el punto 5.1.6, para el cálculo de la producción, en primer lugar, se calculará la potencia para cada uno de los caudales de la serie estadística de datos de caudales de 30 años. Con la potencia para cada uno de estos caudales, multiplicada por la probabilidad de ocurrencia horaria dentro de un año potencial, se obtendrá la producción asignada a cada uno de estos valores de potencia vinculados a los caudales. Una vez obtenidos estos cálculos, realizando el sumatorio de todos los datos de producción, se obtiene la producción potencial anual para la serie estadística empleada. De esta misma forma, con el producto del mayor de las producciones, es decir, la vinculada al mayor caudal, y las horas totales habidas en un año, se obtiene la producción máxima potencial de la central hidroeléctrica. De este modo, haciendo el cociente entre estos dos valores se calcula el factor de uso de la central hidroeléctrica con las condiciones de caudal mínimo, caudal máximo y caudal ecológico que tienen en este escenario.

5.1.6.4. Situación con caudal ecológico futuro 2.

Con Qeco (PHJ) futuro(2)	
Horas totales	8760
Producción anual (MWh)	3433
Producción máxima (MWh)	33952
Factor de uso(%)	10

Tabla 7: Producción para la situación con caudal ecológico futuro 2.

Como se explicaba en el punto 5.1.6, para el cálculo de la producción, en primer lugar, se calculará la potencia para cada uno de los caudales de la serie estadística de datos de caudales de 30 años. Con la potencia para cada uno de estos caudales, multiplicada por la probabilidad de ocurrencia horaria dentro de un año potencial, se obtendrá la producción asignada a cada uno de estos valores de potencia vinculados a los caudales. Una vez obtenidos estos cálculos, realizando el sumatorio de todos los datos de producción, se obtiene la producción potencial anual para la serie estadística empleada. De esta misma forma, con el producto del mayor de las producciones, es decir, la vinculada al mayor caudal, y las horas totales habidas en un año, se obtendrá la producción máxima potencial de la central hidroeléctrica. De este modo, haciendo el cociente entre estos dos valores se calcula el factor de uso de la central hidroeléctrica con las condiciones de caudal mínimo, caudal máximo y caudal ecológico que tienen en este escenario.

5.1.7. Valoración económica de la central hidroeléctrica de Chulilla.

Tras realizar los cálculos de producción potencial de la central para cada uno de los 4 escenarios planteados, ya sean pasados, presentes o futuros, se precisa de darle una magnitud económica con el fin de evaluar el alcance y las consecuencias de la implantación de los nuevos caudales y lo que supone a las hidroeléctricas y empresas involucradas.

Para esto, se ha calculado un valor medio estimado sobre el precio del megavatio, empleando los precios medios anuales a los que se le ha comprado el megavatio a la central estudiada, y extrayendo el promedio de estos costes. Los valores precio (€/Mwh) han sido proporcionados por la CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar) que a su vez han sido facilitados por Iberdrola Renovables, S.A., empresa titular de la explotación de la central hidroeléctrica de Chulilla. El precio fijado como valor para el cálculo de los ingresos por producción de la central ha sido de 44,395 €/Mwh.

Empleando el precio establecido como valor medio del coste de producción, se calculan las ganancias que tendrá la central hidroeléctrica de Chulilla para los distintos escenarios planteados, como se puede ver en la figura siguiente:

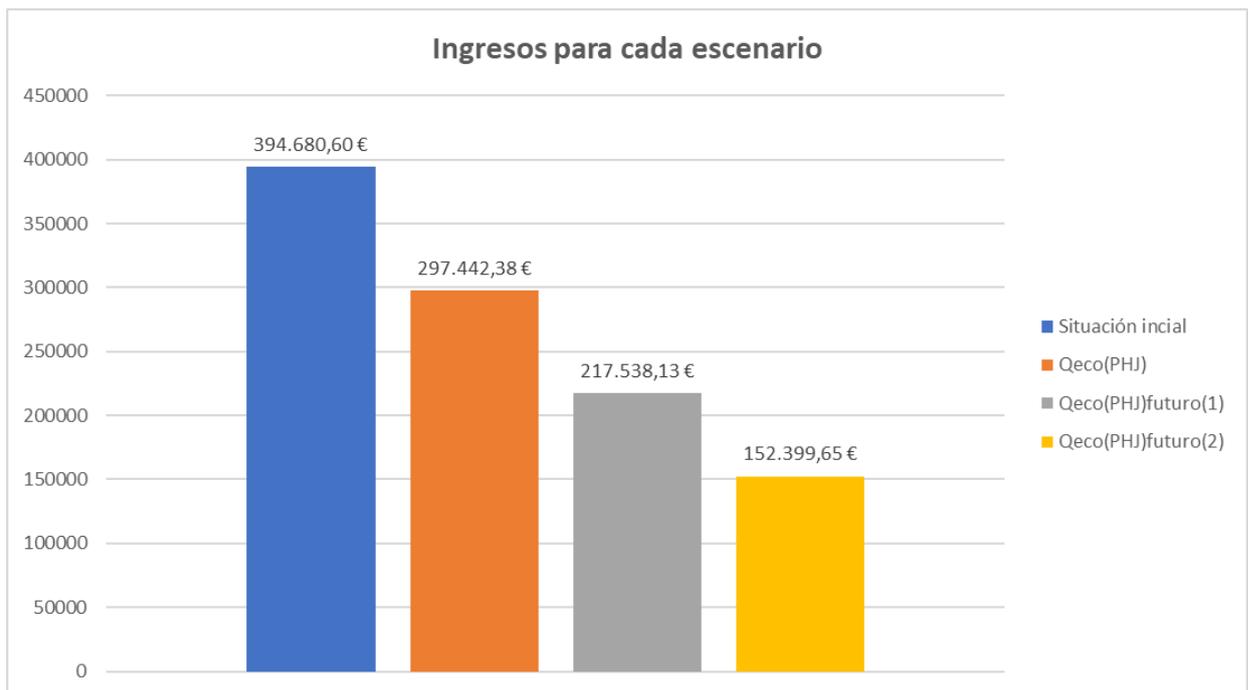


Figura 35: Ingresos de la central hidroeléctrica de Chulilla para cada uno de los escenarios.

Tal y como se puede apreciar en la figura 35, a Iberdrola Renovables, S.A., la implantación de una caudal ecológico le ha supuesto reducir sus ingresos en casi 100.000€, y si el caudal ecológico se continúa aumentando, como es lógico, los ingresos de esta central se irán reduciendo hasta los 152.399,65€ que podría reducirse si se triplicase el caudal ecológico actual de esta masa de agua donde se dispone la central. En las figuras 36 y 37, se refleja gráficamente la reducción de ingresos de la central

hidroeléctrica de Chulilla y la magnitud de las consecuencias económicas que supone la subida de los caudales ecológicos de los distintos escenarios planteados.

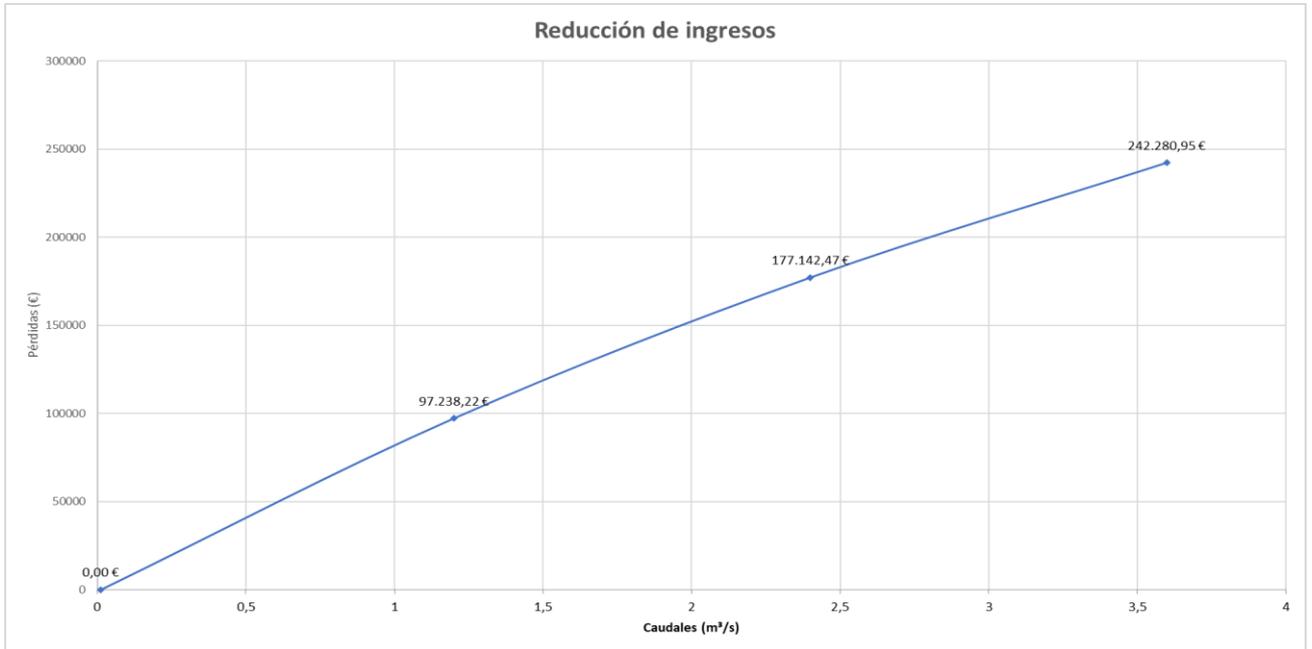


Figura 36: Gráfica representativa de la reducción de ingresos de la central hidroeléctrica de Chulilla.

