



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en la Demarcación del Júcar. Cabecera río Júcar.

Presentado por

Mulet Rojas, Carlos

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Noviembre de 2019

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

Tutor: Estrela Monreal, Teodoro

Cotutor empresa: Regidor Perona, María Carmen





Índice

1	Introducción y objetivos.....	1
2	Ámbito.....	3
3	Antecedentes.....	7
3.1	Ámbito de España en la producción hidroeléctrica a nivel europeo	7
3.2	Plan Hidrológico de Cuenca 2015-2021.....	9
3.3	Masas de agua superficial.....	10
3.4	Caudal ecológico.....	10
3.5	Esquema del tramo.....	15
3.6	Historia de las centrales.....	17
3.6.1	Central hidroeléctrica La Toba.....	17
3.6.2	Central hidroeléctrica Villalba.....	19
3.6.3	Central hidroeléctrica La Torre.....	21
3.6.4	Central hidroeléctrica Las Grajas.....	22
3.6.5	Central hidroeléctrica El Batán.....	23
3.6.6	Central hidroeléctrica Molino de Santiago.....	24
3.6.7	Central hidroeléctrica El Castellar.....	26
3.6.8	Aforos.....	27
4	Problemática: Análisis de caudales intradiarios.....	29
4.1	Afección como consecuencia de la desviación de los caudales ...	30
4.2	Afección como consecuencia de la regulación hidroeléctrica.....	31
4.3	Afección en la velocidad de cambio en el hidrograma diario.....	33
4.4	Laminación en el uso hidroeléctrico.....	37
5	Metodología.....	39
6	Aplicación.....	43
6.1	Datos ambientales.....	43
6.2	Datos hidrológicos.....	44
6.3	Datos hidroeléctricos.....	45
6.4	Esquema de la central y curva de caudales clasificados.....	46
6.5	Escenario caudal ecológico 0.....	47
6.6	Escenario actual y futuros.....	49
6.7	Reducción de ingresos.....	52
7	Pérdidas de producción.....	55
7.1	Primer tramo: Central hidroeléctrica de La Toba y Villalba.....	55
7.2	Segundo tramo: Central Torre, Grajas, Batán y Molino Santiago.....	60



7.3	Tercer tramo: Central hidroeléctrica El Castellar.....	65
8	Beneficio ambiental.....	69
8.1	Primer tramo: Embalse de La Toba-Azud de Villalba.....	70
8.2	Segundo tramo: Azud de Villalba-Río Huécar.....	71
8.3	Tercer tramo: Río Huécar-Embalse de Alarcón	72
9	Resumen y conclusiones.	75
10	Líneas futuras.	79
11	Referencias.....	81
	Anejo I: Datos de partida.....	83
	Anejo II: Cálculo	83
	Anejo III: Caudales intradiarios.....	83

Índice de figuras

Figura 1. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y localización del estudio (CHJ)	3
Figura 2. Nacimiento del río Júcar, manantiales del estrecho de San Blas (Foto de Autor)	4
Figura 3. Mapa de la localización de las centrales escala 1:200.000	5
Figura 4. Potencia instalada de las centrales europeas 2004	7
Figura 5. Desarrollo por comunidades de la potencia instalada de minihidráulica e hidráulica 2004	7
Figura 6. Parachondrostoma arrigonis (Loina)	11
Figura 7. Luciobarbus guiraonis (Barbo mediterráneo)	12
Figura 8. Salmo trutta (Trucha común).....	12
Figura 9. Squalius pyrenaicus (Cacho)	13
Figura 10. Curva HPU máxima para la trucha común	13
Figura 11. Esquema del tramo del río con tomas y restituciones escala 1:300.000 elaborado mediante Arcmap	16
Figura 12. Embalse de La Toba (Foto de Autor)	18
Figura 13. Presa de La Toba y central hidroeléctrica (Iagua)	18
Figura 14. Laguna de Uña (Foto de Autor).....	20
Figura 15. Bocal y canal industrial derivador desde Laguna de Uña hasta El Salto (Foto de Autor)	20
Figura 16. Central hidroeléctrica de Villalba y tubería forzada (Energía hidráulica y protoindustria)	21
Figura 17. Central hidroeléctrica Las Grajas (Energía hidráulica y protoindustria)	22
Figura 18. Compuertas y canal de derivación de la central Las Grajas (Foto de Autor).....	23
Figura 19. Río Júcar a su paso por El Batán (Foto de Autor).....	24
Figura 20. Puente de San Antón y Presa de San Antón o Molino de Santiago (Foto de Autor)	25
Figura 21. Central hidroeléctrica Molino de Santiago y subestación de Cuenca (Foto de Autor).....	25
Figura 22. Central hidroeléctrica El Castellar y presa El Castellar (Energía hidráulica y protoindustria).	26
Figura 23. Estación de aforo de Venta de Juan Romero (Anuario de aforos)	27
Figura 24. Estación de aforo de Cuenca con canal de aguas bajas y vertedero de pared delgada (Foto de Autor)	28
Figura 25. Estación de aforo de San Lorenzo Parrilla (Anuario de aforos)	28
Figura 26. Gráfica de caudales cincominutales para el aforo de Cuenca el 4 de mayo de 2016.....	29
Figura 27. Esquema de los tramos de afectación por la desviación de caudales.....	30

Figura 28. Caudal circulante entre E. Toba y azud de Villalba el 15 de julio de 2018	31
Figura 29. Gráfica de caudales cincominutales para la salida de La Toba el 25 de mayo de 2018.....	31
Figura 30. Gráfica de caudales cincominutales para los aforos de Cuenca el 10 de enero de 2018 y San Lorenzo Parrilla el 11 de enero de 2018	32
Figura 31. Gráfica de caudales cincominutales para los aforos de Cuenca el 26 de enero de 2018 y San Lorenzo Parrilla el 27 de enero de 2018	33
Figura 32. Gráfica de caudales cincominutales para los aforos de Cuenca el 29 de enero de 2018 y San Lorenzo Parrilla el 30 de enero de 2018	33
Figura 33. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de Cuenca el 4 de mayo de 2016	34
Figura 34. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de Cuenca el 4 de julio de 2016.....	35
Figura 35. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de Cuenca el 4 de agosto de 2016	35
Figura 36. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de San Lorenzo Parrilla el 11 de enero de 2018.....	36
Figura 37. Gráfica de tasas de cambio de los caudales circulantes en la estación de aforo de Cuenca en el periodo de octubre 2017 a octubre 2018 (Borrador EPTi)	36
Figura 38. Gráfica de caudales cincominutales con el decremento e incremento registrado el 11 de enero de 2018.....	37
Figura 39. Esquema conceptual de la metodología seguida para el estudio	39
Figura 40. Serie histórica de caudales diarios totales de salida de la Presa de La Toba de 30 años	44
Figura 41. CCC asociada a la central hidroeléctrica de La Toba (azul: caudales circulantes, naranja: caudal ecológico tramo).....	45
Figura 42. Esquema simplificado del funcionamiento de la central hidroeléctrica de Villalba	46
Figura 43. CCC con caudal máximo y caudal mínimo turbinales representados	47
Figura 44. CCC para la central de Villalba con caudal ecológico 0	47
Figura 45. Grafica de la variación de la producción potencial anual en función del caudal ecológico	51
Figura 46. Grafica de la repercusión sobre el factor de uso de elevar el caudal ecológico.....	51
Figura 47. Grafica de los ingresos generados en cada escenario.....	52
Figura 48. Grafica de la reducción de ingresos por el aumento en los caudales ecológicos	52
Figura 49. Esquema funcionamiento centrales hidroeléctricas Toba y Villalba.....	56
Figura 50. Grafica de la variación de producción anual potencial del primer tramo estudiado.....	57
Figura 51. Grafica de los ingresos anuales generados en el primer tramo estudiado.....	57

Figura 52. Grafica de reducción de ingresos de los distintos caudales ecológicos para el primer tramo	58
Figura 53. Grafica con el porcentaje de reducción de los ingresos en el primer tramo	59
Figura 54. Esquema funcionamiento centrales hidroeléctricas Torre, Grajas, Batán y molino de Santiago.....	60
Figura 55. Grafica de la variación de producción anual potencial del segundo tramo estudiado	62
Figura 56. Grafica de los ingresos anuales generados en el segundo tramo estudiado.....	62
Figura 57. Grafica de reducción de ingresos de los distintos caudales ecológicos para el segundo tramo.....	63
Figura 58. Grafica con el porcentaje de reducción de los ingresos en el segundo tramo	64
Figura 59. Esquema funcionamiento central hidroeléctrica Castellar.....	65
Figura 60. Grafica de la variación de producción anual potencial del tercer tramo estudiado.....	66
Figura 61. Grafica de los ingresos anuales generados en el tercer tramo estudiado.....	67
Figura 62. Grafica del coste de implementación de los distintos caudales ecológicos para el tercer tramo	67
Figura 63. Grafica con el porcentaje de reducción de los ingresos en el tercer tramo	68
Figura 64. Trucha común Española (masmar)	69
Figura 65. Curva HPU máxima para las distintas etapas de la trucha común en el primer tramo	70
Figura 66. Relación diferencial entre el hábitat generado y las perdidas producidas a las centrales en el primer tramo.....	70
Figura 67. Curva HPU máxima para las distintas etapas de la trucha común en el segundo tramo.....	71
Figura 68. Relación diferencial entre el hábitat generado y las perdidas producidas a las centrales en el segundo tramo	72
Figura 69. Curva HPU máxima para las distintas etapas de la trucha común en el tercer tramo	73
Figura 70. Relación diferencial entre el hábitat generado y las perdidas producidas a las centrales en el tercer tramo.....	73



Índice de tablas

Tabla 1. Masas de agua de la con la categoría río en el tramo de estudio (DHJ)	10
Tabla 2. Masas de agua con caudal mínimo y máximo en el tramo del estudio.....	11
Tabla 3. Centrales hidroeléctricas del tramo estudiado afectadas por los caudales ecológicos	14
Tabla 8. Rango de tasas de cambio y tramo de aplicación	34
Tabla 4. Cálculo de la potencia y la producción por intervalos de probabilidad de ocurrencia para la central hidroeléctrica de La Toba	48
Tabla 5. Costes registrados de producción por la CHJ y media del precio del MWh	49
Tabla 6. Rango de caudales ecológicos mínimos estudiados para la central hidroeléctrica La Toba.....	50
Tabla 7. Rango de caudales ecológicos mínimos estudiados para las centrales ubicadas en el segundo tramo	61

1 Introducción y objetivos.

El presente estudio efectúa una revisión acerca del funcionamiento hidráulico y producción energética del modelo actual que emplean las centrales hidroeléctricas. Este trabajo se centrará en las centrales ubicadas en el Alto Júcar.

El modelo a emplear será de tipo estadístico para comprobar los efectos producidos a nivel económico sobre dichas centrales. Para ello, se efectuará un análisis del coste que repercutirá un aumento de los caudales ecológicos actuales sobre las masas de agua donde se encuentran.

En la sociedad actual, puede observarse un aumento del consumo energético y por ello, se debe asegurar que las energías renovables preservan el medio ambiente. Para que sean realmente sostenibles, en el caso de la hidráulica que trata el presente estudio, se ha de alcanzar un equilibrio entre lo que es el buen estado de las masas de agua y la producción rentable de estas fuentes de energía. Dada la situación actual en la que se encuentra esta tecnología y su mayor rendimiento en comparación de otras energías renovables, se debería buscar la producción de energía con la hidráulica siempre que fuese posible.

Para poder conservar en la medida de lo posible las especies que habitan en dichos ecosistemas, se deben considerar los caudales naturales del río y respetar los ecológicos. Es por eso, que se deberán producir el menor número de impactos posibles, protegiendo las masas de agua según lo desarrollado por el Plan Hidrológico de Cuenca.

El estudio se aplicará a las centrales hidroeléctricas emplazadas en el curso alto del Júcar. A lo largo del recorrido, se encuentran la central de La Toba (pie de presa); a continuación, aguas abajo estarán ubicadas la central de Villalba (deriva el agua desde el embalse de Uña hasta el depósito de El Salto) y, por orden de aparición siguiente, La Torre, Las Grajas, El Batán, Molino de Santiago y, por última, El Castellar (todas ellas centrales fluyentes). Para todas ellas se van a analizar los caudales ecológicos, estudiando los flujos del río tanto a nivel diario como intradiario, comprobando las fluctuaciones que se producen en las masas de agua y se analizarán posibles escenarios para un futuro.

Cabe mencionar que el presente Trabajo Final de Grado se ha efectuado en equipo, con mis compañeros Alejandro Sánchez Sáez y Sergio Amoedo Fernández, con el tramo del Turia y el Mijares respectivamente cada uno. A pesar de que la metodología es similar en los tres casos, debido a que se ha realizado conjuntamente por los miembros mencionados anteriormente,



cada tramo de río ha tenido una problemática diferente. Debido a este hecho, se ha llevado a efecto práctico la metodología propuesta de forma concreta para cada caso.

2 Ámbito.

La Demarcación Hidrográfica del Júcar se encuentra situada geográficamente en el extremo central este de la Península Ibérica. Esta limita con las demarcaciones del Ebro al norte, Segura al sur y la del Tajo, Guadiana y Guadalquivir al oeste, bordeada por el Mediterráneo al este. La superficie total del territorio de la demarcación es de 42.735 km².



Figura 1. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y localización del estudio (CHJ)

En el interior de la Demarcación, el río Júcar es un río mediterráneo que tiene su nacimiento en el Cerro de San Felipe, en la serranía de Tragacete, en la provincia de Cuenca. El origen se debe a una serie de manantiales, nutridos por un acuífero calizo, que van incorporándose al cauce del río como puede verse en la figura siguiente. Este, finalmente desemboca en la ciudad de Cullera, después de haber recorrido 498 km.



Figura 2. Nacimiento del río Júcar, manantiales del estrecho de San Blas (Foto de Autor)

El tramo donde se encuentra enmarcado el estudio pertenece a la cabecera del río Júcar. Este comprende desde el embalse de La Toba hasta el embalse de Alarcón, incluidas en esta sección, 3 masas de agua diferenciadas. Estas están clasificadas de la 18.04 a la 18.06. Para esta zona del río son siete las centrales hidroeléctricas que se encuentran, las cuales podrán verse localizadas en la figura a continuación.

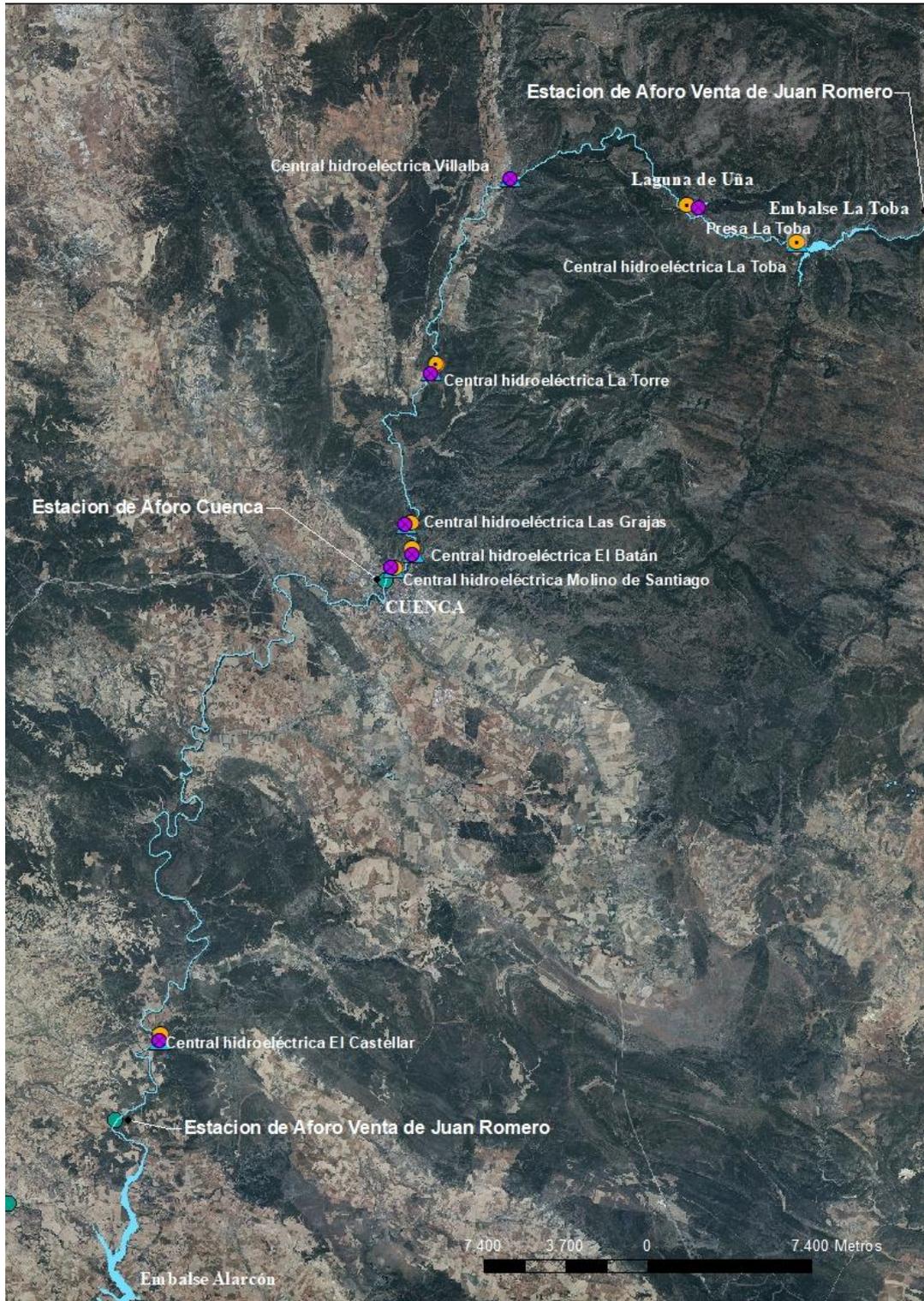


Figura 3. Mapa de la localización de las centrales escala 1:200.000

3 Antecedentes.

3.1 Ámbito de España en la producción hidroeléctrica a nivel europeo

España cuenta con una posición notoria en el ámbito hidroeléctrico dentro del panorama europeo. Ya en el año 2004 se ostentaba el tercer puesto en minihidráulica y, el cuarto en hidráulica como puede observarse en la comparativa de los gráficos de la siguiente figura.

La energía hidroeléctrica se puede clasificar en función de la potencia instalada de las centrales que la producen, siendo grandes centrales (mayor de 10 MW) las que se encontrarían dentro del área de la hidráulica y pequeñas centrales (igual o menor de 10 MW) las que se encontrarían dentro del área de la minihidráulica.

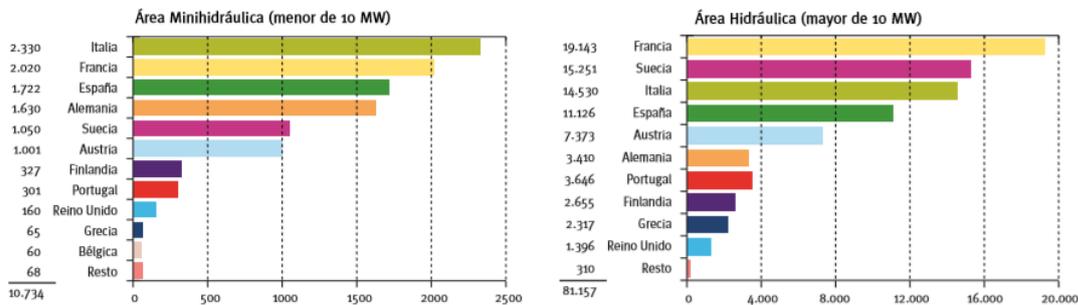


Figura 4. Potencia instalada de las centrales europeas 2004

A nivel interno de España, la distribución que hay por comunidades autónomas es variable, encontrando en el área de las minicentrales en cabeza a Castilla y León, seguida de Cataluña y Galicia. Dentro del marco de las centrales más grandes estaría Cataluña por delante, seguida de Aragón y Galicia.

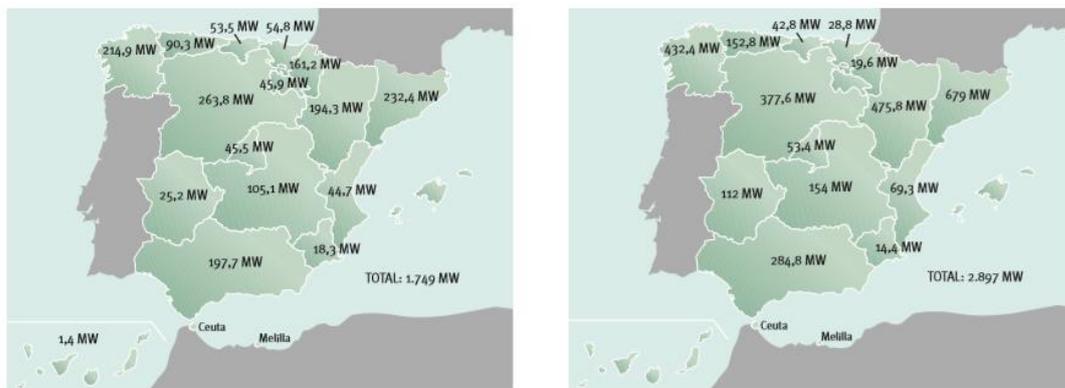


Figura 5. Desarrollo por comunidades de la potencia instalada de minihidráulica e hidráulica 2004



Según indica el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), la producción hidroeléctrica del territorio en España es muy variable y está muy condicionada por la variabilidad hidrológica. En periodos húmedos se puede sobrepasar la producción de 40.000 GWh al año, sin embargo, para periodos muy secos esta cifra se vería sensiblemente afectada no alcanzando si quiera los 25.000 GWh anuales (IDAE, 2006).

Este fuerte vínculo de la producción hidroeléctrica, ligada siempre a la meteorología, se visualiza claramente el año 2017, donde una fuerte sequía azotó la península. Esta provocó una disminución de la producción ese año hasta valores de 18.361 GWh, casi un 50% menor que en el periodo de 2016. Supuso unos valores de aportación al conjunto energético tan bajos que hay que remontarse al año 2005 para ver unos datos similares según indica Red Eléctrica Española (REE, 2017).

3.2 Plan Hidrológico de Cuenca 2015-2021

Este plan desarrolla lo descrito en Texto Refundido Ley de Aguas (TRLA) donde establece la planificación hidrológica como un requerimiento. Con ello se pretende conseguir tanto el buen estado como la adecuada protección de las masas de agua que conforman la Demarcación, a la par que la satisfacción de las demandas de agua y el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial.

Para la consecución de estos objetivos, deberán incrementarse las disponibilidades del recurso, debiendo proteger su calidad. Al mismo tiempo se reducirá el coste de su empleo y racionalizará sus usos para crear un equilibrio en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

Para alcanzarlos, la planificación hidrológica se basará en criterios de sostenibilidad para el uso del agua mediante una gestión integrada y protegiendo a largo plazo los recursos hídricos. De este modo se prevendrá el deterioro del estado de las aguas, protegiendo y mejorando el medio y los ecosistemas acuáticos y reduciendo la presencia de contaminantes. De la misma forma, la planificación hidrológica contribuirá a minimizar los efectos que tienen las inundaciones y sequías.

Para la elaboración del plan, la Confederación Hidrográfica del Júcar siguió un proceso de tres etapas para su correcto desarrollo: una primera, en base al Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH). En esta etapa, se elaboró un programa de trabajo en el cual se incluyó el calendario con las fases previstas, estudio general de la Demarcación y las fórmulas de consulta. Seguidamente, una segunda etapa donde se elaboró un Esquema Provisional de Temas Importantes (EpTI) en materia de gestión de aguas de la Demarcación. Y, finalmente, otra tercera en la que se lleva a cabo la redacción del Plan Hidrológico.

Mediante el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), se completa la trasposición de la Directiva Marco del Agua (DMA). En relación a la planificación, se desarrolla tanto el contenido de los planes hidrológicos como los procedimientos para su elaboración, aprobación, seguimiento y revisión.

En el reglamento también se observa el concepto de demanda de agua como componente económico y se definen objetivos ambientales. Este detalla también los criterios para la determinación del estado de las masas de agua, donde incluye a los caudales ecológicos y se recogen los planes especiales de actuación frente alerta o los de riesgos por sequía y los de protección frente a inundaciones.

3.3 Masas de agua superficial

Puede encontrarse en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) la definición de masa de agua superficial como una parte diferenciada y significativa, teniendo como ejemplos los lagos, embalses, corrientes, ríos o canales, aguas de transición o tramos de aguas costeras. Estos ejemplos podrían clasificarse por su categoría según ríos, lagos, aguas de transición y costeras. A su vez, pueden estar clasificadas en base a su naturaleza como naturales, artificiales o muy modificadas.

La Confederación Hidrográfica del Júcar ha definido 304 masas de agua con la categoría río, 257 de ellas son ríos naturales, 43 son masas de agua muy modificadas y 4 masas de agua artificiales.

El sistema de explotación del Júcar cuenta con 143 masas de agua superficial, con una longitud de unos 2.900 km.

Este estudio se va a centrar en las masas de agua 18.04, 18.05 y 18.06 pertenecientes al tramo analizado. Las tres correspondientes al ecotipo R-T12 de ríos de montaña mediterránea calcárea de carácter natural.