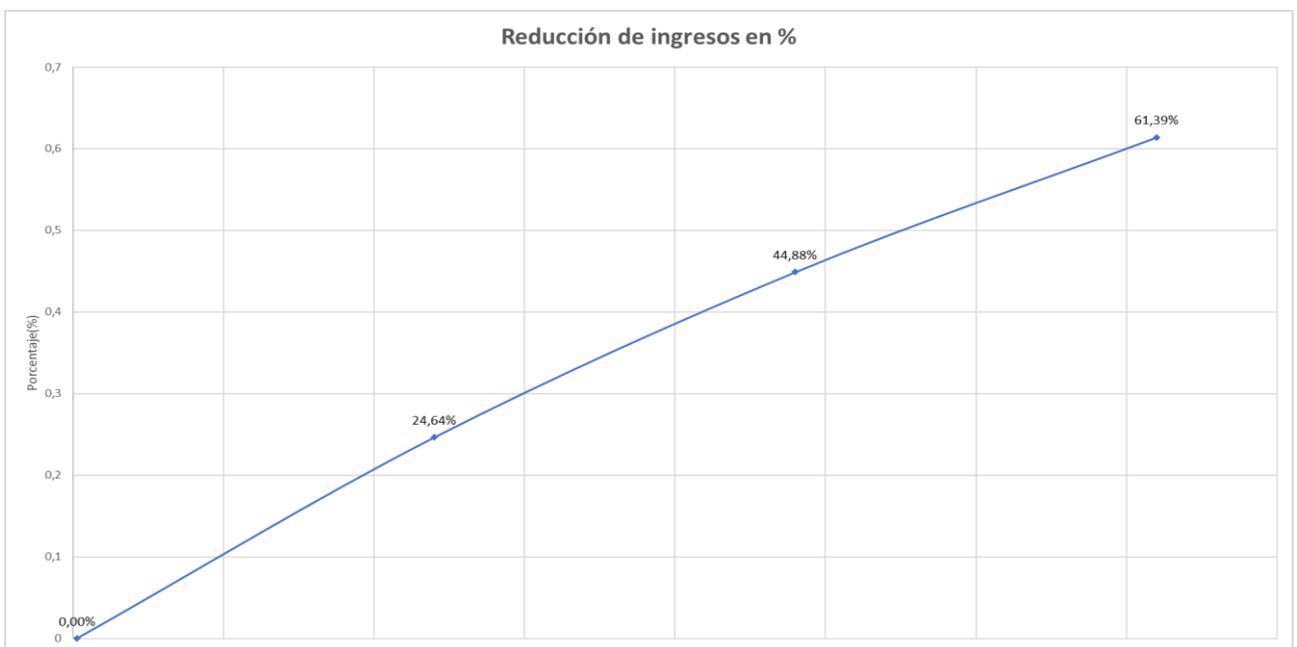


Figura 37: Gráfica representativa de la reducción porcentual de ingresos de la central hidroeléctrica de Chulilla

6. Resultados obtenidos y propuestas de actuación.

Tal y como se explica en el punto cuatro de esta memoria (Metodología), para el análisis de las distintas centrales se ha realizado una división por equipos de centrales, motivada por las características comunes tales como, pertenecer a la misma masa de agua, tener el mismo caudal ecológico, encontrarse consecutivamente y próximas a lo largo de la masa de agua tipo río. En la siguiente figura se muestra como están divididas las centrales hidroeléctricas:

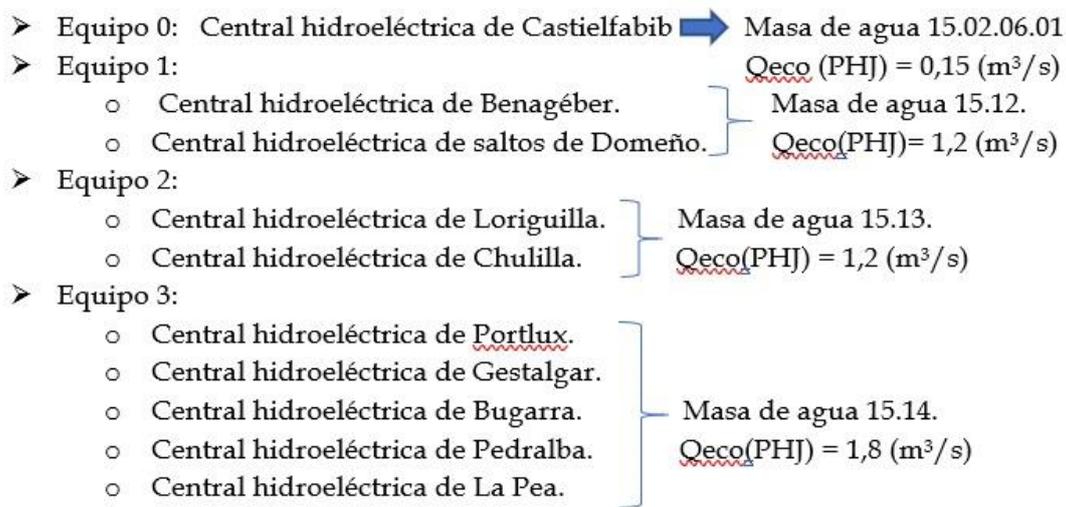


Figura 38: Distribución de las centrales por equipos.

Esta división, nos ayudará a discernir sobre cuales son las mejores soluciones a adoptar para cada masa de agua, es decir, que masa de agua es más susceptible de variar el caudal ecológico, así como establecer que caudal sería el óptimo para no verse en excesivo perjuicio la empresa tanto como poder mejorar el estado ecológico del río.

Para cada uno de los equipos, se estimará cual es la reducción de ingresos producida para el conjunto de todas las centrales en cada uno de los escenarios estudiados. Es decir, el fin es valorar cuanto se reducen las ganancias de cada uno de los equipos de centrales hidroeléctricas con cada una de las subidas de caudal ecológico que se realice a la masa de agua tipo río donde se encuentran.

6.1. Equipo 0

El equipo 0 está compuesto únicamente por la central hidroeléctrica de Castielfabib, situada en el tramo de Hoces del Ebrón, provincia de Castielfabib. Esta central se encuentra en el río Ebrón, un afluente del propio río Turia. Pertenece a la masa de agua 15.02.06.01 y dispone de una potencia instalada de 1,3 MW.

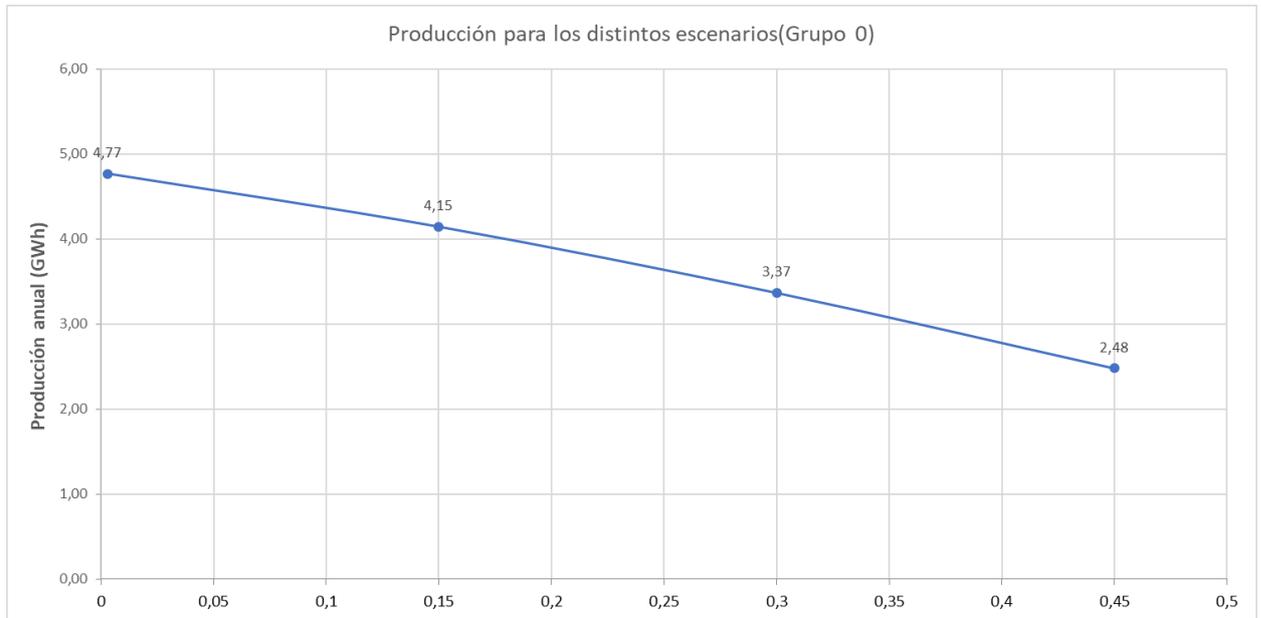


Figura 39: Producción para el grupo 0 en los distintos escenarios.

En la figura 39, se puede ver cual sería la producción potencial (en GWh) de las centrales del equipo 0 para cada uno de los escenarios planteados, es decir, para la situación inicial, con el caudal ecológico de la PHJ y las dos situaciones para caudales ecológicos futuros.

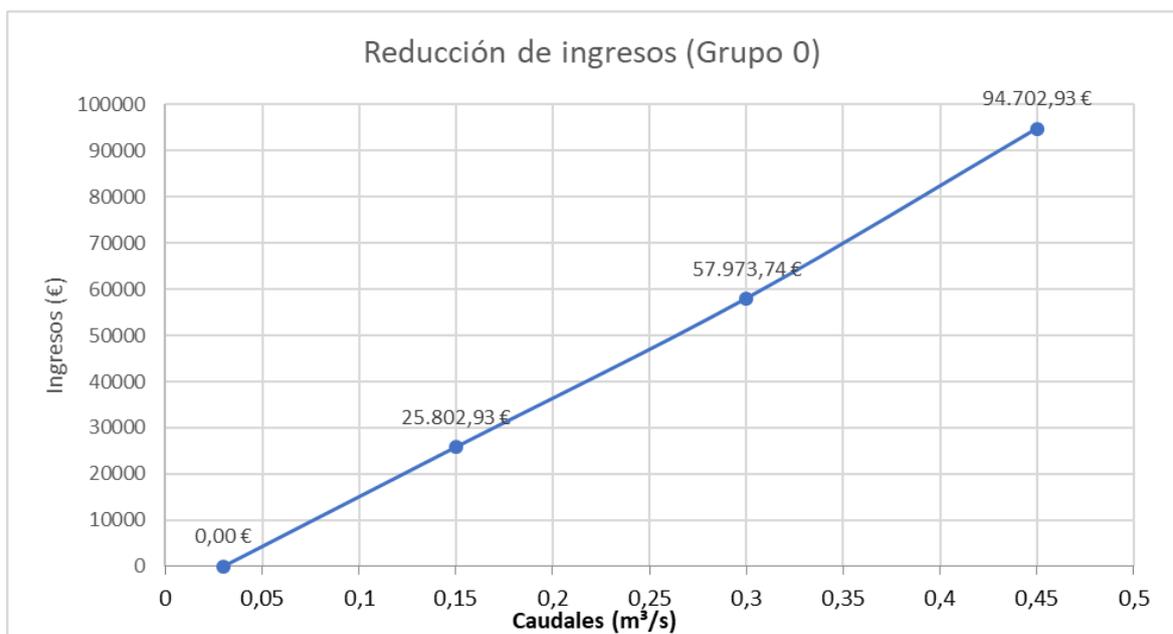


Figura 40: Gráfico reducción de ingresos del grupo 0.