Código UE	Código	Nombre	Ecotipo	X	Y	Naturaleza	Área (km ²)	Long (km)
ES080MSPF18.03	18.03	E. La Toba	E-T07	-1,91	40,21	Muy modificada	0,98	
ES080MSPF18.04	18.04	Río Júcar: E. La Toba - Az. Villalba	R-T12	-2,04	40,25	Natural		29,55
ES080MSPF18.05	18.05	Río Júcar: Az. Villalba - Río Huécar	R-T12	-2,14	40,16	Natural		62,26
ES080MSPF18.06	18.06	Río Júcar: Río Huécar - E. Alarcón	R-T12	-2,25	39,99	Natural		95,78

Tabla 1. Masas de agua de la con la categoría río en el tramo de estudio (DHJ)

3.4 Caudal ecológico

En base a la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), el régimen de caudales ecológicos es el que permite mantener de forma sostenible la función y estructura de los ecosistemas acuáticos, incluyendo también los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos y aguas de transición. Para conseguir este objetivo, este deberá cumplir dos requisitos:

- Se deberán proporcionar condiciones adecuadas de hábitat para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados. Esto se realizará mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.
- Se tendrá que ofrecer un patrón temporal de los caudales que permita la existencia, admitiendo solo cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y de sus hábitats asociados que permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

Para determinar los caudales mínimos dentro del régimen de caudales ecológicos, se emplean tanto métodos hidrológicos como de modelación

del hábitat. Para ello, tomará periodos homogéneos y representativos en base a la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas. Se identifican por lo menos dos periodos distintos dentro del año conforme lo indicado en la IPH.

Código masa de agua	Nombre masa de agua	Espacio con protección	Caudal mínimo (m³/s)		Hidrorregión	Caudal máximo (m³/s)												Tasa de cambio	
			Situación ordinaria	Situación de sequía		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Ascendente (m³/s/h)	Descendente (m³/s/h)
18.03	E. La Toba	Sí	-	-	2													4,89	-2,01
	Río Júcar: E. La Toba - Az. Villalba	Sí	0,34	**	2													4,89	-2,01
	E. La Toba - Los Cortados - Az. Villalba	Sí	0,48	**	2													4,89	-2,01
18.04	Río Júcar: Az. Villalba - Río Huécar	Sí	0,62	**	2	9	9	9	9	10	10	11	9	9	9	9	9	4,89	-2,01
18.05	Río Júcar: Río Huécar - E. Alarcón	Sí	0,62	**	2													4,89	-2,01

Tabla 2. Masas de agua con caudal mínimo y máximo en el tramo del estudio

El régimen de caudales ecológicos caracterizará a todas las masas de agua superficial incluidas dentro de la categoría de ríos y en las tipologías de estuario de las aguas de transición que se encuentran dentro de la DHJ. Para determinar el régimen de caudales ecológicos de una masa de agua, tendrá que tenerse en consideración los requerimientos ambientales de las masas de agua asociadas a ella para obtener un régimen de caudales que cumpla con los objetivos anteriormente mencionados.

En las masas de agua estudiadas, puede observarse que el régimen de caudales afecta directamente a las especies autóctonas que las habitan como puede ser la Loina (*Parachondrostoma arrigonis*), el Barbo (*Luciobarbus guiraonis*), la Trucha (*Salmo trutta*) o el Cacho (*Squalius pyrenaicus*).

- *Parachondrostoma arrigonis*, Steindachner, 1866. Loina: Ciprínido endémico de la cuenca del Júcar, de tamaño medio que no suele superar los 30 cm de longitud total. Su cuerpo es alargado con la cabeza relativamente pequeña y boca dirigida hacia abajo, provista de una lámina córnea. Esta característica le permite alimentarse de algas y pequeños invertebrados adheridos a las piedras del fondo realizando una especie de “raspado” sobre el substrato. Son de carácter gregario y se reproducen en los tramos altos de los ríos entre los meses de marzo y mayo.



Figura 6. *Parachondrostoma arrigonis* (Loina)

- *Luciobarbus guiraonis*, Steindachner, 1866. Barbo mediterráneo: Ciprínido que puede alcanzar un gran tamaño, superando los 50 cm y el kilo de peso. El cuerpo es alargado y la cabeza pequeña en la

que los machos muestran unos marcados tubérculos nupciales durante la época de reproducción (de abril a junio). Es una especie endémica de España, distribuida fundamentalmente en la cuenca hidrográfica del Júcar, con alguna población manchega en el alto Guadiana. Prefiere aguas tranquilas en los cursos medios y bajos, casi siempre cerca del fondo.



Figura 7. *Luciobarbus guiraonis* (Barbo mediterráneo)

- *Salmo trutta*, Linnaeus, 1758. Trucha común: Salmónido de talla media, que en la demarcación del Júcar no suele superar los 45 cm de longitud. La coloración es variable, normalmente con manchas negras y rojas oceladas. Vive en aguas rápidas y frías. Su alimentación está basada fundamentalmente en invertebrados bentónicos, insectos y moluscos. Los adultos pueden consumir también peces y anfibios. La época de freza se concentra entre noviembre y enero. La puesta se deposita en sustrato tipo grava. Es un excelente indicador de calidad de las aguas.



Figura 8. *Salmo trutta* (Trucha común)

- *Squalius pyrenaicus*, Günther, 1868. Cacho: Ciprínido endémico de la península Ibérica, de tamaño medio que no alcanza los 30 cm de longitud total. La cabeza es grande con la boca terminal situada en posición súpera. Tiene la base de las escamas pigmentada de negro. La reproducción tiene lugar entre los meses de abril y julio. Los ejemplares jóvenes suelen ser bastante gregarios formando grupos cerca de las orillas, mientras que los adultos prefieren aguas más profundas.

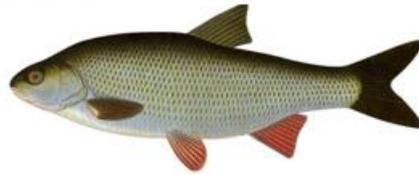


Figura 9. *Squalius pyrenaicus* (Cacho)

De las cuatro especies citadas anteriormente, se constató que la especie más representativa para el tramo de estudio era la trucha común. Esta es la especie más restrictiva al ser la que mayor caudal requiere. La Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) elaboró un estudio específico en 2011, “*Evaluación del régimen de caudales medioambientales en el río Júcar entre el embalse de La Toba y Cuenca*”, estudiando el tramo aguas abajo de la presa de La Toba. Por tanto, este tramo de estudio también se incluyó en el actual Plan Hidrológico de Cuenca (2015-2021).

Se produjeron modelos que simulan un conjunto de caudales, representando así las condiciones hidráulicas que pueden darse entre los caudales circulantes más bajos y el caudal de cauce lleno estimado. Mediante estos modelos y partiendo de sus curvas de preferencia de las especies objetivo, se han obtenido curvas que relacionan el hábitat potencial útil (HPU) con el caudal, a partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat. La curva HPU para la trucha común se puede observar en la siguiente figura.

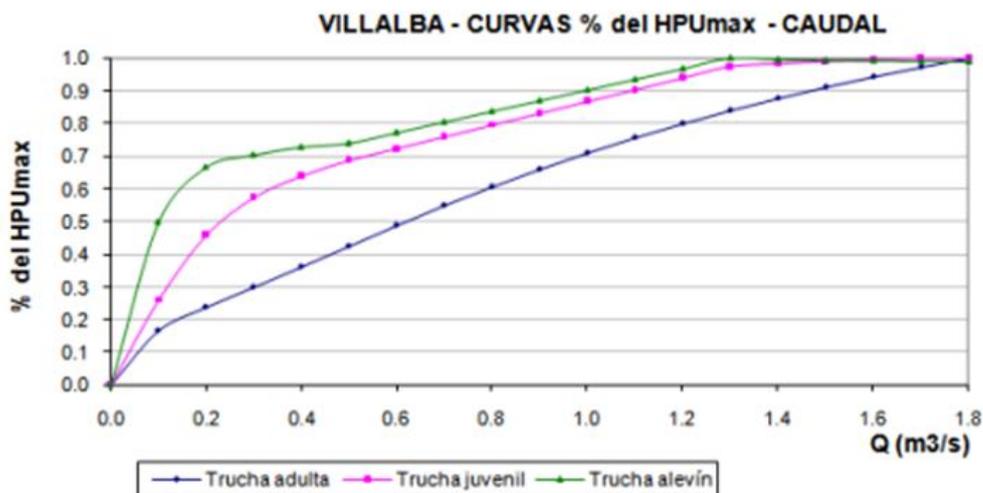


Figura 10. Curva HPU máxima para la trucha común

Esta curva de hábitat potencial útil máximo sirve a modo de indicador, que mide la habitabilidad para la especie en cuestión en función de las condiciones hidrológicas dadas.

Debido a ello, se deberá tener en cuenta el entorno de los ecosistemas ya que podrá ser modificado en mayor medida por el uso hidroeléctrico. Este uso, que pueden hacer las centrales, se ve limitado en cierta medida a la componente base que debe circular por el río como caudal ecológico, de forma que no se podrán turbinar esos caudales. Por ello, para evitar afecciones al medio natural y a las especies que lo habitan, se restringen los caudales mínimos, máximos y se implantan tasas de cambio a las centrales que quieren tener una producción energética en toda la Demarcación Hidrográfica.

Ámbito	Nombre de la Central	Qmin (m3/s)	Qmax (m3/s)	Tasa Cambio (m3/s/h)	
Júcar Alto:	La Toba	0,34	No procede	No procede	No procede
	Villalba	No procede	No procede	No procede	No procede
	Las Grajas, El Batán	0,62	9	4,89	-2,01
	Molino de Santiago, El Castellar	0,62	No evaluado (9)*	4,89	-2,01

* Dato orientativo de la masa de agua más próxima

Tabla 3. Centrales hidroeléctricas del tramo estudiado afectadas por los caudales ecológicos

Mayoritariamente, las presiones que suelen afectar a las masas de agua tipo lagos o aguas de transición por la regulación, se efectúan para poder tener un aprovechamiento agrícola. Dentro de las masas de agua objeto del estudio, se encuentra una excepción que es la Laguna de Uña, donde su uso es con fines hidroeléctricos.

El contenido de los caudales ecológicos deberá recogerse en los planes hidrológicos de cuenca para cada sistema debido a que viene determinado de dicha manera por El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) y la Ley de Aguas (LA).

3.5 Esquema del tramo

El sistema de explotación del Júcar cuenta con una superficie de 22.359,04km² en la cual se encuentran 143 masas de agua superficial con una longitud de unos 2.900 km. El río Júcar tiene su nacimiento en el cerro de San Felipe y al final de él se produce la desembocadura en Cullera. A lo largo de su recorrido, los principales afluentes son el Cabriel, el Cañoles y el Magro. Para este estudio, el objeto se centrará en el tramo del Alto Júcar, ubicado en la provincia de Cuenca que discurre desde el embalse de La Toba hasta el embalse de Alarcón.

Contenidas en él la masa 18.04 que comprende desde el embalse de La Toba hasta el azud Villalba, teniendo una longitud de 29,55 km. La masa 18.05, que va desde el azud Villalba hasta el Río Huécar, tiene una extensión de 62,26 km. Y, para concluir, la masa de agua 18.06, que discurre desde el Río Huécar hasta el embalse de Alarcón que comprende 95,78 km.

Dentro del tramo del estudio están localizadas siete centrales hidroeléctricas, de las cuales seis de ellas son de baja potencia, con una potencia instalada menor a 1 MW. Al tener una potencia instalada menor de 10 MW, se pueden ubicar en el área de la minihidráulica. Además, al ser mayoritariamente fluyentes, no comportan mayor afección al caudal circulante por el tramo.

La central hidroeléctrica con mayor importancia, ya que genera un impacto mayor, es la central de Villalba. Esta central, no solo cuadruplica la potencia instalada de todo el resto de centrales juntas, sino que además condiciona los flujos del río aguas abajo de su restitución. Puede observarse como esta produce picos en la escala temporal intradiaria. Estos son vistos en los aforos sucesivos que se encuentran.

Leyenda:

-  Central hidroeléctrica
-  Punto de toma
-  Punto de restitución
-  Estación aforo



Figura 11. Esquema del tramo del río con tomas y restituciones escala 1:300.000 elaborado mediante Arcmap

3.6 Historia de las centrales

3.6.1 Central hidroeléctrica La Toba

Ubicada la central hidroeléctrica de La Toba en el municipio de Uña, provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha). La Central con código 0501 (Demarcación Hidrográfica del Júcar, DHJ), situada en la masa de agua 18.04, cuenta con un salto bruto de 16,8 metros y tiene una turbina, la cual le proporciona una potencia instalada de 0,775 MW. Esta se ubica a los pies de la presa de La Toba de la cual capta el agua y la restituye a la Laguna de Uña. La titularidad de la central recae en Gas Natural SGD S.A.

Se crea en 1920 Sociedad Eléctrica de Castilla que se encargará de acometer el acondicionamiento hidroeléctrico del río Júcar en un tramo de aproximadamente 20 km en el interior de la serranía de Cuenca. Para su aprovechamiento, combinarán las aguas del arroyo de Uña antes de verter en el Júcar y se delimitará la laguna de Uña, la cual tiene una cota unos 6 m, superior que la del río Júcar, con una extensión de unas 6 hectáreas de superficie.

Mediante el programa del salto de Villalba, se ejecutarán las obras de la presa de la Toba (de unos 35 hm³) con capacidad de regular el caudal del Alto Júcar y se creará un canal alimentador desde el Júcar hasta la laguna de Uña, la cual también contará con actuaciones de mejora. Además, mediante el real decreto del 18 de octubre de 1923, se otorgó a la Sociedad Eléctrica de Castilla una concesión para la construcción de un pantano regulador del río Júcar en el lugar de la Toba.

Cuatro años más tarde, salió el decreto del 1 de abril de 1927, donde quedó anulada la anterior concesión. Tras esto, se dispuso que la ejecución de la obra debería llevarla a cabo el Estado (propietario del embalse y encargado de la regulación del río). El objetivo era destinarlos a nuevos regadíos o mejorar los existentes y al aprovechamiento industrial.

El Estado dispuso que la Sociedad Eléctrica de Castilla contribuiría con un 50% del presupuesto de la ejecución de las obras. Esta aportación le proporcionaba derecho al aprovechamiento de la energía que pudiera obtener en el salto de pie de presa durante 99 años. La Sociedad redactó el proyecto del pantano que se aprobó el 11 de diciembre de 1929, con un presupuesto de 14.951.000 ptas.

Se constituyó la junta de obras encargada de ejecutar la presa prevista para 40 hm³, 54 m de altura de presa y una longitud de coronación de 252 m. Ya en 1940, el pantano de la Toba solo tenía capacidad de embalsar 12 hm³ (primeros tiempos en la provincia de Cuenca).



Figura 12. Embalse de La Toba (Foto de Autor)

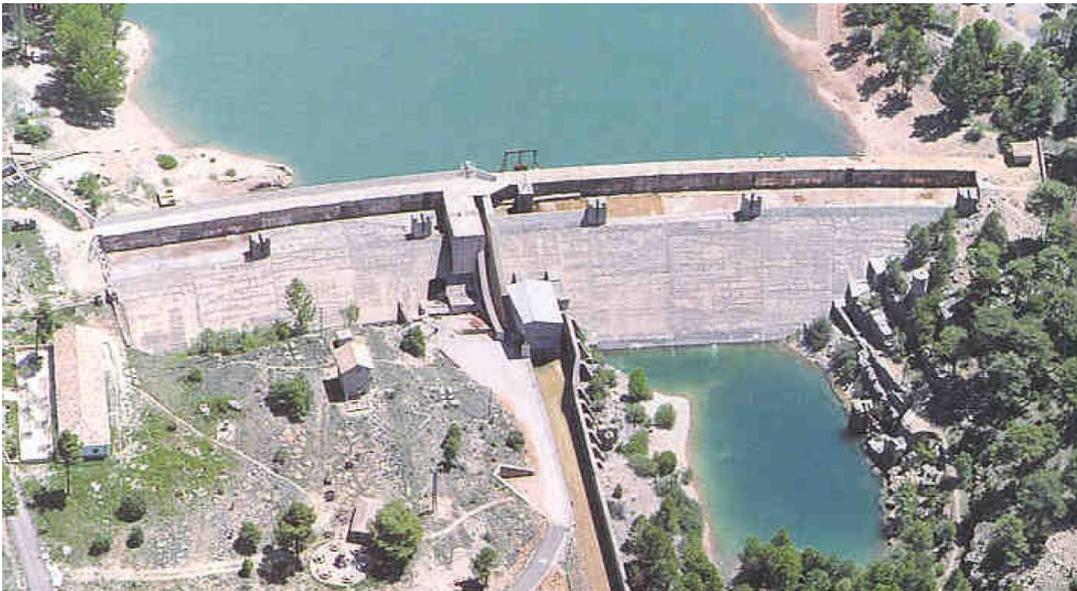


Figura 13. Presa de La Toba y central hidroeléctrica (iagua)

3.6.2 Central hidroeléctrica Villalba

La central hidroeléctrica de Villalba se encuentra situada en el municipio de Villalba de la Sierra, provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha), dentro de la mancomunidad de El Campichuelo. Con código 0502 (DHJ) la central se sitúa en la masa de agua 18.05, su salto bruto es de 152,2 metros y cuenta con dos grupos de turbinas siendo de 5,63 MW la potencia instalada en el grupo 1, y 5,58 MW, en el grupo 2.

La toma se encuentra en la laguna de Uña desde donde se deriva el agua mediante un canal hasta el depósito de El Salto, desde donde arranca la cámara de carga y las tuberías forzadas. La titularidad de la central la recibe Gas Natural SGD S.A.

Unión Eléctrica Madrileña, S.A. corrió a cargo de la construcción de la central. Esta fue inaugurada y puesta en funcionamiento el año 1926, a cuyo acto acudió Alfonso XIII. A finales de los años ochenta, la concesión pasa a sus actuales propietarios, Unión Eléctrica FENOSA, S.A., tras la fusión de la Unión Eléctrica Madrileña, S.A. y Fuerzas Eléctricas del Noroeste, S.A., en el año 1982.

Destaca de la central la fábrica del canal, construida con base de mampostería y morteros de cal, formada por dos edificios adosados (sala de máquinas y casa de transformación y salida de líneas). Hasta ella se conducen las aguas de la concesión, de unos 1.000 L/s procedentes de la laguna de Uña y 9.000 L/s del Júcar.

Mediante el programa de salto de Villalba, se produjo la mejora de la laguna de Uña mediante un dique, aliviaderos de superficie, un desagüe de fondo y un bocal del canal industrial. Este último está completado por túneles, sifones y acueductos hasta llegar al gran depósito regulador en la partida de El Salto, donde en el extremo de esta, la cámara de carga partiría con dos tuberías hasta la central (primeros tiempos en la provincia de Cuenca).

El emplazamiento de la central fue previamente estudiado ya que esta se situó aguas abajo de un gran desfiladero que ofrece el Júcar, en un tramo menos confinado y más protegido contra las avenidas extraordinarias. En las inmediaciones de la central, se desarrolló un pequeño poblado con varios edificios de viviendas, una casa de dirección, una escuela y una capilla. La central de Villalba pronto quedó conectada con el salto de Bolarque (de la Unión Eléctrica Madrileña) y Madrid.

Las presiones logradas en las turbinas son tales que, incluso teniendo caudales magros, las potencias logradas eran importantes (energía hidráulica y protoindustria).



Figura 14. Laguna de Uña (Foto de Autor)



Figura 15. Bocal y canal industrial derivador desde Laguna de Uña hasta El Salto (Foto de Autor)

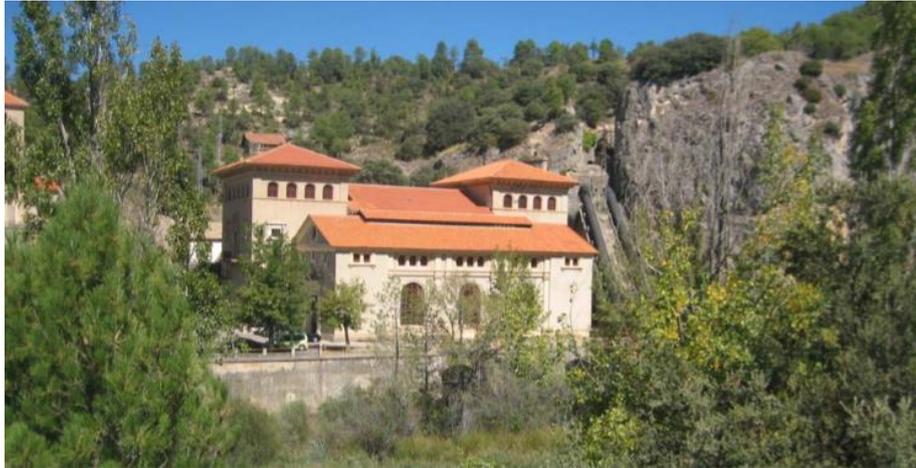


Figura 16. Central hidroeléctrica de Villalba y tubería forzada (Energía hidráulica y protoindustria)

3.6.3 Central hidroeléctrica La Torre

La central hidroeléctrica de La Torre se encuentra en el municipio de La Mariana, provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha), dentro de la mancomunidad de El Campichuelo. Con código 0503 (CHJ), la central se sitúa en la masa de agua 18.05. Atendiendo a sus características, su salto bruto es de 6,9 metros y cuenta con una turbina, la cual le dota de una potencia instalada de 0,39 MW. La titularidad de la central es de José Fernando Díaz-Cordobés Udaeta.

Esta central es conocida como la Fábrica de Luz de la Torre. Sus orígenes se remontan a mediados de los años 30 del siglo XX. De planta rectangular, el edificio tiene tres partes diferenciadas: un primer cuerpo en el que alberga los generadores (de 225 KWA cada uno y una tensión entre 550 y 15.000 V) con una disposición completamente diáfana en toda su altura. La segunda parte del inmueble, más corta, está rematada por una torre para la instalación de la red eléctrica hacia los puntos de destino. Y, por último, el tercer elemento, más pequeño aún que el anterior, con dos plantas para dependencias de la fábrica. Finalmente, cabe añadir que en el nivel inferior hay un semisótano que da acceso a las turbinas. Todo el conjunto está coronado por una cubierta a dos aguas de tejas árabes (energía hidráulica y protoindustria).

3.6.4 Central hidroeléctrica Las Grajas

La central hidroeléctrica de Las Grajas se encuentra localizada junto a la carretera CM 21005, a la altura del km 2,900 en el municipio de Cuenca, provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha). Con código 0504 (DHJ), la central se sitúa en la masa de agua 18.05. Cuenta con un salto bruto de 7 metros y presenta dos grupos de turbinas dotando de una potencia instalada de 0,256 MW en el primer grupo y 0,168 MW en el segundo. La titularidad de la central la recibe José Fernando Díaz-Cordobés Udaeta.

La central está emplazada en la margen izquierda del Júcar, en la partida de las Grajas, donde aprovecha las aguas del río que capta y conduce desde el azud, emplazado a unos 200 m de la fábrica, y su canal propio. El inicio de su actividad se produjo a principio del siglo XX y se constituyó en sociedad anónima en el primer tercio del mismo siglo. Fue entonces cuando se integró a través de la adquisición de acciones con otra empresa conquense: Alumbrado Eléctrico de Cuenca. Esta aportó como pago de las acciones adquiridas, entre otros bienes, la central hidroeléctrica que se encuentra aguas abajo, en la partida de la Hoz del Júcar: El Batán. Eléctrica Conquense forma parte de los subsistemas, fruto de fusiones y absorciones empresariales, de Iberdrola y Gas Natural (energía hidráulica y protoindustria).



Figura 17. Central hidroeléctrica Las Grajas (Energía hidráulica y protoindustria)



Figura 18. Compuertas y canal de derivación de la central Las Grajas (Foto de Autor)

3.6.5 Central hidroeléctrica El Batán

La central hidroeléctrica El Batán está ubicada próxima al paraje conocido como “Playa del Júcar”, dentro del municipio de Cuenca, provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha). Con código 0505 (DHJ) la central se sitúa en la masa de agua 18.05. Esta cuenta con un salto bruto de 3,8 metros y presenta una única turbina, la cual aporta una potencia instalada de 0,316 MW. La titularidad de la central la recibe José Fernando Díaz-Cordobés Udaeta.

La central fue también propiedad de la empresa Eléctrica Conquense S.A. Acuñada como El Batán, se le otorgó este nombre debido a que la central hidroeléctrica fue con anterioridad un molino harinero y, se considera muy probable, que a lo largo de su vida también un batán. Con un estado de conservación bueno, el edificio ocupa una superficie aproximada de unos 240 m², sobre los que se levantan el semisótano y dos plantas. La cubierta fue construida a dos aguas con tejas árabes. El azud está emplazado sobre el lecho del río Júcar en el paraje de recreo denominado “Playa del Júcar”. Las compuertas actuales datan de 1983 (energía hidráulica y protoindustria).



Figura 19. Río Júcar a su paso por El Batán (Foto de Autor)

3.6.6 Central hidroeléctrica Molino de Santiago

La central hidroeléctrica de Molino de Santiago se localiza pasado el puente de San Antón, en el mismo núcleo de la capital de la provincia, al final de la calle Bajada de la Fábrica en el municipio de Cuenca (Castilla-La Mancha). Con código 0506 (DHJ), la central se sitúa en la masa de agua 18.05. Cuenta con un salto bruto de 3,5 metros y cuenta con una única turbina de 0,2 MW de potencia instalada. La titularidad de la central la recibe José Fernando Díaz-Cordobés Udaeta.

El Molino de Santiago o San Antón, conocido anteriormente como Fábrica de Luz, tiene raíces medievales y fue molino harinero. Llegó a contar con cinco pares de muelas, hasta que progresivamente dejó de funcionar como tal para transformarse en fábrica de luz.

Esta experimentó una evolución similar a la presenciada en la central eléctrica de El Batán. Debido a que formaba parte de los activos que la compañía Alumbrado Eléctrico de Cuenca empleó para la compra de acciones de Eléctrica Conquense en 1925, su evolución siguió los mismos pasos.

Fue a partir de entonces cuando sucedieron los acontecimientos que llevaron al cese de la actividad en el antiguo molino harinero, debido a que los nuevos propietarios decidieron instalar un grupo de 150 KVA. Este grupo precisaba de la totalidad de los 6.200 L/s de agua de la concesión, caudal que era captado en el azud construido bajo el cercano puente de San Antón.