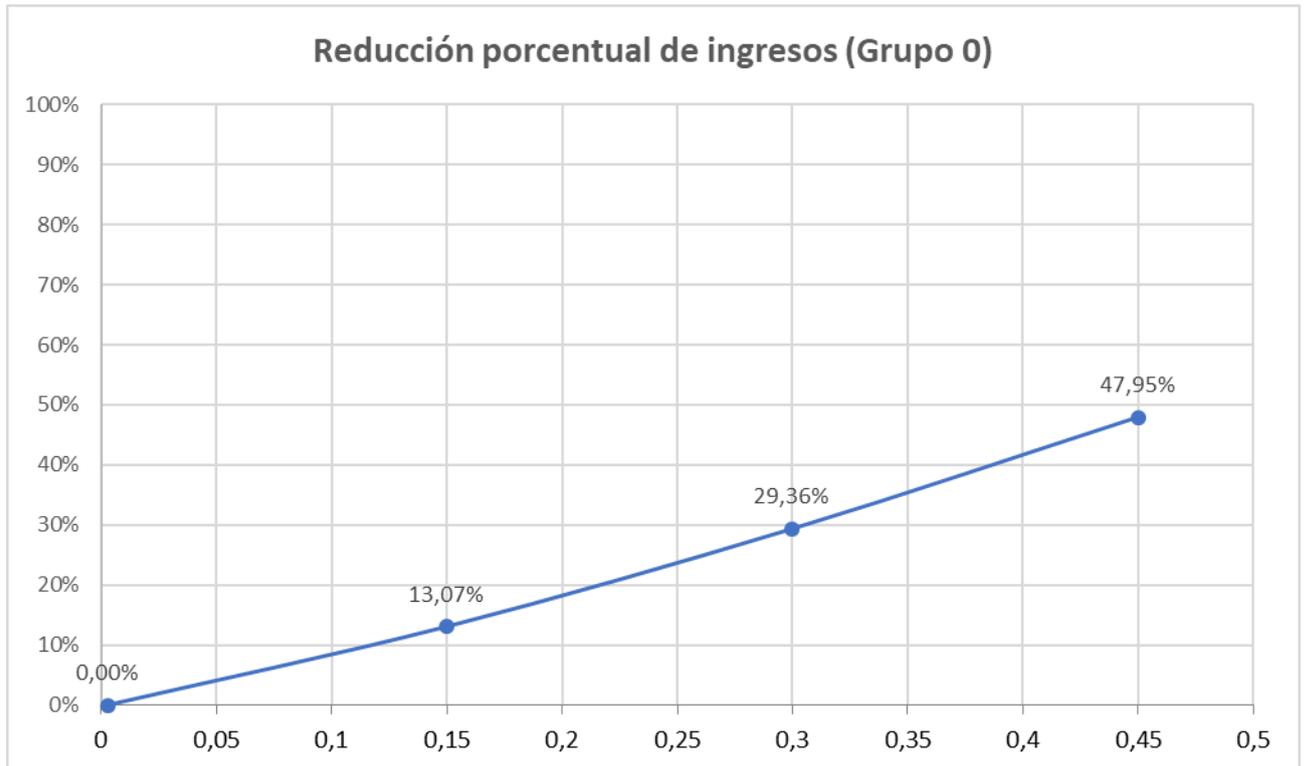


Figura 41: Gráfica de la reducción porcentual de ingresos.

Tras la valoración de las distintas producciones, y la asignación de un precio medio, utilizando los precios medio anuales de los últimos 6 años proporcionados por la CHJ, se puede identificar el coste que le supone al equipo 0 la implantación de cada uno de los distintos caudales ecológicos propuestos en los diferentes escenarios.

6.2. Equipo 1.

El equipo de centrales 1, está compuesto por la central de pie de presa del embalse de Benagéber y por la central de saltos de domeño, situadas en los municipios de Benagéber y Domeño respectivamente. Este equipo es uno de los más importantes a nivel de potencia instalada, pues la central de Benagéber tiene una potencia instalada de 18,9 MW y la central de saltos de domeño tiene una potencia instalada de 20,4 MW. Esto implica que es una zona sensible a los cambios de caudal ecológico, porque genera gran parte de la producción del sistema Turia, y es importante encontrar una situación de equilibrio entre la producción energética. Pertenece a la masa de agua 15.12 y tiene una potencia instalada de 39,3 MW.

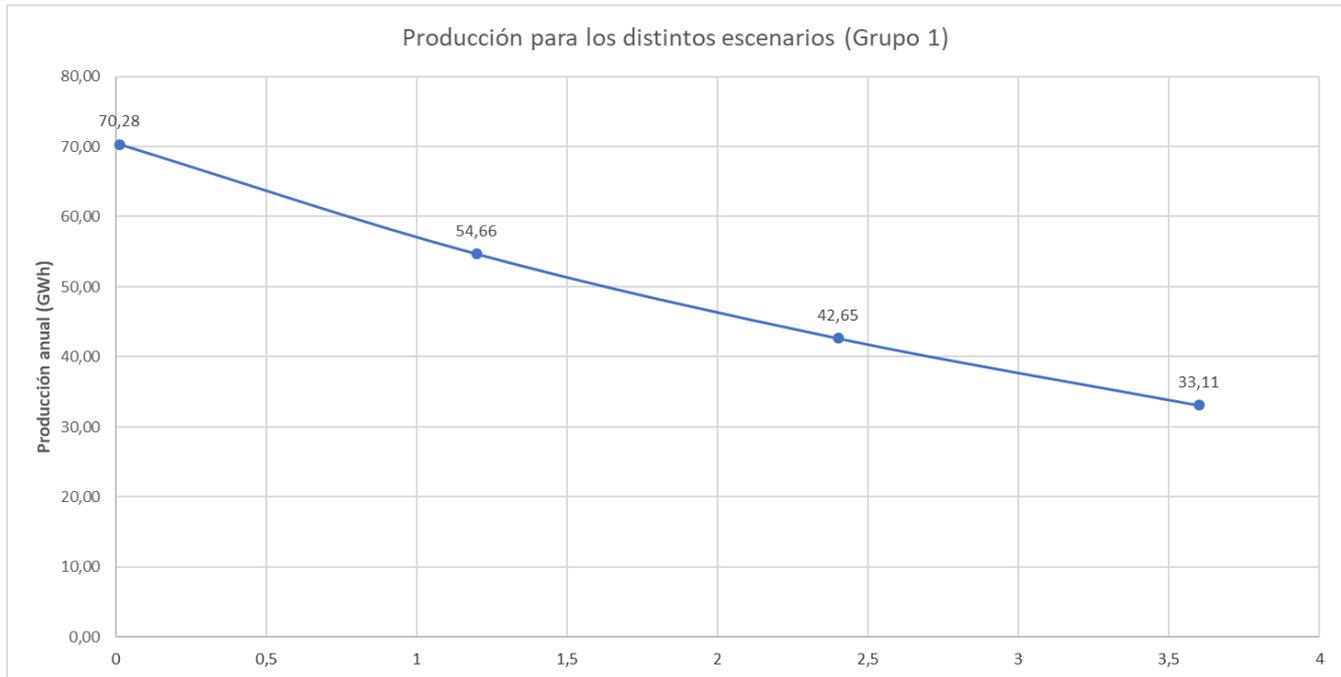


Figura 42: Gráfica de la producción energética para los distintos escenarios del equipo 1.

En la figura 42, se puede ver cuál sería la producción potencial (en GWh) de las centrales del equipo 0 para cada uno de los escenarios planteados, es decir, para la situación inicial, con el caudal ecológico de la PHJ y las dos situaciones para caudales ecológicos futuros.

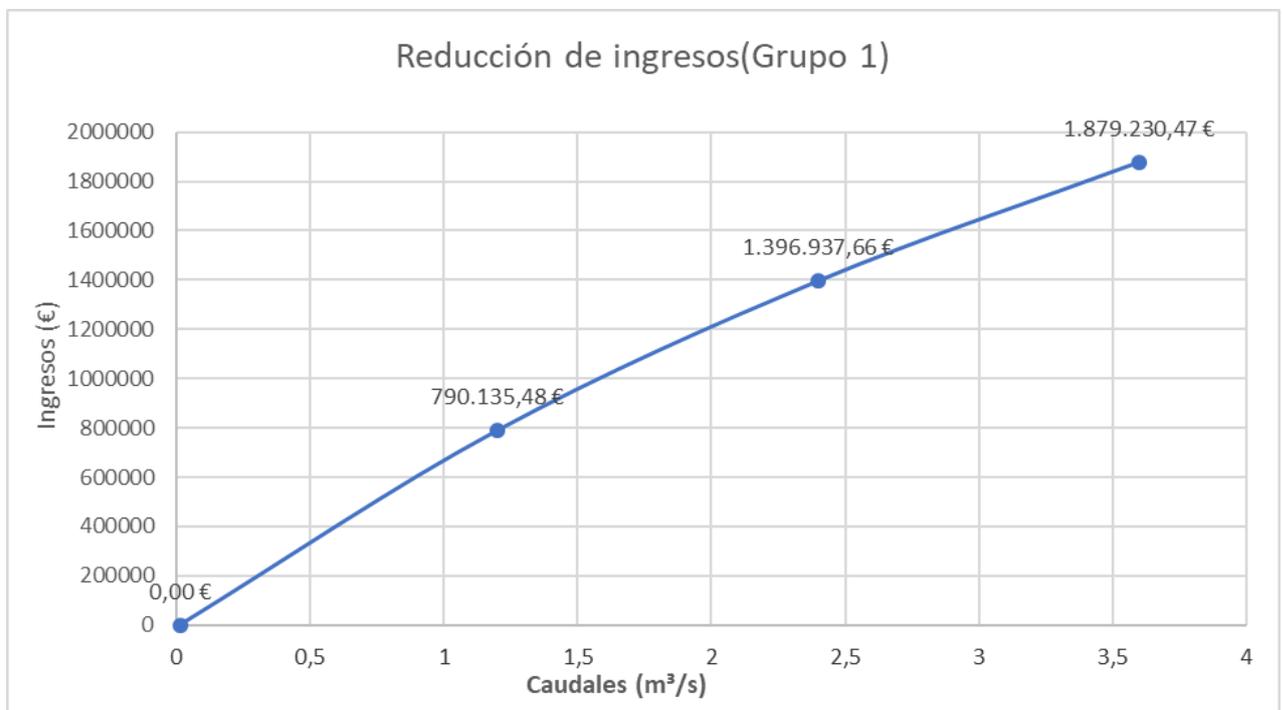


Figura 43: Gráfica de reducción de ingresos del equipo 1.