A partir de los años sesenta, se instalaron en los terrenos del Molino de Santiago la Subestación de Cuenca, propiedad de Unión Fenosa, empresa de distribución de electricidad (energía hidráulica y protoindustria).



Figura 20. Puente de San Antón y Presa de San Antón o Molino de Santiago (Foto de Autor)



Figura 21. Central hidroeléctrica Molino de Santiago y subestación de Cuenca (Foto de Autor)

3.6.7 Central hidroeléctrica El Castellar

Ubicada la central hidroeléctrica El Castellar en la partida de Hoya Honda, en el término municipal de la Parra de las Vegas, en la margen derecha del río Júcar, provincia de Cuenca (Castilla-La Mancha). Con código 0507 (DHJ), la central se sitúa en la masa de agua 18.06. Esta cuenta con un salto bruto de 8,2 metros y presenta dos grupos de turbinas siendo la potencia instalada de 0,2 MW el primer grupo y 0,3 MW el segundo. La titularidad actual de la central la tiene Saltos del Júcar, S.L.

Emplazado muy próximo a la central, se encuentra un puente romano sobre el río por el que pasaba la calzada romana que unía Valeria con Segóbriga. La Central capta el agua directamente del lecho del río mediante un enorme azud que secciona el cauce de parte a parte de forma diagonal. El caz, semejante en tamaño al río que discurre paralelo por su izquierda, desemboca en el salto.

El edificio, muy similar a la fábrica de luz en Mariana, Central Hidroeléctrica de La Torre, tiene una nave principal rectangular y una torre en el centro para facilitar la salida de la red eléctrica. La cubierta de la torre está hecha a cuatro aguas y es de tejas árabes, mientras que el tejado del resto del edificio es de dos aguas y lo cubren placas de fibrocemento.

Esta pequeña fábrica de luz, siguiendo como ejemplo de otras vistas anteriormente, se construyó a principios del siglo XX. Finalmente, en 1922 las obras terminaron (energía hidráulica y protoindustria).



Figura 22. Central hidroeléctrica El Castellar y presa El Castellar (Energía hidráulica y protoindustria).

3.6.8 Aforos

En el tramo del río objeto del estudio, se encuentran tres estaciones de aforo de la red ROEA. Emplazadas ambas en la masa de agua 18.06, proporcionan los datos sobre los caudales circulantes en esos puntos de manera diaria.

La primera estación que aparece es el aforo de Venta de Juan Romero. Con código de estación 08126, ubicada aguas arriba de la cola del embalse de La Toba. La finalidad será medir los aportes del río a embalse para comprobar las entradas que registra el embalse y el caudal circulante por el río.



Figura 23. Estación de aforo de Venta de Juan Romero (Anuario de aforos)

La segunda estación del estudio es el aforo de Cuenca, código de la estación 08032, en plena ciudad de Cuenca, aguas debajo de la central hidroeléctrica de Molino de Santiago y pasado el azud El Sergal.



Figura 24. Estación de aforo de Cuenca con canal de aguas bajas y vertedero de pared delgada (Foto de Autor)

Finalizando el tramo de la masa de agua, se encuentra el aforo de San Lorenzo Parrilla, código de la estación 08091. Este está ubicado aguas abajo de la central hidroeléctrica El Castellar y unos kilómetros antes de llegar a la cola del embalse de Alarcón.



Figura 25. Estación de aforo de San Lorenzo Parrilla (Anuario de aforos)

Los dos últimos aforos son de interés ya que reflejan el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas aguas arriba de ellos. Además, muestran el comportamiento de producción a la hora de turbinar dentro del día, pudiendo estudiar con los datos el fenómeno de “Dientes de sierra”. Esto es producido por las centrales hidroeléctricas al arrancar y parar turbinas en un mismo día diversas ocasiones, comportando oscilaciones del caudal circulante por el río.

4 Problemática: Análisis de caudales intradiarios.

Para la obtención de las CCC, se han empleado los datos proporcionados por las estaciones de aforo. Estos datos registrados han sido las medias diarias, las cuales cumplen con el caudal ecológico. Para conocer mejor lo sucedido realmente a lo largo del día en el río, se analizarán los datos cincominutales para la salida de la presa de La Toba, de la estación de aforo de Cuenca y la de San Lorenzo Parrilla.

Obtenidos los datos cincominutales de 5 años equivalentes al periodo del 2014 al 2018, se observará lo que sucede para cada día de los años mencionados. Como puede observarse en las gráficas, una vez se ha efectuado la representación de los datos, aparece un fenómeno que va a denominarse como “dientes de sierra” o hidropuntas. Esto es debido, a causa de que dentro de un mismo día aparecen fluctuaciones de caudal con forma de onda de hasta tres o más picos en algunas ocasiones, como se ha podido visualizar. Puede verse un ejemplo en la figura siguiente.

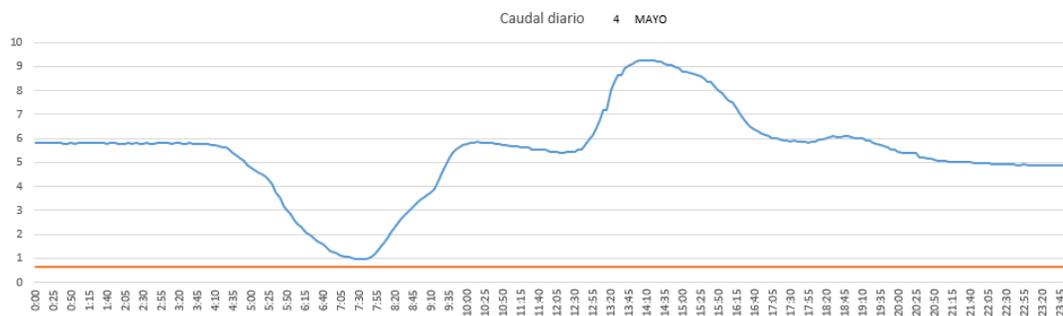


Figura 26. Gráfica de caudales cincominutales para el aforo de Cuenca el 4 de mayo de 2016

Estos “dientes de sierra”, aparecen como consecuencia de la producción de la central hidroeléctrica de Villalba. Cuando la central comienza a turbinar, el caudal del río se ve incrementado significativamente al restituirse los caudales turbinados a este. El aumento tan significativo es debido a que, durante la mayor parte del tiempo, desde la presa de La Toba se deja pasar únicamente poco más del caudal ecológico al río. El resto del caudal saliente es turbinado por la central hidroeléctrica de La Toba y derivado hasta la laguna de Uña, donde conforme las necesidades de producción hidroeléctricas lo requieran, serán derivados hasta Villalba.

Cuando la central detiene la producción, es cuando el caudal circulante por el río decrece y se vuelve a aproximar al flujo de fondo que hay cercano al caudal ecológico, más los aportes recibidos en el camino.

4.1 Afección como consecuencia de la desviación de los caudales

Las centrales hidroeléctricas efectúan un uso no consuntivo del agua, aprovechando este recurso cuando se encuentra a mayor cota que las turbinas hidroeléctricas para generar energía eléctrica. Para ello deben derivar caudales de agua del río hasta la central hidroeléctrica si son fluyentes, o a un depósito en altura para aprovechar una mayor energía potencial.

En el tramo de estudio, esto se materializa como una afección a los caudales circulantes por el río. Como se ha podido observar, en régimen normal, el caudal que circula desde La Toba hasta el azud de Villalba es únicamente el caudal ecológico mínimo que sale por el desagüe de fondo. Esto produce un deterioro hidrológico al río durante un tramo que corresponde con la primera masa de agua de 30 kilómetros. El resto de los tramos también se ven afectados, pero la repercusión es distinta. Como consecuencia de las centrales fluyentes, entre los puntos de toma y los puntos de restitución de estas se produce una disminución de los caudales circulantes entre los 100 y 300 metros de distancia. Como se puede observar en la figura siguiente, todo el tramo de estudio sufre estas desviaciones de caudal.

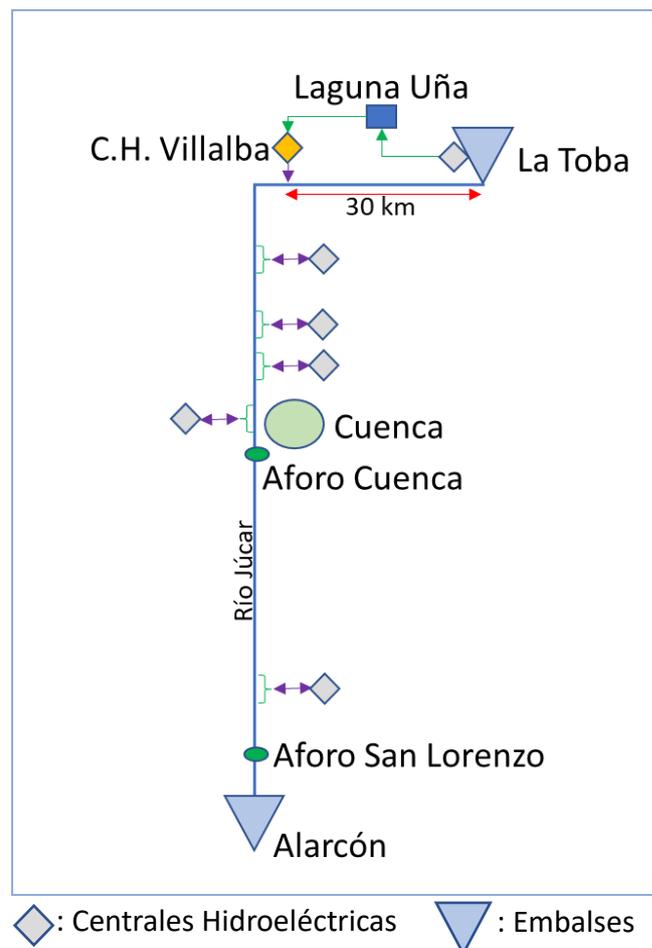


Figura 27. Esquema de los tramos de afección por la desviación de caudales

Por el canal Júcar-Uña se deriva el agua turbinada por la central de pie de presa de La Toba, dejando únicamente por el río la línea verde que puede observarse en el hidrograma diario de la figura adjunta, que corresponde con el caudal ecológico mínimo de 0,34 m³/s.

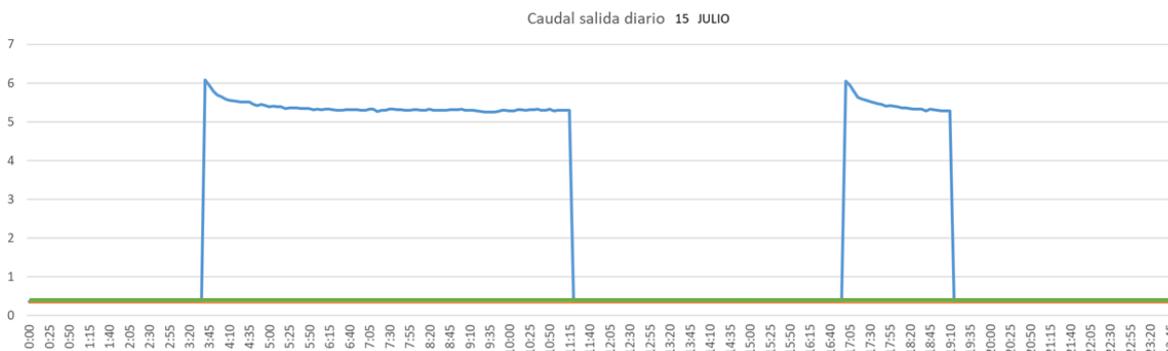


Figura 28. Caudal circulante entre E. Toba y azud de Villalba el 15 de julio de 2018

Este hecho afecta a las especies piscícolas locales dado que no podrán disponer de todo el hábitat útil que les pueda ofrecer el río.

4.2 Afección como consecuencia de la regulación hidroeléctrica

Dentro de la central de La Toba también ocurre algo parecido a lo observado para la central de Villalba. Para este caso como el retorno de esta central va al canal de derivación a Uña, no afecta al río y por tanto no tendrá que cumplir las restricciones impuestas de las tasas de cambio. Lo que se pueden observar en las gráficas de caudales intradiarios, unos patrones de turbinación algo inusuales ya que en principio se turbinan a horas valle que no debería.

Dentro del día, se produce la puesta en marcha del grupo de turbinación en distintos momentos. Estas turbinas arrancan desde una cuantía poco superior al caudal ecológico de 0,34 m³/s, hasta el valor de caudal máximo que pueden turbinar de 5,7 m³/s. Esto produce la aparición de estos “dientes de sierra” tanto por la central de la Toba como se puede ver a continuación, como por la central de Villalba que afecta a todo el tramo de estudio.