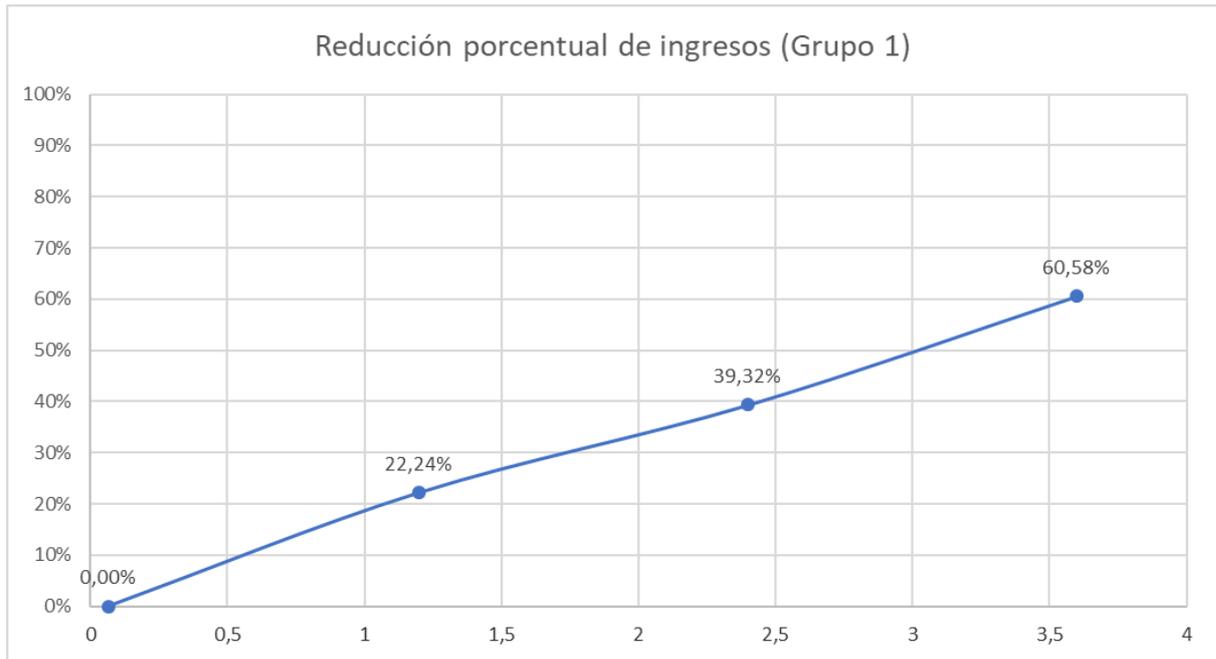


Figura 44: Gráfica de la reducción porcentual de ingresos del grupo 1.

Como se puede comprobar en las gráficas anteriores, la reducción de ingresos del equipo 1 es sustancialmente mayor a las del equipo 1, debido a que la potencia y la capacidad de producción de estas centrales es mucho mayor y por lo tanto, las pérdidas que supondría la implantación de nuevos caudales se incrementa.

6.3. Equipo 2.

El equipo de centrales 2, está formado por las centrales de Loriguilla y Chulilla, ambas situadas en el municipio de Chulilla. Estas centrales corresponden una central de pie de presa de la presa del embalse de Loriguilla, y a una central fluyente. Pertenece a la masa de agua 15.13, y cuenta con una potencia instalada de 7,2 MW.

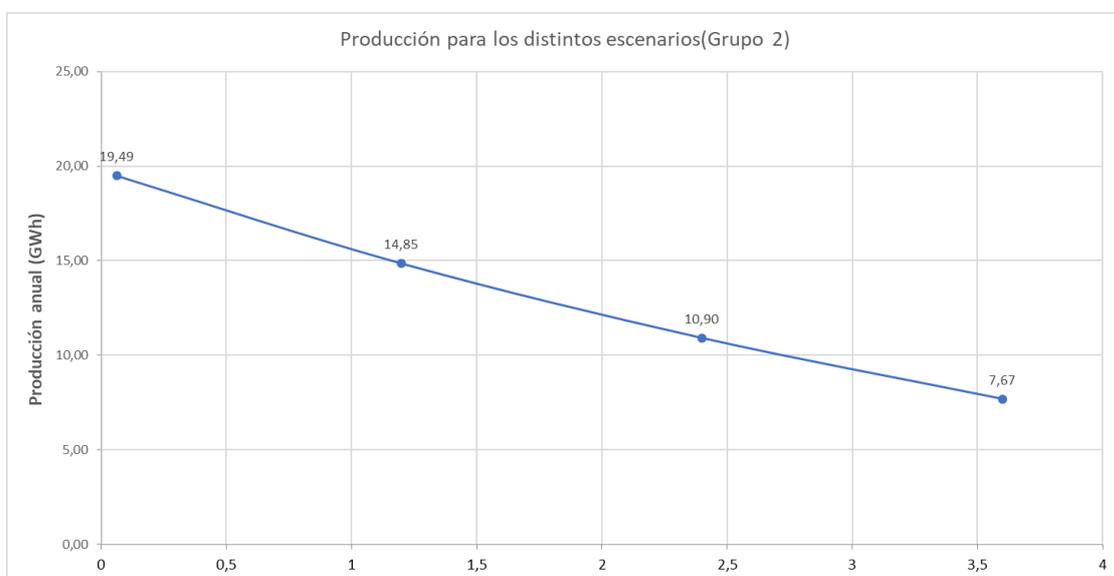


Figura 45: Gráfica de la producción de las centrales del grupo 2.

En la figura 45, se puede ver cuál sería la producción potencial (en GWh) de las centrales del equipo 2 para cada uno de los escenarios planteados, es decir, para la situación inicial, con el caudal ecológico de la PHJ y las dos situaciones para caudales ecológicos futuros.

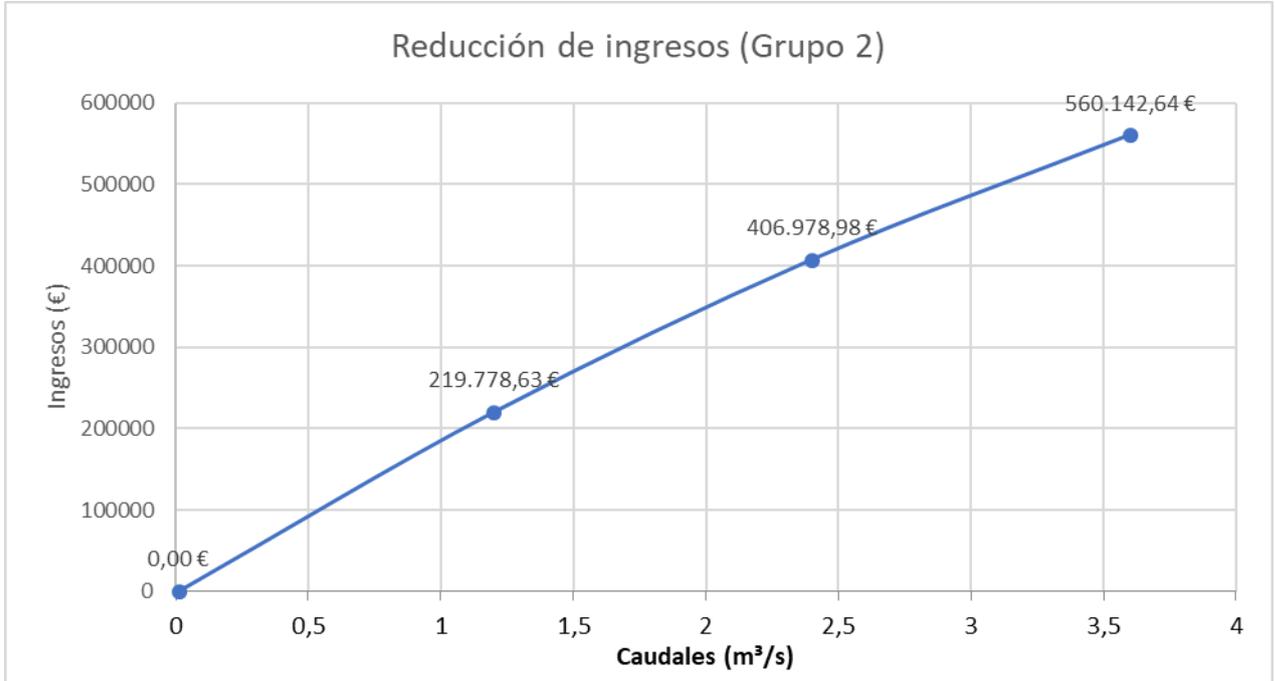


Figura 46: Gráfica de reducción de ingresos del grupo 2.

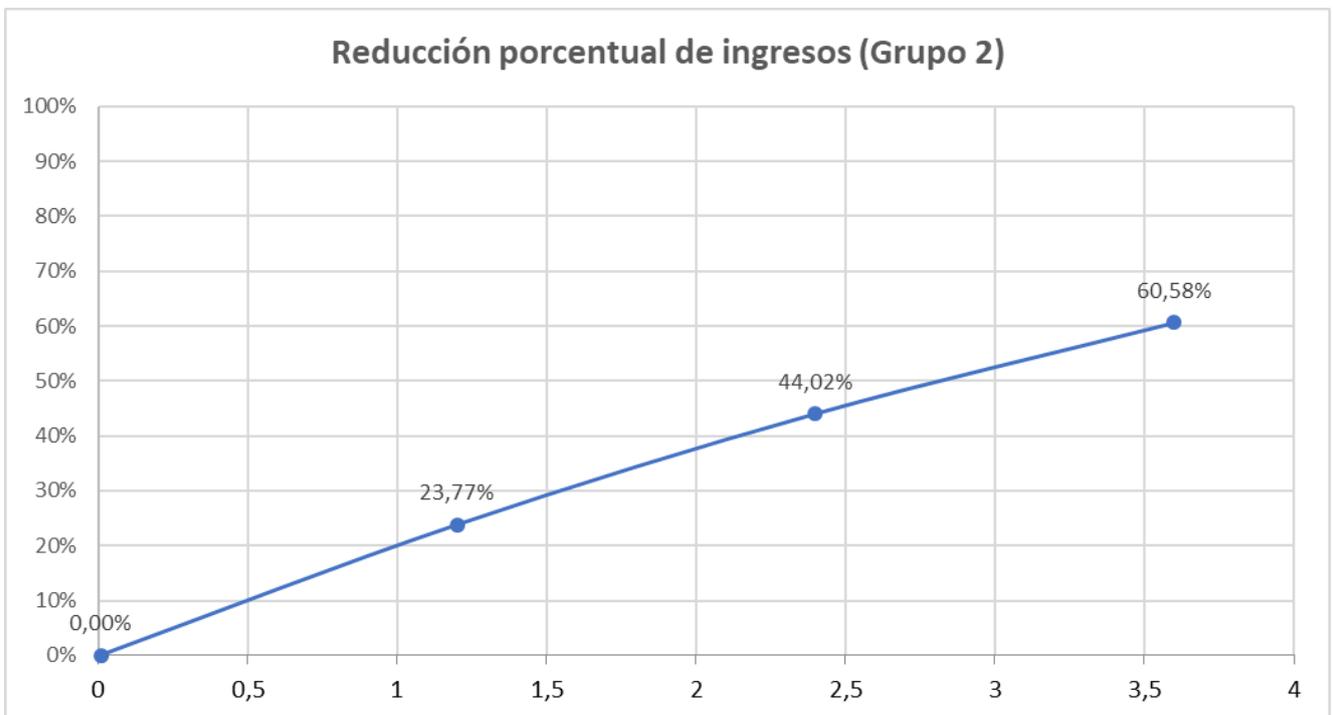


Figura 47: Gráfica de la reducción porcentual de ingresos del grupo 2.