Figura 29. Gráfica de caudales cincominutales para la salida de La Toba el 25 de mayo de 2018

A nivel de afección a los caudales del río por parte de estas hidropuntas, la central hidroeléctrica de Villalba se encuentra a más de 60 km de la estación de aforo de Cuenca, registrándose en ella las fluctuaciones del caudal diario. Se ha podido observar una estrecha relación también, aguas debajo de la central El Castellar, donde se registran estas hidropuntas de caudal debido a que está alterando el flujo natural del río. En el aforo de San Lorenzo Parrilla, a más de 140 km de Villalba, se ha apreciado como varía a lo largo del día el caudal circulante. No se produce un fenómeno tan acusado como en Cuenca, pero se observan cambios en el régimen de flujo entre 3 y 6 m³/s o mayores, en periodos de tiempo significativamente cortos. Esto es producido por la producción hidroeléctrica de la central de Villalba como se constata en Cuenca; además del efecto laminador de la presa del Castellar. Esta le permite a la central del Castellar, almacenar un pequeño volumen de agua y turbinarlo posteriormente aumentando la producción, con un efecto de laminación de caudales observado como se analizará en posteriores apartados. Por lo tanto, y como se ha podido observar en el estudio de los caudales intradiarios, el efecto de las hidropuntas que se observa en el aforo de Cuenca se presenta también en el aforo de San Lorenzo Parrilla, con un desfase de 18 a 20 horas principalmente. Este suceso se puede observar con unos ejemplos a continuación, marcadas con líneas discontinuas las correlaciones.

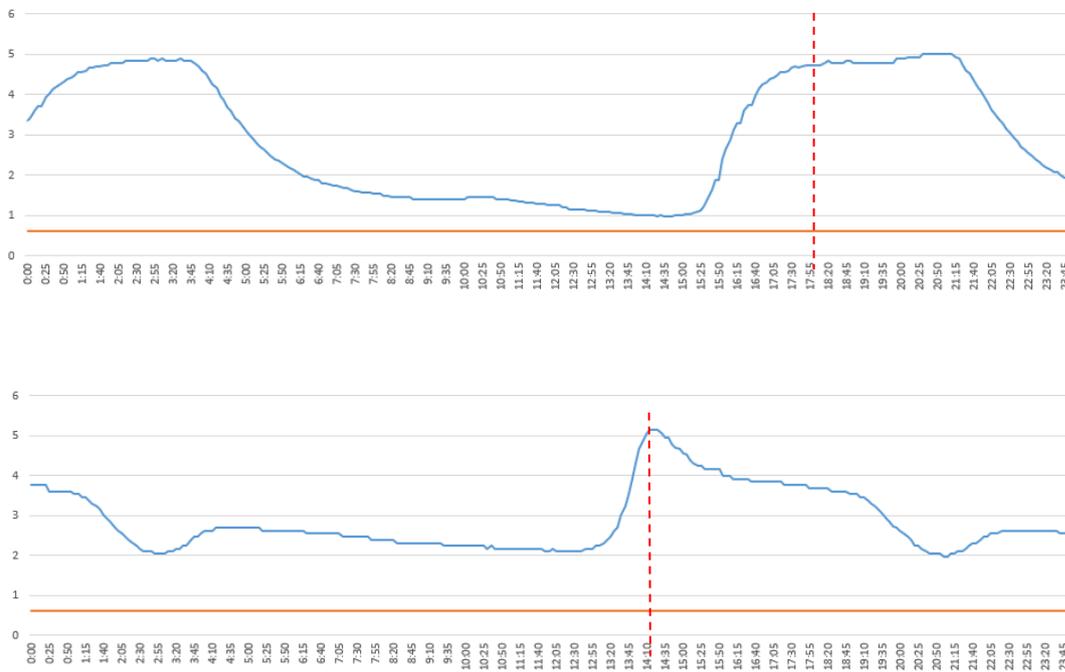


Figura 30. Gráfica de caudales cincominutales para los aforos de Cuenca el 10 de enero de 2018 y San Lorenzo Parrilla el 11 de enero de 2018

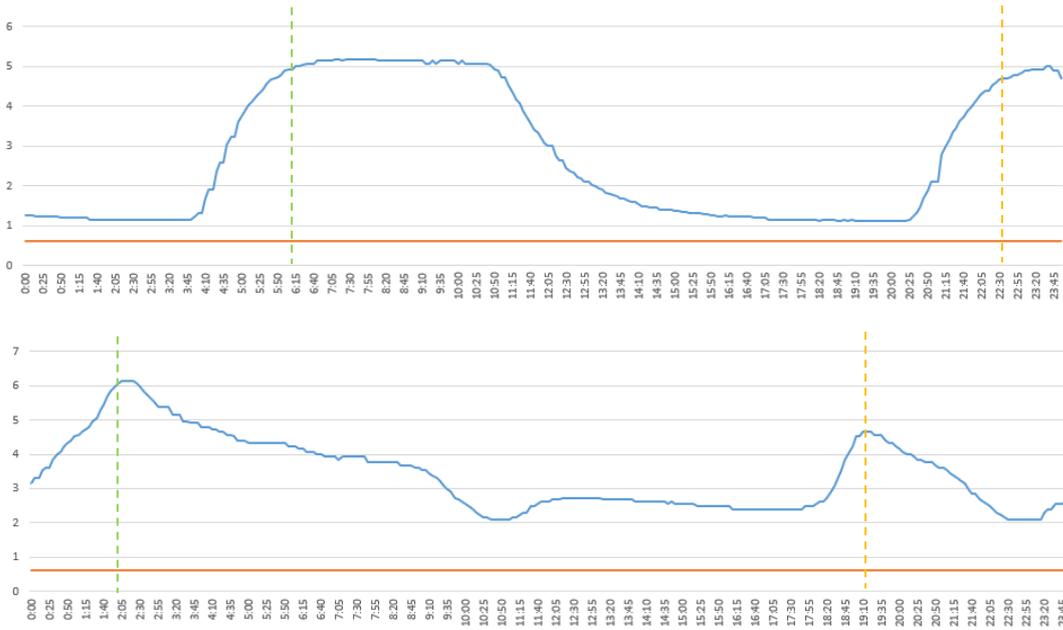


Figura 31. Gráfica de caudales cincominutales para los aforos de Cuenca el 26 de enero de 2018 y San Lorenzo Parrilla el 27 de enero de 2018

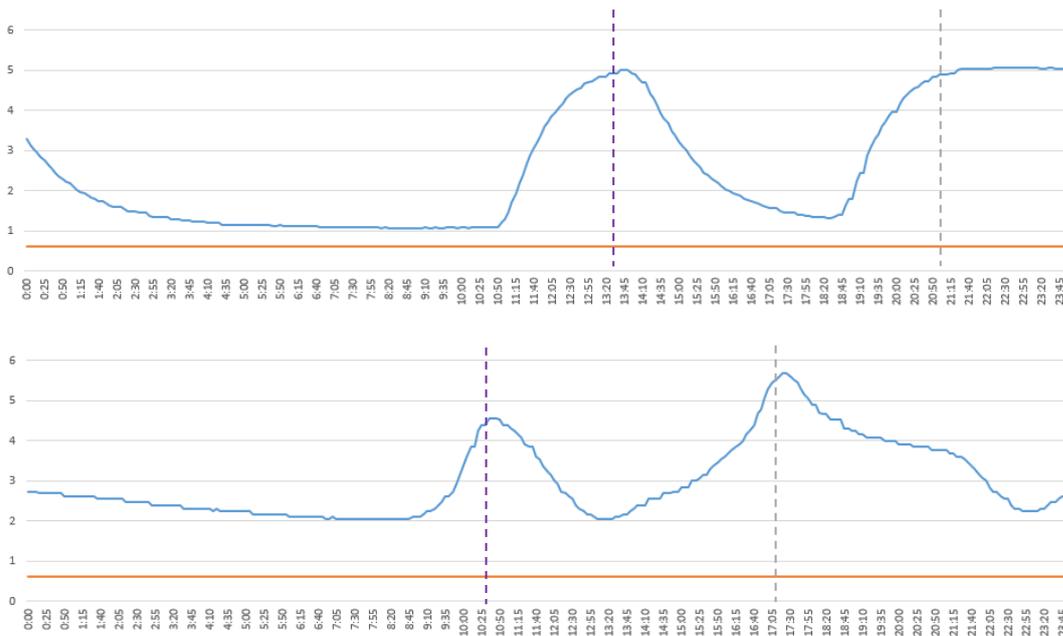


Figura 32. Gráfica de caudales cincominutales para los aforos de Cuenca el 29 de enero de 2018 y San Lorenzo Parrilla el 30 de enero de 2018

4.3 Afeción en la velocidad de cambio en el hidrograma diario

Se entiende por tasas de cambio lo referente a la rapidez con la que se producen los cambios de unas magnitudes a otras, afectando a la capacidad de respuesta de la biota.

Estas se han establecido con el objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales en las infraestructuras de regulación.

Para ello, se han estimado las tasas de cambio como la pendiente de los hidrogramas que mejor reflejen las máximas crecidas ordinarias, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal. En el tramo de estudio, la CHJ ha establecido las tasas de cambio que se muestran en la siguiente tabla.

Sistema de Explotación	Punto de cálculo	Estación de Aforo ROEA		Tramo de aplicación	Intervalos de valores máximos de la tasa de cambio			
		Código	Nombre		Ascendente		Descendente	
					(m ³ /s/min)	(m ³ /s/h)	(m ³ /s/min)	(m ³ /s/h)
Júcar	1	08126	Venta de Juan Romero	Río Júcar desde cabecera hasta la masa de agua 18.06 (entrada al embalse de Alarcón) y sus afluentes.	0,08	4,89	-0,03	-2,01

Tabla 4. Rango de tasas de cambio y tramo de aplicación

Como límite ascendente se puede observar que la tasa de cambio es de 4,89 m³/s/h; mientras que, para el límite descendente esta es -2,01 m³/s/h. Se procederá a comprobar su cumplimiento para las gráficas de los días mostrados en el apartado anterior, y algunos propuestos sacados del Anejo III, pero no se van a estudiar. Esta comprobación se efectuará dentro de estas gráficas, en las pendientes más pronunciadas observadas.

Como se puede observar en la figura siguiente para el 4 de mayo de 2016, se han estudiado tres tasas de cambio dentro del mismo día. Desde las 4:35 hasta 6:50 horas, la tasa de cambio descendente (Tc_{des}) es de -1,81 m³/s/h. Entre las 7:50 y 9:35, se encuentra la tasa de cambio ascendente (Tc_{as}) de 2,308 m³/s/h. Por último, la siguiente tasa de cambio analizada, producida durante la hidropunta entre las 12:50 y 13:35 es la Tc_{as} de 3,62 m³/s/h. Todas ellas están dentro de los límites establecidos.

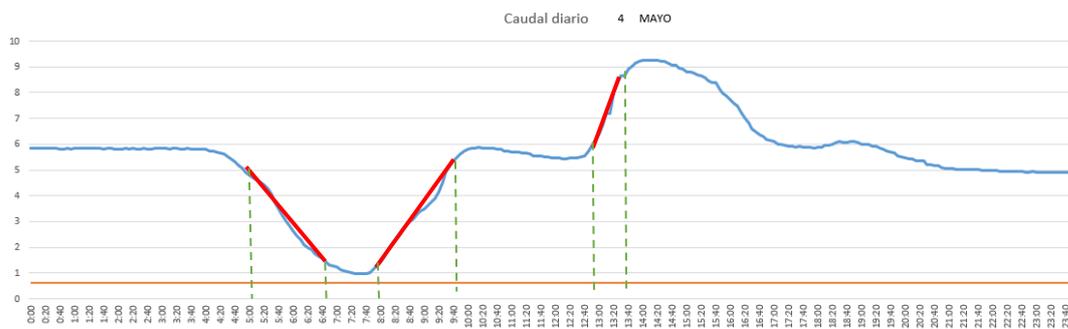


Figura 33. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de Cuenca el 4 de mayo de 2016

Para el siguiente día estudiado, correspondiente al 4 de julio de 2016, se analizará una única tasa de cambio. Esta se encuentra comprendida en la pendiente de la recta comprendida entre las 18:40 y 20:00 horas, donde su Tc_{des} es de -1,37 m³/s/h. Por lo tanto, está comprendida dentro del límite mínimo de -2,01 m³/s/h, pudiendo observarse la pendiente en la figura siguiente.

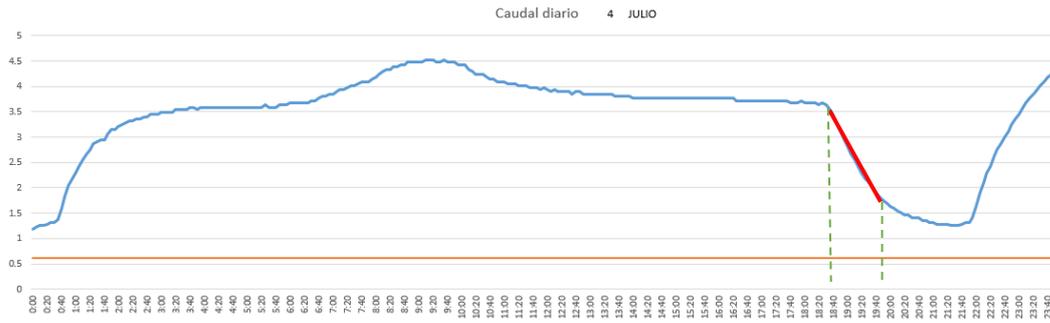


Figura 34. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de Cuenca el 4 de julio de 2016

El siguiente caso que se muestra es el 4 de agosto de 2016, se analizará en el como muestra la figura a continuación, una única tasa de cambio. Desde 14:45 hasta las 17:05 horas, se produce una pendiente importante con T_{cas} de $2,42 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$. Pese a producirse una variación de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ en este periodo, al ser durante algo más de 2 horas, cumple con la tasa de cambio ascendente marcada.