El equipo 2 tiene un desarrollo muy parecido al del equipo 1, dado que ambas son dos centrales y se distribuyen de la misma forma (una de pie de presa y una fluyente), además de que sendas masas de agua tienen el mismo caudal ecológico fijado por el Plan Hidrológico del Júcar. Por lo que se puede ver en la reducción porcentual de ingresos como para la progresión de los distintos escenarios tienen un desarrollo casi idéntico, a pesar de que las cifras en cuestión evidencian que el equipo 1 es muy superior en ingresos, algo de esperar siendo el equipo con mayor potencia instalada de todos los estudiados.

6.4. Equipo 3.

El último de los equipos estudiados está compuesto por 5 centrales hidroeléctricas fluyentes, todas ellas con pequeñas potencias instaladas y dispuestas consecutivamente de la siguiente forma: CH Portlux, CH Gestalgar, CH Bugarra, CH Pedralba y CH La Pea. Pertenece a la masa de agua 15.14, y tiene una potencia instalada de 6,13 MW.



Figura 48: Gráfica de la producción para los distintos escenarios del equipo 3.

En la figura 48, se puede ver cuál sería la producción potencial (en GWh) de las centrales del equipo 3 para cada uno de los escenarios planteados, es decir, para la situación inicial, con el caudal ecológico de la PHJ y las dos situaciones para caudales ecológicos futuros.

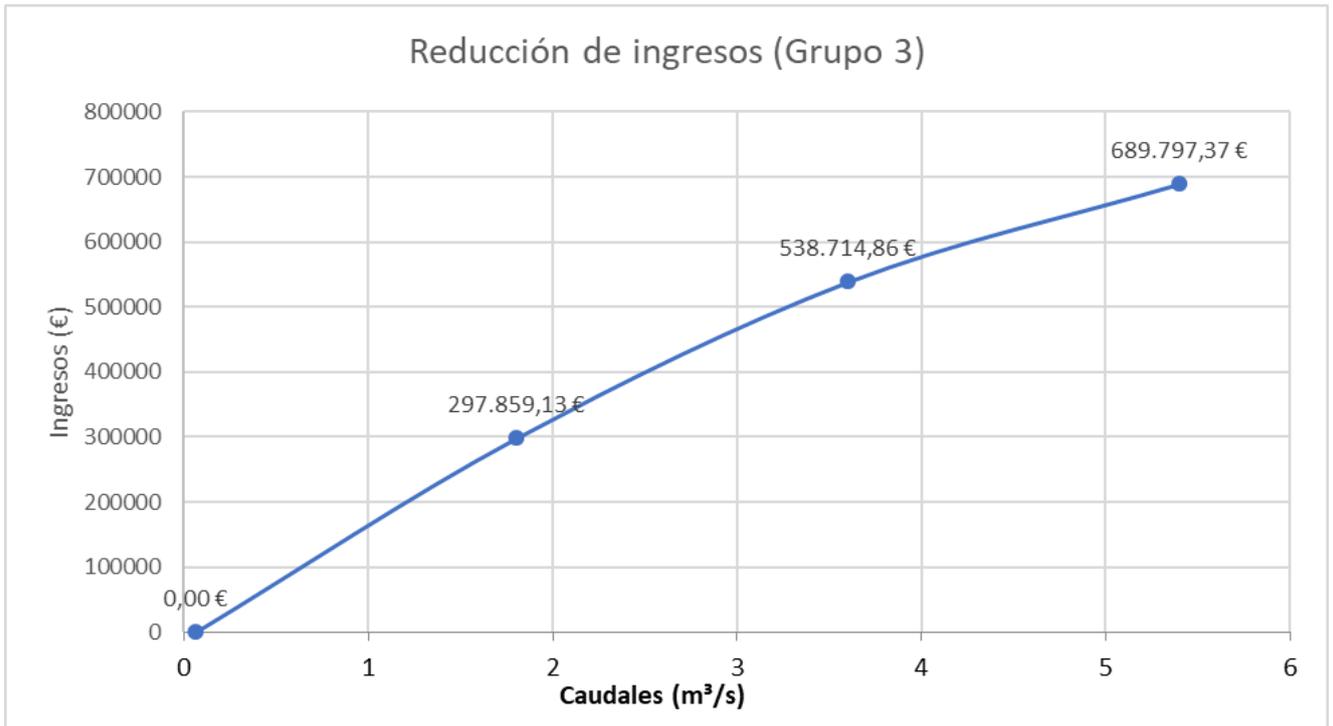


Figura 49: Gráfica de la reducción de ingresos para el equipo 3.

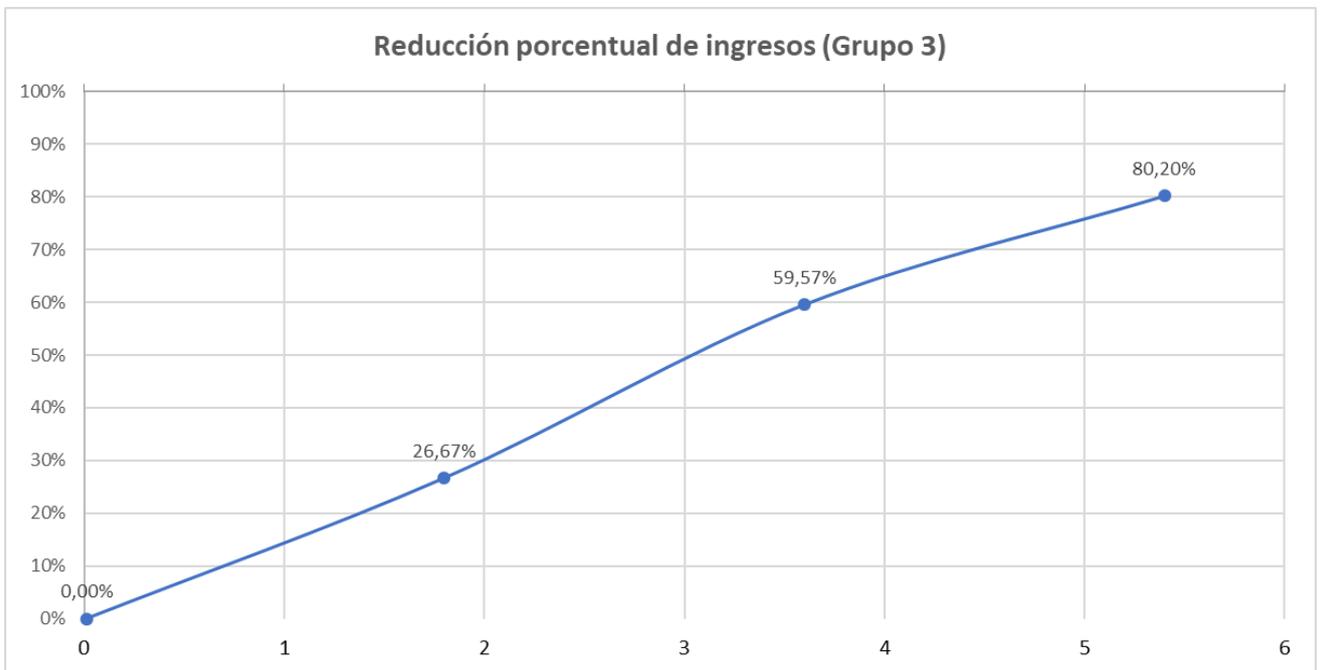


Figura 50: Gráfico de la reducción porcentual de ingresos del equipo 3.

6.5. Valoración económica global y alternativas propuestas.

Como se ha explicado anteriormente en este estudio, el parque hidroeléctrico supone de una gran importancia para el sistema Turia. Puesto que, a pesar de que la prioridad de la CHJ es la de conservar las masas de agua y hacer posible que recuperen su mejor estado ecológico para la conservación de sus ecosistemas y la correcta función hidrológica, también es importante encontrar una solución de acuerdo entre la conservación de los ecosistemas y el uso del agua con el fin de los aprovechamientos energéticos. Cabe recordar que la energía hidráulica es una energía renovable, y por lo tanto es una forma de producción energética con mucha importancia medioambiental y con gran proyección de cara al futuro.

Por ende, a la hora de proponer la implantación de unos nuevos caudales ecológicos en cada una de las masas de agua donde se disponen nuestras centrales, cabe recordar la importancia que las centrales tienen sobre la producción energética, por su carácter de renovable y por su flexibilidad.

Se han planteado varios escenarios posibles que ahora se comentará brevemente:

- La subida del caudal ecológico mínimo de la masa de agua 15.02.06.01, donde se sitúan las centrales hidroeléctricas del equipo 0. En esta masa de agua el caudal ecológico es de $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, y la propuesta de actuación que se plantea es la de subir el caudal a hasta el $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$.

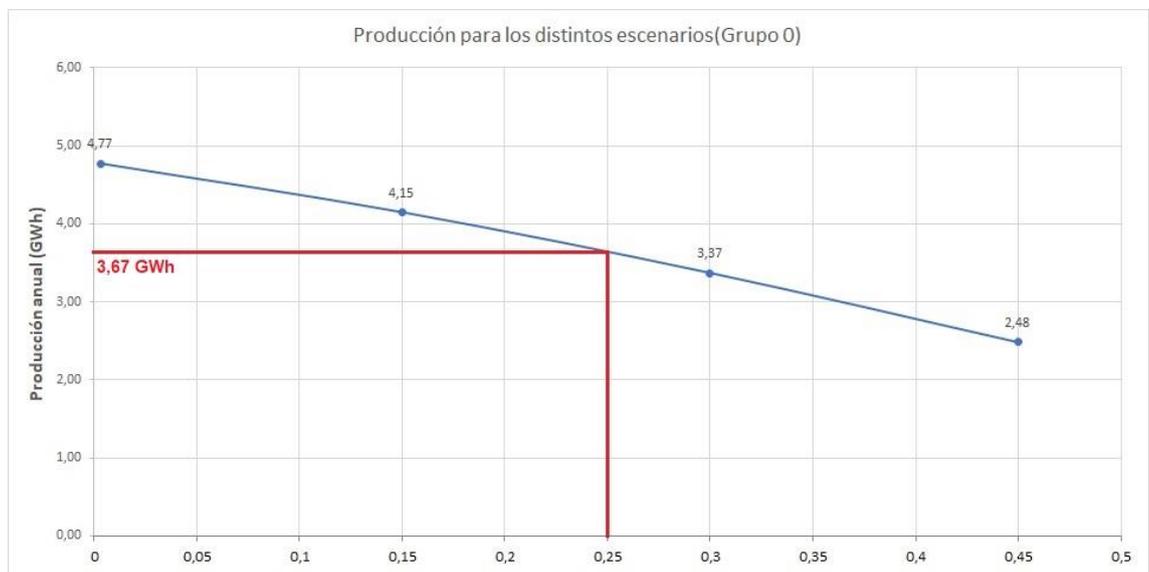


Figura 51: Extrapolación de la producción para el nuevo caudal propuesto.

Con la subida del caudal ecológico a $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, la producción se reduciría en poco más de 1 GWh tal y como se puede ver en la figura 51. Esto supone una reducción económica a la central tal y como se expresa en la siguiente figura.