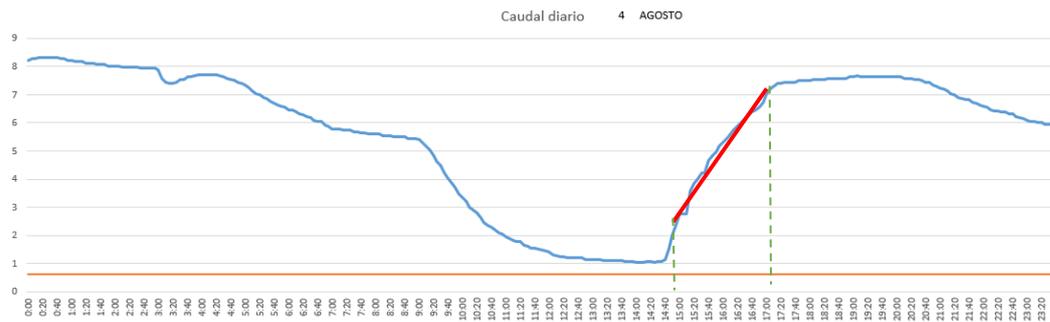


Figura 35. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de Cuenca el 4 de agosto de 2016

El último caso mostrado será para el día 11 de enero de 2018, donde se analizarán dos tasas de cambio producidas en la hidropunta. En el periodo de la 13:30 hasta las 14:05 horas, se produce una pendiente con T_{cas} de $3,79 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$. Transcurridos 25 minutos cuando empieza a disminuir el caudal, se puede observar en la figura a continuación, como entre las 14:30 y las 15:30, la pendiente de la recta que se produce tiene una T_{des} de $-0,90 \text{ m}^3/\text{s}/\text{h}$. Ambas estarían comprendidas entre los límites ascendentes y descendentes fijados en el PHC.

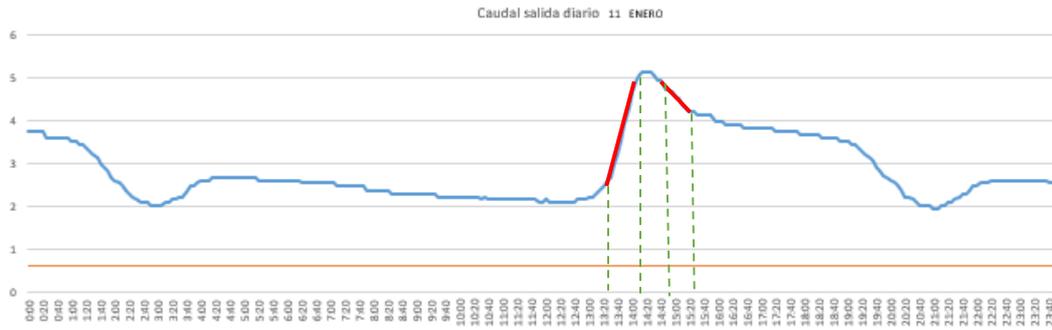


Figura 36. Gráfica de caudales cincominutales con tasas de cambio para el aforo de San Lorenzo Parrilla el 11 de enero de 2018

Como se ha visto en los días mostrados, se podría producir un aumento en los caudales circulantes de forma ascendente de casi $5 \text{ m}^3/\text{s}$ y de forma descendente de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ en una hora, cumpliendo con las limitaciones establecidas en el Plan Hidrológico. Por ello y como se muestra a continuación, aunque se tengan puntas en los caudales cincominutales, al ser en varias horas o de forma escalonada a lo largo del día, cumplen con las limitaciones de las tasas de cambio. Como se observa en la figura, del periodo de octubre de 2017 a octubre de 2018, se cumplen las tasas de cambio como se había confirmado a excepción de momentos puntuales ocasionados por crecidas.

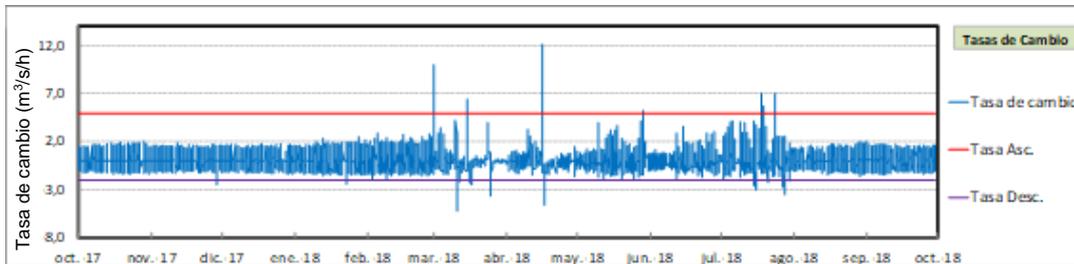


Figura 37. Gráfica de tasas de cambio de los caudales circulantes en la estación de aforo de Cuenca en el periodo de octubre 2017 a octubre 2018 (Borrador EPTi)

4.4 Laminación en el uso hidroeléctrico

Durante el análisis de los hidrogramas de los caudales cincominutales, se ha observado como en la estación de aforo de San Lorenzo Parrilla, aparece un decremento temporal del caudal circulante. Esta disminución del caudal circulante tiene una duración registrada de alrededor de 2 horas, pasadas las cuales el caudal vuelve a incrementarse en aproximadamente $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Asociadas a estas disminuciones de caudal, se producen en el hidrograma horas después, mayores picos acentuados sobre las hidropuntas provenientes de la central hidroeléctrica de Villalba. Este suceso de las hidropuntas ocurre como se ha podido estudiar, de forma más marcada cuando le precede el decremento de caudal mencionado, en contraposición a cuando no se produce. Tanto el decremento como el incremento registrado en los hidrogramas se pueden observar con un ejemplo en la figura siguiente.

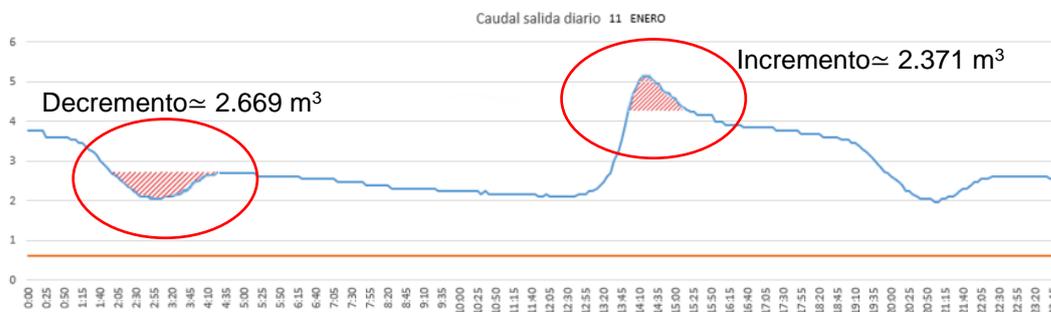


Figura 38. Gráfica de caudales cincominutales con el decremento e incremento registrado el 11 de enero de 2018

Efectuada una aproximación del volumen que podían comportar, para comprobar su relación, se ha cuantificado el volumen del decremento entorno a los 2.670 m^3 . Respecto al incremento del hidrograma, se ha obtenido un volumen aproximado de 2.370 m^3 en un periodo de algo más de 1 hora. Por ello, observada esta relación entre ambos volúmenes del hidrograma, se puede concluir que la alteración producida en los caudales es debida a un primer almacenamiento en el azud del Castellar. Con objetivo de maximizar el aprovechamiento hidroeléctrico, para alcanzar un caudal mayor, se produce una acumulación en el azud citado. Posteriormente, cuando se produce la siguiente hidropunta desde aguas arriba del río, ese volumen acumulado es empleado para aumentar el caudal circulante que puede turbinar la central del Castellar. Esta práctica genera esas puntas en los hidrogramas, donde las rectas ascendentes que se producen tienen una elevada tasa de cambio, dentro de los límites establecidos.

5 Metodología.

Para el desarrollo completo del objetivo principal del estudio, se van a seguir 6 fases como se observa en la siguiente figura. Dentro de ellas, para las distintas masas de agua, va a efectuarse una recogida de datos que continuará con el posterior procesado para adecuarlos a las necesidades del proyecto. Finalmente, para obtener todos los datos de forma adecuada, se efectuará el cálculo basado en un análisis estadístico tanto de las producciones, como de las pérdidas económicas de las diversas centrales. Esto se efectuará para conocer la repercusión económica que supondría un aumento en las masas de agua a estudiar.

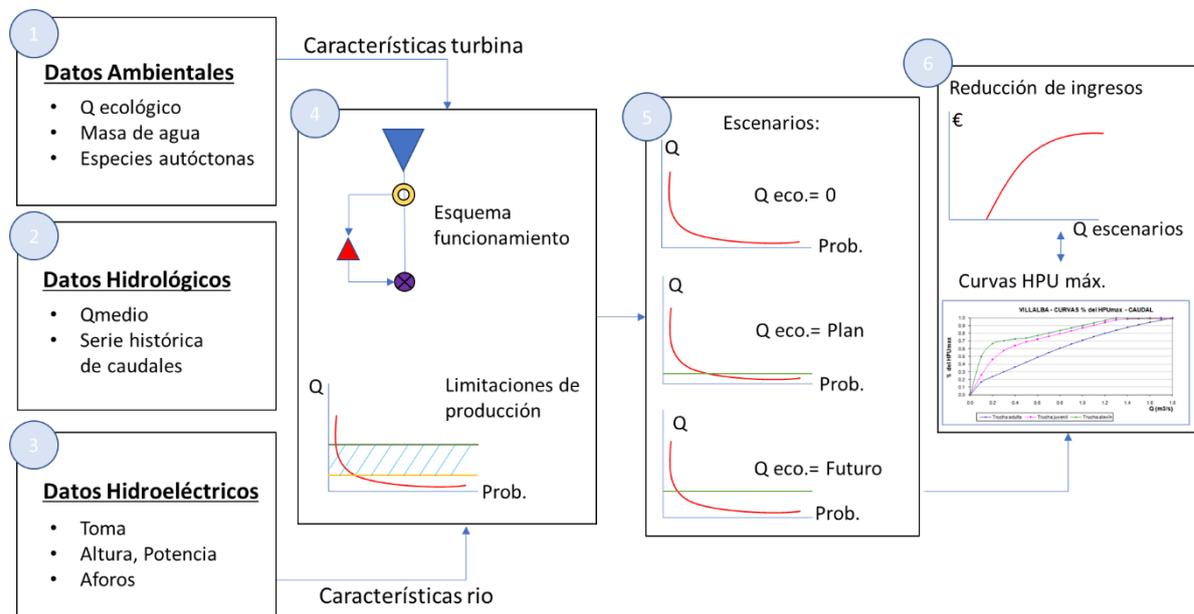


Figura 39. Esquema conceptual de la metodología seguida para el estudio

Siguiendo las fases enumeradas en la figura anterior, se desarrollará el mismo procedimiento para el análisis de las 7 centrales que configuran el tramo. Acto seguido se expondrán las 6 fases previstas durante la aplicación del estudio.

- Análisis de datos ambientales: Caudales ecológicos establecidos por el PHC 2015-2021 marcando la componente base del río. Las especies autóctonas del río se verán afectadas por las variaciones en el caudal.
- Análisis de datos hidrológicos: Compuestos por los datos obtenidos de las estaciones de aforo de los caudales diarios. Se empleará la serie histórica de caudales de 30 años (1988-2018). Estos conforman los datos hidrológicos de la cabecera del río Júcar.