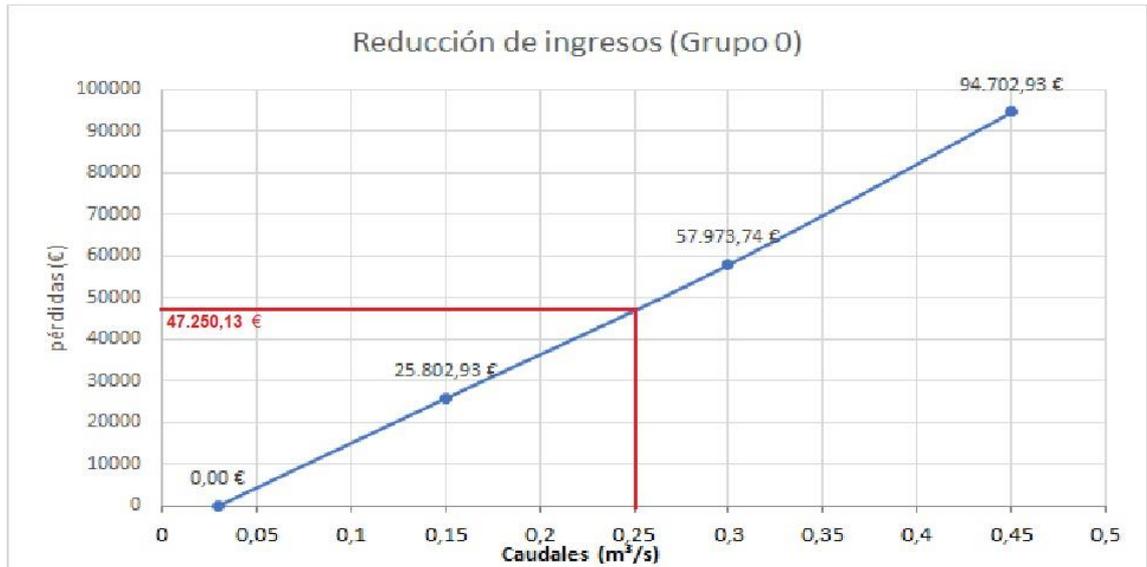


Figura 52: Extrapolación de la reducción de ingresos para el nuevo caudal propuesto.

La subida que supone el mejor acuerdo para la central hidroeléctrica de Castielfabib, la única del equipo 0, le produciría unas pérdidas de 47.250,13 €. Es cierto, que se podría implantar un caudal ecológico incluso mayor con el fin de mejorar el estado ecológico de esta masa de agua, pero eso ya supondría cuestionarse realmente la viabilidad de esta central e incluso la posibilidad de que se cerrara.

- Homogeneizar los caudales aguas debajo de la central hidroeléctrica de Benagéber a 1,8 m³/s. Esta medida supone subir el caudal de las masas de agua 15.11, 15.12 y 15.13 a un caudal ecológico de 1.8 m³/s, el mismo que la masa de agua 15.14.

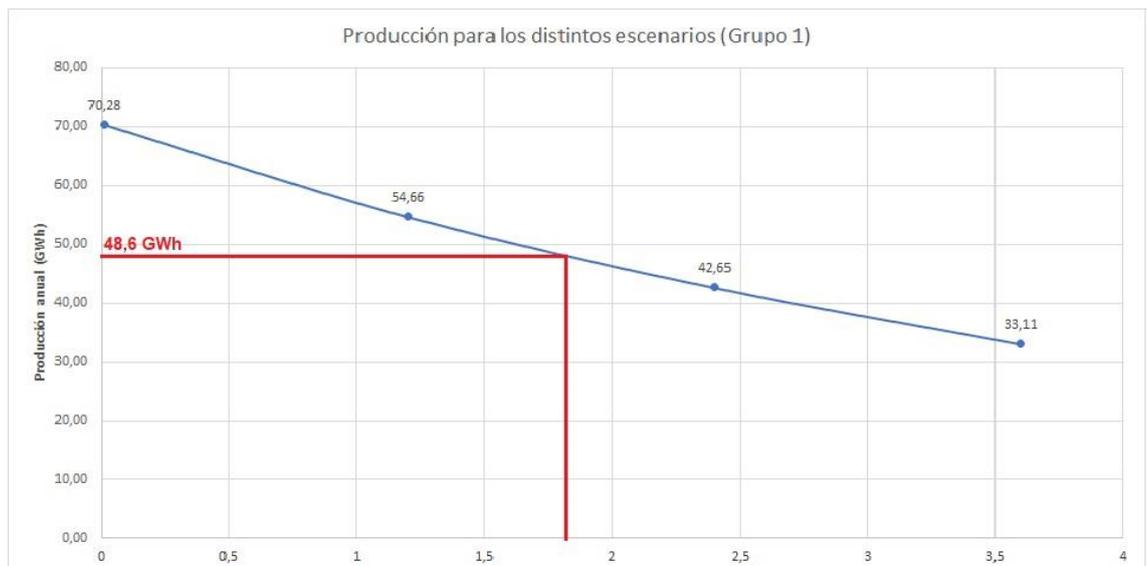


Figura 53: Extrapolación de la producción para el nuevo caudal propuesto.

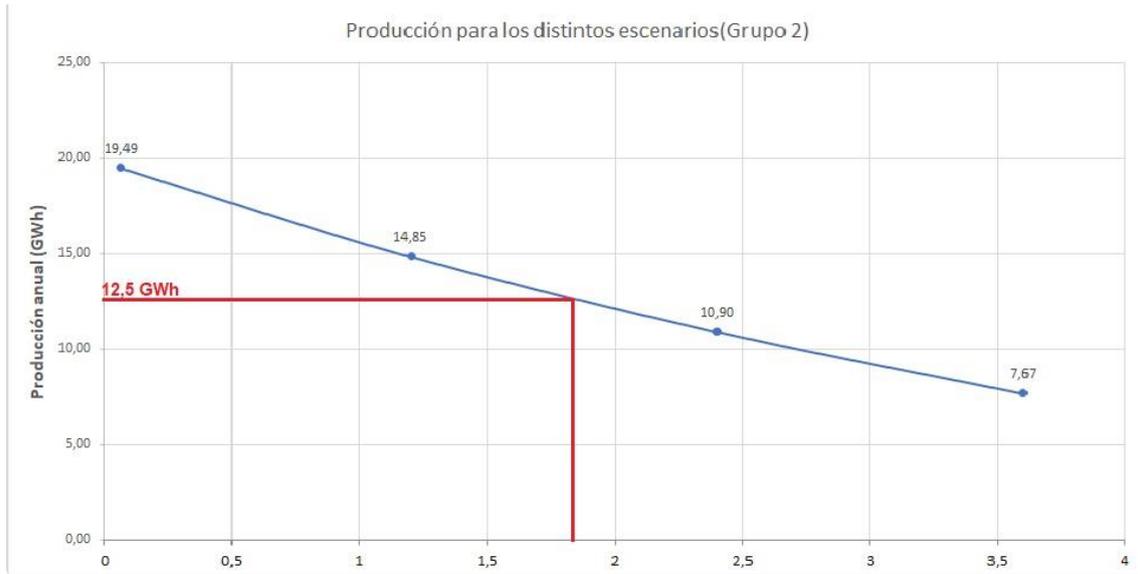


Figura 54: Extrapolación de la producción para el nuevo caudal propuesto.

Homogeneizar el caudal aguas debajo de Benagéber para que siempre circule un 1,8 m³/s, produciría unas pérdidas en producción potencial de 21,68 GWh en el equipo 1, y de 7 GWh en el grupo 2 desde la situación inicial, es decir, tan sólo dejaría de producir 6,06 GWh el equipo 1 y 2,45 GWh el equipo 2. Estas cifras parecen alarmantes sobre el papel, pero realmente no sería tal el perjuicio sufrido por las centrales, pues tanto en el grupo 1 como en el 2 existen dos centrales de pie de presa (Benagéber y Loriguilla) donde nuestro cálculo estadístico no es tan ajustado como con las centrales fluyentes. Y de la misma forma, las centrales de pie de presa podrían dejar pasar el caudal ecológico por medio de la turbinación de ese caudal por la misma central, dejando así pasar el caudal ecológico y al mismo tiempo optimizando esa labor con la producción de energía eléctrica. Es una solución más que acertada para un acuerdo entre la mejora del estado ecológico de las masas de agua dispuestas aguas debajo de Benagéber y el aprovechamiento hidroeléctrico de los recursos del agua por parte de las centrales.

Esta medida, sería de importancia que se realizara en la central hidroeléctrica de pie de presa del embalse de Benagéber, pues esta presa pertenece a la CHJ, y por lo tanto, podría servir de ejemplo en la optimización del caudal ecológico mediante la turbinación del mismo.

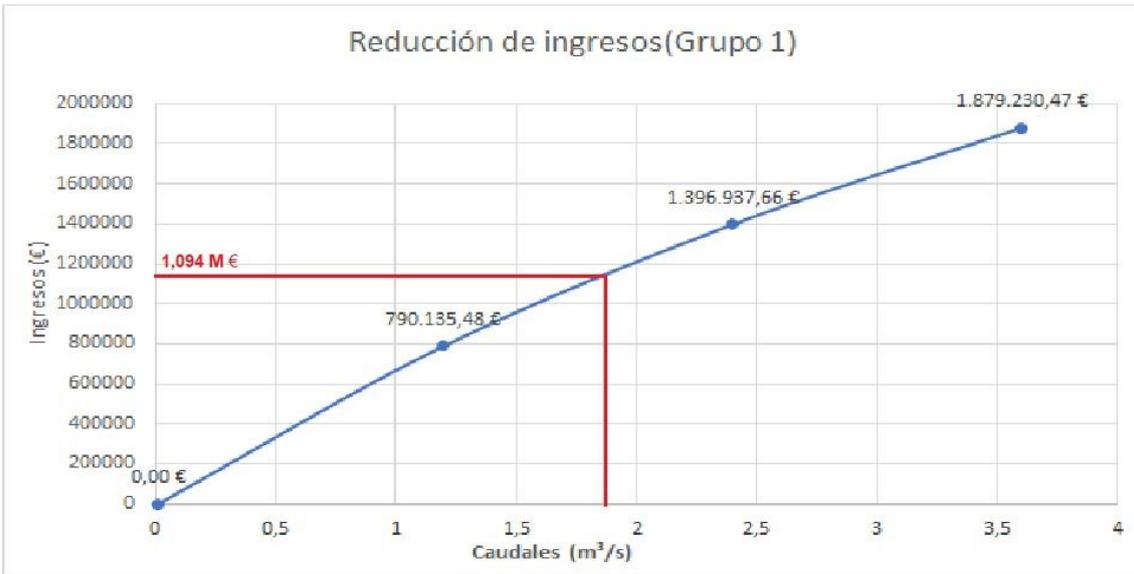


Figura 55: Extrapolación de la reducción de ingresos para el nuevo caudal propuesto. (Equipo 1)

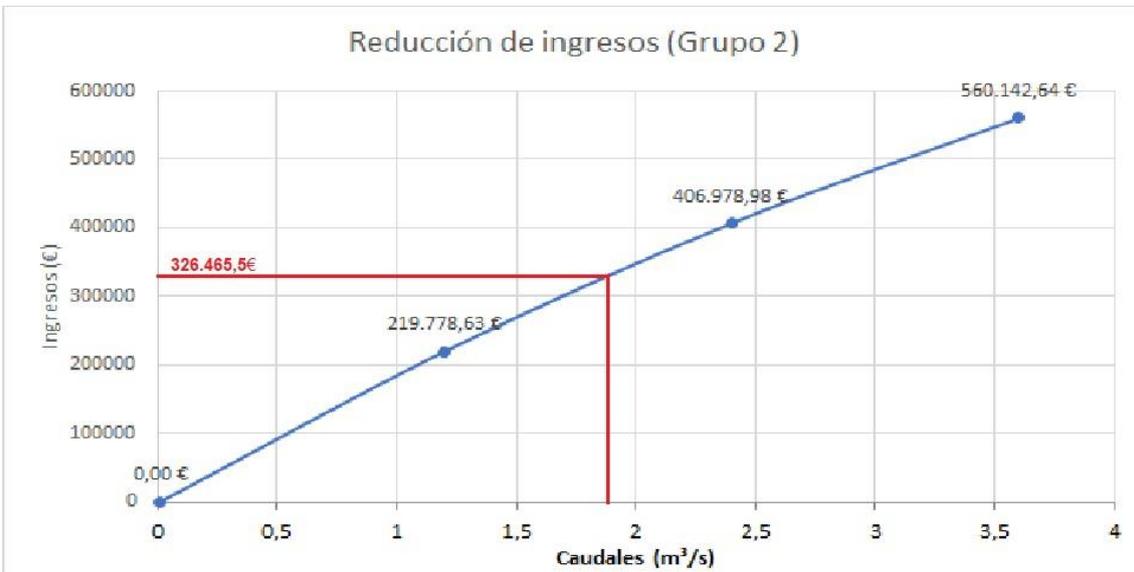


Figura 56: Extrapolación de la reducción de ingresos para el nuevo caudal propuesto. (Equipo 2)

Del mismo modo que se ha comentado antes, sobre la situación actual, el perjuicio económico sufrido sería de 306.220,65 € para el grupo 1 y de 106.686,87 € para el grupo 2. Estas pérdidas son importantes para el sector hidroeléctrico, pero son potencialmente inferiores a las que se sufrieron tras la implantación de los caudales ecológicos actuales, y contribuirían de buen grado a la mejora hidrológica y a la conservación de los ecosistemas en las masas de agua afectadas.

7. Análisis de los caudales intradiarios.

Durante el estudio del funcionamiento de las centrales del parque hidroeléctrico del río Turia, se ha realizado un análisis de los caudales intradiarios del río. Es evidente, que el objetivo de incrementar los caudales ecológicos verá perjudicado al parque hidrológico en determinadas horas de producción de energía, y por eso es importante realizar una pequeña reseña a esta parte.

A lo largo de este estudio, se ha empleado una serie estadística de caudales de los últimos 30 años, y eso nos ha servido para elaborar una serie de características potenciales como la producción o los ingresos de estas centrales para una serie de caudales de 11.350 datos, lo que se ha estimado suficientemente representativo. Pero realmente, el aumento de los caudales ecológicos va a afectar más al normal funcionamiento de las centrales de producción hidroeléctrica cuando se habla de escalas horarias y no diarias.

Se ha tratado de evaluar el impacto actual, sobre el año 2018, de el caudal ecológico sobre los caudales cincominutales, empleando los datos de dos aforos como son el de Loriguilla y Bugarra, ambos situados inmediatamente después de la restitución de una central hidroeléctrica. Con esto, se intenta comprobar la progresión de turbinación diaria de las centrales, es decir, si turbinan agua en determinadas horas punta y el resto del tiempo mantienen el equipo fuera de funcionamiento, con el fin de rentabilizar las horas de producción.

Tras comprobar los gráficos de caudales de cada uno de los días de 2018, y su comportamiento, se ha concretado que no se producen dientes de sierra en ningún momento, lo que significa que las centrales respetan los caudales ecológicos de los ríos y no realizan reintegros tras turbinar a las horas más punteras.

Algo de relevancia que se pudo diferenciar durante la comprobación de los caudales intradiarios, fue la progresión de la honda que se ve, debida a una posible abertura del aliviadero de la presa de Loriguilla, que hace que el caudal se incremente rápidamente de 2 a casi 5 m³/s, y que horas más tarde llega esta misma honda al aforo de Bugarra, como se puede apreciar en las figuras 57 y 58.

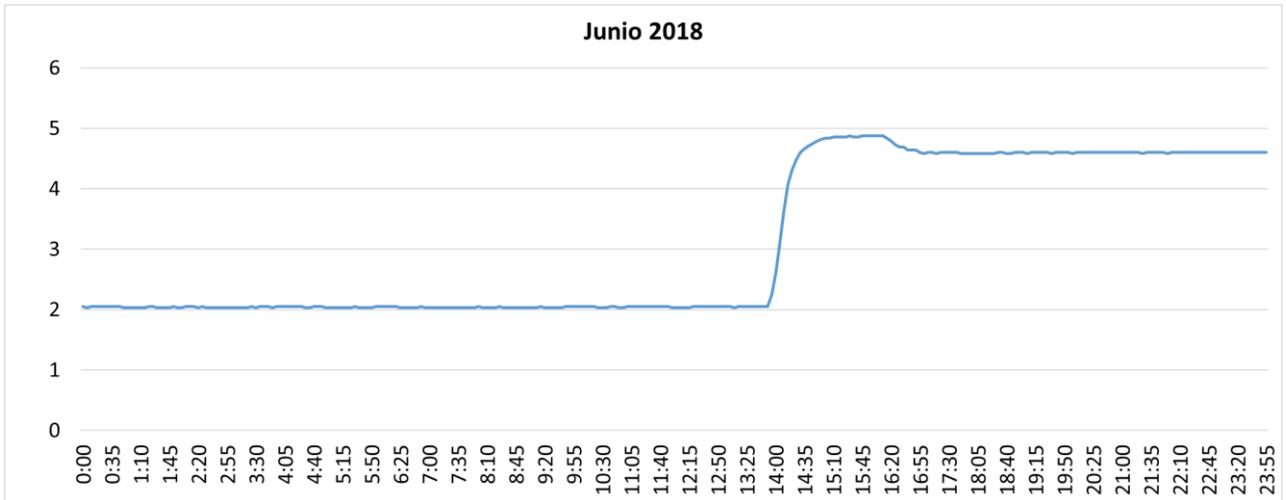


Figura 57: Gráfico caudales del 16 de junio de 2018 de la estación de aforo de Loriguilla.

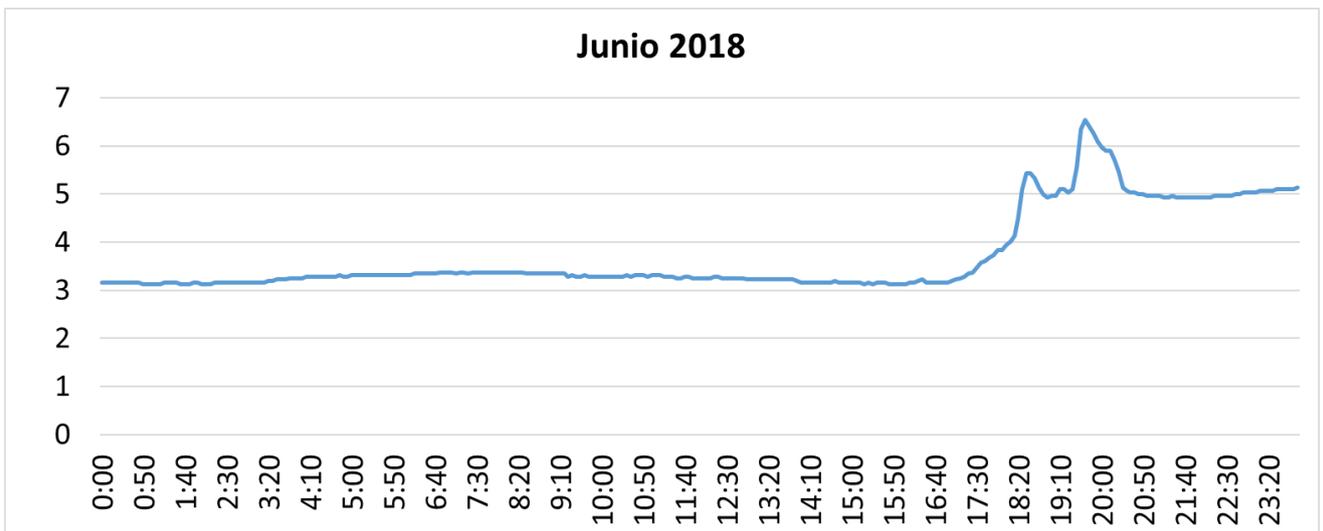


Figura 58: Gráfico caudales del 16 de junio de 2018 de la estación de aforo de Bugarra.

Se puede diferenciar como la honda que se libera y es captada en la estación de aforo de Loriguilla alrededor de las 14:00 horas, llega a la estación de aforo de Bugarra, situada aguas debajo de la primera, entre las 18:00 y las 19:30 ho

8. Resumen y conclusiones.

En este trabajo de fin de grado se presenta la necesidad de una implantación de nuevos caudales ecológicos superiores a los actuales en las masas de agua del sistema Turia, y las desventajas que esto supondrá a los aprovechamientos energéticos situados a lo largo del río.

A lo largo del Turia, trabajan 10 centrales hidroeléctricas afectando a 4 masas de agua principalmente. La derivación del agua con el fin de su turbinación y producción energética genera un problema ecológico, una escasa circulación de agua desde el punto de la toma hasta el punto de la restitución. Con la implantación en el PHJ 2015-2019 de los caudales ecológicos, se ha mejorado el estado de muchas de las masas de agua, pero el objetivo principal es que se pueda seguir mejorando el estado hidrológico y de los ecosistemas.

Ante este problema es importante encontrar una solución de concordia entre el estado ecológico de las masas de agua tipo río y la producción energética de las centrales afectadas. Pues la energía hidroeléctrica es una energía renovable y por lo tanto hay que apostar por ella con el fin de una mejora medioambiental y una adaptación a los cambios en el panorama energético que pueden devenir. A parte, también se considera una forma de producción energética muy flexible y amortizable, por lo que a nivel económico también supone de interés la conservación de estas centrales.

Previamente a la realización del estudio, se ha realizado un intensivo trabajo de recolección de datos sobre las centrales hidroeléctricas, empleando documentos oficiales del estado como el Plan Hidrológico de cuenca 2015-2019, con lo que se ha obtenido información útil sobre cada central. Así como estaciones de aforo del SAIH y la ROEA, donde se ha obtenido información sobre los caudales circulantes por cada una de las masas de agua, ya bien fueran diarios o intradiarios e incluso mensuales.

Con el estudio que se ha realizado, evaluando la producción potencial de cada una de las centrales mediante una serie de métodos estadísticos, se ha tratado de conocer cuál es el perjuicio económico de cada uno de estos centrales debidos a los distintos escenarios de caudales ecológicos planteados. Esto se ha realizado mediante una serie estadística de 30 años de caudales, empleando los datos de tres aforos a lo largo del río, proporcionados por la CHJ. Con estos caudales se ha calculado, mediante fórmulas empíricas, la producción de cada una de estas centrales en los distintos escenarios, y de este modo también cual es la ganancia de cada una de ellas.

Se ha necesitado de una valoración cuantitativa sobre las consecuencias que produciría la implantación de cada uno de los caudales propuestos a cada uno de los aprovechamientos hidráulicos a lo largo del río. Se ha analizado uno por uno, el perjuicio económico sufrido por cada una de las centrales hidroeléctricas presentes en el sistema Turia.

Tras la valoración individual, se han agrupado las centrales en colectivos de centrales con características similares, así como, misma masa de agua, mismo caudal ecológico, y producciones parecidas. Puesto que la idea es subir los caudales de una masa de agua, es lógico pensar en esta agrupación, y ver cuál es la afección que supone la nueva implantación de un caudal sobre una masa de agua al total de los aprovechamientos hidroeléctricos que se encuentran en esta masa. La agrupación ha sido la siguiente:

- Equipo 0: Central hidroeléctrica de Castielfabib ➡ Masa de agua 15.02.06.01
- Equipo 1:
 - Central hidroeléctrica de Benagéber. } Masa de agua 15.12.
 - Central hidroeléctrica de saltos de Domeño. } Qeco(PHJ)= 1,2 (m³/s)
- Equipo 2:
 - Central hidroeléctrica de Loriguilla. } Masa de agua 15.13.
 - Central hidroeléctrica de Chulilla. } Qeco(PHJ) = 1,2 (m³/s)
- Equipo 3:
 - Central hidroeléctrica de Portlux. }
 - Central hidroeléctrica de Gestalgar. }
 - Central hidroeléctrica de Bugarra. } Masa de agua 15.14.
 - Central hidroeléctrica de Pedralba. } Qeco(PHJ) = 1,8 (m³/s)
 - Central hidroeléctrica de La Pea. }

Valorando objetivamente los resultados, se ve como a la hora de implantar nuevos caudales ecológicos, superiores a los que presenta actualmente el PHJ 2015-2019, los equipos que tienen un mayor lucro cesante son el 1 y el 2, lógico teniendo en cuenta que son los que más producen y por lo tanto los que más ingresan. Pero si analizamos el lucro cesante de una forma porcentual, la parte que más porcentaje de sus ingresos iniciales perdería con la subida de los caudales es el equipo 3.

La propuesta de alternativas ha sido reflejada tras la evaluación de cada uno de los grupos y las consecuencias que supone la implantación de los distintos caudales. Se ha buscado una solución que trata de aunar el correcto estado ecológico de las masas de agua, así como la apuesta por la energía hidroeléctrica como una energía de garantías y de futuro. Las propuestas han sido las siguientes:

- Subida del caudal ecológico de 0,15 m³/s a 0,25 m³/s en la masa de agua 15.02.06.01, en el río Ebrón
- Homogeneizar el caudal ecológico en 1,8 m³/s aguas abajo de la presa del embalse de Benagéber, masas de agua 15.11,15.12 y 15.13.
- La masa de agua 15.14 la cual ya tiene implantado el caudal ecológico de 1.8 m³/s, en principio continuaría sin alteración.

Por último, en este estudio se ha observado la progresión de caudales diarios del año 2018 en su totalidad, con el fin de encontrar irregularidades en las actuaciones realizadas por las centrales hidroeléctricas en la actualidad. También es importante ver los caudales horarios y cincominutales, porque es donde puede afectar realmente la implantación de caudales ecológicos más altos. Pero tras la observación de los caudales intradiarios no se han encontrado irregularidades manifiestas en el flujo de los propios caudales.

9. Líneas futuras.

Este proyecto, tiene como objetivo principal la futura actuación de la Confederación Hidrográfica del Júcar en la implantación de nuevos caudales ecológicos en los próximos planes hidrológicos de cuenca. Esto puede servir de referencia para la elaboración de un estudio sobre el lucro cesante sobre cada una de las centrales con la implantación de nuevos caudales ecológicos, pues las propuestas que este estudio ofrece pueden orientar sobre que masas de agua pueden ser más vulnerables a las subidas y cuales menos.

Con la implantación de nuevos caudales ecológicos, en el próximo plan hidrológico de cuenca, se producirá un perjuicio sobre las empresas concesionarias de las centrales hidroeléctricas habidas en el río Turia. Es necesario, valorar y cuantificar el lucro cesante de cada una de las centrales afectadas con la implantación de un caudal ecológico, se analiza cada caso, comprobando que los daños son reales, y, si en las cláusulas de la concesión afectada hay referencia al lucro cesante, éste se concede, y si no la hay, no. Es decir, que, en caso de realizar un perjuicio económico a la empresa, en muchos de los casos será preceptiva una indemnización.

Para mitigar estas pérdidas que sufren las empresas hidroeléctricas, se pueden barajar una serie de alternativas. Una vez fijado un caudal ecológico y realizada la valoración cuantificada de las pérdidas que a la empresa le supone, se puede valorar las siguientes alternativas:

- El uso del espacio del espacio de concesión hidroeléctrica para la creación de un pequeño parque fotovoltaico o algún pequeño molino u otro tipo de sistemas que puedan compensar esa pérdida energética que ya no les va a poder satisfacer el río en determinadas circunstancias. Así, se aprovecharía el parque eléctrico y se mitigaría el lucro cesante de la empresa hidroeléctrica, con la concesión para la puesta de otro tipo de sistemas energéticos.
- Otro ejemplo que se podría realizar para compensar a las empresas por el lucro cesante sería prorrogar la concesión de las centrales afectadas por los nuevos caudales ecológicos como compensación por las pérdidas económicas que le suponen. Como actuó la Xunta de Galicia tras la aprobación del Plan Hidrográfico del Miño-Sil 2015-2021, que prorrogó las concesiones de las centrales minieléctricas como compensación tras una sentencia del tribunal supremo.



Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia



ANEJO 1. Datos previos del estudio.

En este anejo se presentarán los datos previos recolectados y empleados posteriormente para los cálculos y las observaciones que se realizan en el estudio de la presente memoria. En este anejo se encontrará los cálculos hidrológicos, hidroeléctricos y medioambientales, tal y como se expone en la metodología, para cada una de las centrales hidroeléctricas objeto del estudio.

El anejo tan solo será una exposición de datos, pues en la memoria ya ha sido explicado cómo se ha realizado la aplicación y en la metodología se explica brevemente cual ha sido el procedimiento a seguir. Es decir, el anejo será un conjunto de datos ordenados para las centrales.

ANEJO 2. Obtención y cálculo de los resultados.

En este anejo, se emplean los datos previos recolectados en el estudio para la observación, cálculo y obtención de resultados. Se pretende mediante la información medioambiental, hidrológica y hidroeléctrica, establecer unos rangos de turbinación para cada una de las centrales hidroeléctricas del río Turia, con el objetivo de calcular la producción potencial que tendrán estas centrales en los distintos escenarios propuestos y así obtener una aproximación del lucro cesante que se producirá sobre cada central.

La obtención de estos resultados es la que ayudará a tomar decisiones sobre las masas de agua, propuestas de mejora y llegar a una situación de acuerdo entre el estado ecológico de las masas de agua y la producción de energía por los aprovechamientos hidroeléctricos del sistema Turi



Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia





Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia



Firma del Autor:



Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia



REFERENCIAS.

PHJ, 2015. Plan Hidrológico de cuenca 2015-2021.

PHJ, 2015. Anejo 5 del Plan Hidrológico del Júcar referente al “Régimen de caudales ecológicos”.

PHJ, 2015. Anejo 3 del Plan Hidrológico del Júcar referente a “Usos y demandas del agua”.

Martínez-Capel et al., 2006. Estimación de las curvas de preferencia de microhábitat para determinadas especies piscícolas representativas como paso intermedio en el establecimiento de caudales medioambientales en los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Universidad Politécnica de Valencia. Investigación encargada por la Oficina de Planificación Hidrológica.

ROEA, 1988-2018. Red oficial de estaciones de aforo. Base de datos de caudales para los aforos de Los Santos de Castielfabib, Loriguilla y Bugarra desde 1988 hasta 2018.

SAIH, 1988-2018. Sistema automático de información hidrológica. Encargado de captar, transmitir en tiempo real, procesar y presentar aquellos datos que describen el estado hidrológico e hidráulico de la cuenta, incluyendo, por tanto, el conocimiento del régimen hídrico a lo largo de la red fluvial y el estado de las obras hidráulicas principales y de los dispositivos de control que en ellas se ubican. Base de datos de caudales para los aforos de Los Santos de Castielfabib, Loriguilla y Bugarra desde 1988 hasta 2018.

CHJ 2019. Base de datos de caudales, información sobre las centrales y sobre las producciones de estas proporcionadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

SIA Júcar, 1988-2018. Sistema de Información del Agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Datos relevantes desde 1988 hasta 2018.

ITE-UPV, 2010. Gestor de proyectos de Instalaciones Energéticas. Energías renovables, eficiencia y auditorías energéticas, diseño y explotación de instalaciones energéticas.

Las Provincias, 2015. Artículo en referencia a las obras de aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Júcar y especifica la historia de la energía hidroeléctrica, las centrales y la evolución que este sistema de producción energética ha tenido.

Ana Planells, 2015. Artículo sobre la arquitectura de las centrales hidroeléctricas del río Turia, donde se comenta parte de la historia de cada central y las características de su construcción.

Sociedad Valenciana de electricidad, 1921. Asociación encargada de la regulación energética en la Comunidad Valenciana desde 1882 hasta que fue disuelta.

BOE, 1941. Información del boletín oficial del estado sobre la concesión y la autorización de la obra de la central hidroeléctrica de Gestalgar.

Ministerio de fomento, 2015-2016. Información sobre las estaciones de aforo y datos sobre la cuenca.



Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en el río Turia



IDAE, 2006. Artículo del Instituto para la diversificación y ahorro de la energía sobre las centrales minielectricas y su funcionamiento.

Ayuntamiento de Liria, 2016. Artículo sobre la central de Saltos de Domeño, su puesta en marcha, y las características de la misma.

Generalitat Valenciana, 2018. Propuesta de plan de ordenación de los recursos naturales del Turia. Estudio ambiental y territorial estratégico.

Iberdrola, 2019. Información sobre las centrales gestionadas por la propia empresa, así como producciones proporcionadas a través de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Ministerio para la transición ecológica, 2019. Redes de seguimiento del estado e información Hidrológica.