- Análisis de datos hidroeléctricos: Se revisarán las características para cada central del salto bruto aprovechable del agua, potencia instalada del grupo de turbinación y rango máximo y mínimo de caudales para las turbinas.
- Esquema de funcionamiento y curva de caudales clasificados
 - Esquema de funcionamiento de la central hidroeléctrica: Esquema identificativo de los puntos de toma y restitución para cada central hidroeléctrica con los elementos relevantes referenciados. Estos estarán acompañados por las distancias aproximadas a las derivaciones.
 - Curva de caudales clasificados: Curvas estadísticas para los caudales con su probabilidad de ocurrencia asociada. Se realizarán en base a la serie histórica de caudales de 30 años. Se obtendrán para cada central y en ellas estarán dispuestos los intervalos de turbinación. De esta forma, las curvas tendrán un límite máximo marcado por el caudal máximo turbinable y un límite mínimo, dispuesto por el caudal mínimo con el que es capaz de arrancar.
- Planteamiento y estudio de escenarios de caudales distintos: Se emplearán las curvas de caudales clasificados, obtenidas del aforo más próximo a cada central, con el caudal turbinable dispuesto en ellas. Cada una estará afectada por el caudal ecológico de la masa de agua correspondiente, ello se analizará en el escenario correspondiente al caudal ecológico del PHC actual.
 - Escenario de caudal ecológico 0: El escenario se plantea considerando que no hubiese caudal ecológico en el río. Por tanto, el rango de turbinación para la central en la curva de caudales clasificados, será con el valor máximo y mínimo turbinables propios de la turbina.
 - Escenario caudal ecológico PHC (2015-2021): Este escenario es el que se produciría en la actualidad. En la curva de caudales clasificados de cada central, el rango de turbinación estará modificado en base a la componente de caudal ecológico dispuesta para cada masa de agua. Es por tanto que, el valor mínimo turbinable será el caudal ecológico (de no ser que el valor mínimo turbinable por la turbina fuese mayor). El valor máximo de caudales que podrá turbinar estará marcado por el valor máximo de la turbina, al que habrá que añadirle la cuantía del caudal ecológico. Esto es

debido a que se producirá un desplazamiento del rango de turbinación, de forma que ascenderá dentro de la curva de caudales clasificados.

- Escenarios de caudales ecológicos mayores: En el estudio se plantearán 2 posibles escenarios futuros, con valores de caudales ecológicos entorno al doble y triple del PHC actual. Incluirían dentro de estos escenarios a estudiar, 3 de ellos con una mayor componente base. La finalidad será observar, como la producción de las centrales sería reducida a mayor nivel, hasta estar próxima a la mitad. Estos caudales, modificarán el valor mínimo del rango de caudales que pueden turbinar las centrales. Producirán, por tanto, el mismo desplazamiento en el rango de turbinación de las curvas de caudales clasificados explicado anteriormente.
- Obtención de la reducción de ingresos: En base a las curvas de caudales clasificados de la serie histórica, con los intervalos de turbinación en función del escenario analizado, se obtendrán las potencias diarias de las centrales. Para la potencia se emplearán los caudales diarios con su probabilidad de ocurrencia, dentro de la fórmula de la potencia del salto hidráulico, una vez obtenida y multiplicada por las horas de un año se obtiene la producción potencial anual. Esta se ha calculado con la hipótesis de que haya un máximo aprovechamiento, siendo que las centrales estén funcionando todas las horas mientras tengan algún caudal a turbinar. Mediante esta producción potencial, se podrían estimar los ingresos económicos que recibiría la actividad de las centrales dentro de cada escenario. Partiendo de la ausencia de pérdidas para el escenario de caudal ecológico 0, se analizarán las pérdidas económicas para los distintos escenarios de forma que se constate esta reducción de ingresos que tendrían asociados cada uno. Mediante la relación de estos con la curva HPU_{max}. para la trucha común, se buscarán los rangos de caudales ecológicos mínimos que reportan mayor beneficio ambiental con un menor decremento económico.

6 Aplicación.

A continuación, se procederá a aplicar la metodología para cada una de las centrales hidroeléctricas. Para esta memoria se verán detenidamente los pasos seguidos durante el proceso de estudio estadístico y los resultados obtenidos de su aplicación para la central hidroeléctrica de Villalba, viendo más detenidamente el resto de las centrales en el anejo correspondiente de cálculo. Como datos de los caudales circulantes, va a emplearse la serie histórica de los últimos 30 años de la salida total de la presa de La Toba.

6.1 Datos ambientales

En la masa de agua 18.04, donde está ubicada la central hidroeléctrica de Villalba, el caudal ecológico marcado por el actual PHC que deberá circular por el río es de 0,34 m³/s. Este debe dejarse sin turbinar, de forma que la incorporación al río se efectúa por el desagüe de fondo de la presa.

- **Parachondrostoma arrigonis (Loina):**
Las funciones de idoneidad utilizadas fueron las elaboradas por Martínez Capel en el 2000 (Martínez-Capel, F, 2000) para otra especie del mismo género en la cuenca del Tajo, denominada *Chondrostoma polylepis*, debido a la inexistencia hasta hoy en día de curvas para la loina.
- **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).
- **Salmo trutta (Trucha común):**
Las funciones de idoneidad utilizadas, en el caso del alevín y juvenil fueron las elaboradas por Martínez Capel en la Demarcación del Júcar en el año 2006 (MartínezCapel, F. y colaboradores, 2006) y en el caso de la freza de la trucha se ha utilizado la curva de idoneidad de Bovee (1982). Para el estadio adulto las curvas empleadas son: la idoneidad de la velocidad corresponde a la de la curva de trucha adulta de Bovee (1982), la de la profundidad al río Stanislaus (California) y la del sustrato igual que para el estadio juvenil.

- *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).

6.2 Datos hidrológicos

La fuente de obtención de los datos hidrológicos ha sido extraída de los caudales totales de salida diarios de la presa de La Toba (GeshidroLAN). Este nos permite conocer los caudales derivados por el canal Júcar-Uña que posteriormente serán remitidos hasta el depósito de El Salto de la central hidroeléctrica de Villalba, respetando el caudal ecológico que debe circular por el río entre La Toba y el azud de Villalba.

La gráfica adjunta a continuación muestra el régimen de salidas totales de caudales diarios de los últimos 30 años.

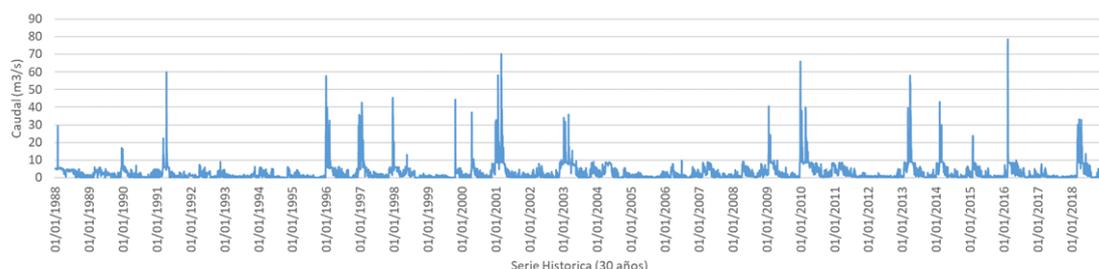


Figura 40. Serie histórica de caudales diarios totales de salida de la Presa de La Toba de 30 años

De este periodo puede observarse que el caudal medio de salida diario ronda los 2,87 m³/s a lo largo del año. Por contraposición, en épocas de crecidas ha llegado a alcanzar los 78,5 m³/s, multiplicando por casi 40 el caudal que circula normalmente. Este pico se alcanzó el 15 de febrero de 2016.

Esta serie de datos corresponde a un periodo lo suficientemente largo, y será empleada para realizar las Curvas de Caudales Clasificados (CCC). Las CCC son una serie de gráficas estadísticas representativas de los 365 días de un año dispuestos de forma ordenada de mayor a menor, donde a cada caudal se le asocia una probabilidad de ocurrencia. Es por ello, para un caudal elevado, la probabilidad de ocurrencia será baja y viceversa, para un caudal bajo, la probabilidad de ocurrencia será más frecuente.

Para calcular la probabilidad de ocurrencia para el día n va a utilizarse la siguiente expresión del método de probabilidad empírica de Weibull, en la cual n será el día en cuestión a calcular la probabilidad y N el número de días totales analizados de la serie histórica:

$$n/(N + 1)$$

Una vez agrupados todos los días con sus probabilidades ordenadas de mayor a menor, se pueden elaborar las gráficas de las CCC como ilustra la imagen adjunta.

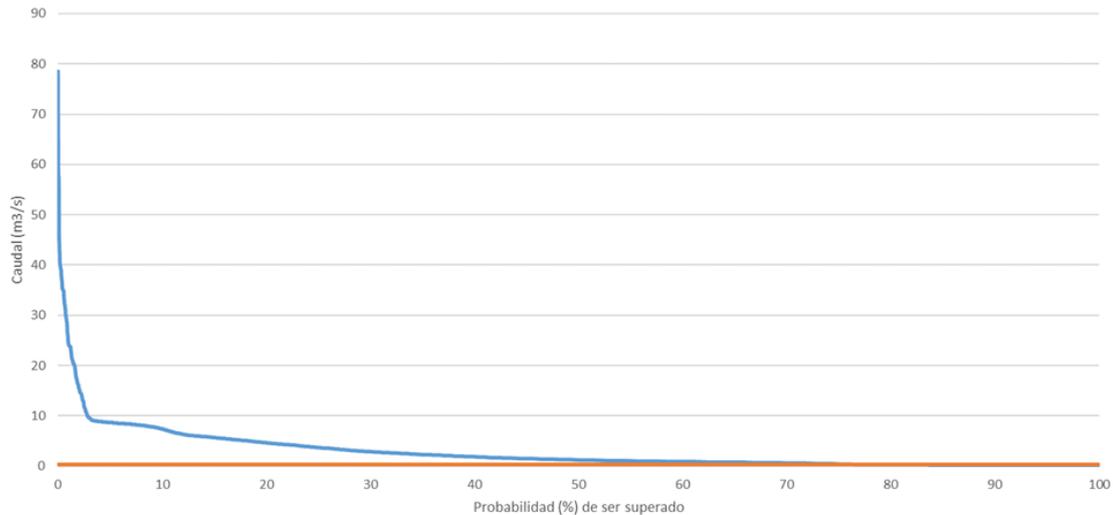


Figura 41. CCC asociada a la central hidroeléctrica de La Toba (azul: caudales circulantes, naranja: caudal ecológico tramo)

6.3 Datos hidroeléctricos

En cuanto a la central, su tipología es de derivación. La captación se encuentra directamente ubicada en la laguna de Uña, por la cual, mediante un canal derivador, conduce el caudal hasta el depósito de El Salto. Desde ese punto arranca la cámara de carga y las tuberías forzadas hasta la central hidroeléctrica.

Seguidamente, se muestra un listado de las características de la central hidroeléctrica de Villalba:

- Caudal máximo turbinable de 10 m³/s (PHJ)
- Caudal mínimo turbinable: 0,009 m³/s
- Salto bruto: 152,2 m
- Potencia instalada: 11,05 MW
- Para el uso de los rendimientos del cálculo de la producción se han tomado la media de los valores orientativos siendo:
 - Rendimiento para la turbina: 0,8
 - Rendimiento del generador: 0,95

- Rendimiento mecánico general: 0,97

Estos datos han sido utilizados posteriormente para el cálculo de la producción potencial que podría tener dicha central.

6.4 Esquema de la central y curva de caudales clasificados

A continuación, puede observarse un esquema general del funcionamiento de la central hidroeléctrica de Villalba. En él se muestra como el agua es captada directamente desde la Laguna de Uña y conducida hasta el depósito de El Salto. Una vez este flujo de agua es turbinado, se reconduce para reintegrar las aguas al río a pocos metros de la ubicación de la central.

Para esta central hidroeléctrica, como se ha mencionado en el apartado de datos hidrológicos, se emplearán en el cálculo la serie histórica de caudales de salida totales de La Toba. Una vez obtenida la CCC, se acota considerando el rango de caudales que es capaz de turbinar. Cuando no se considere el caudal ecológico, este rango será entre el mínimo y el máximo de la turbina, como se puede observar en la figura 43. Por el contrario, si el cálculo se efectúa con la condición de que exista un caudal ecológico, el rango de caudales que son posibles turbinar cambiará al máximo de la turbina, y el mínimo será en este caso el ecológico dispuesto.

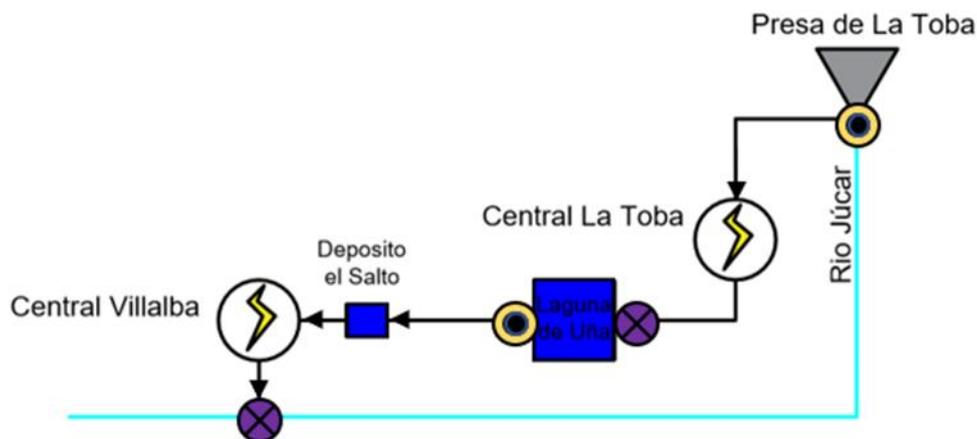


Figura 42. Esquema simplificado del funcionamiento de la central hidroeléctrica de Villalba

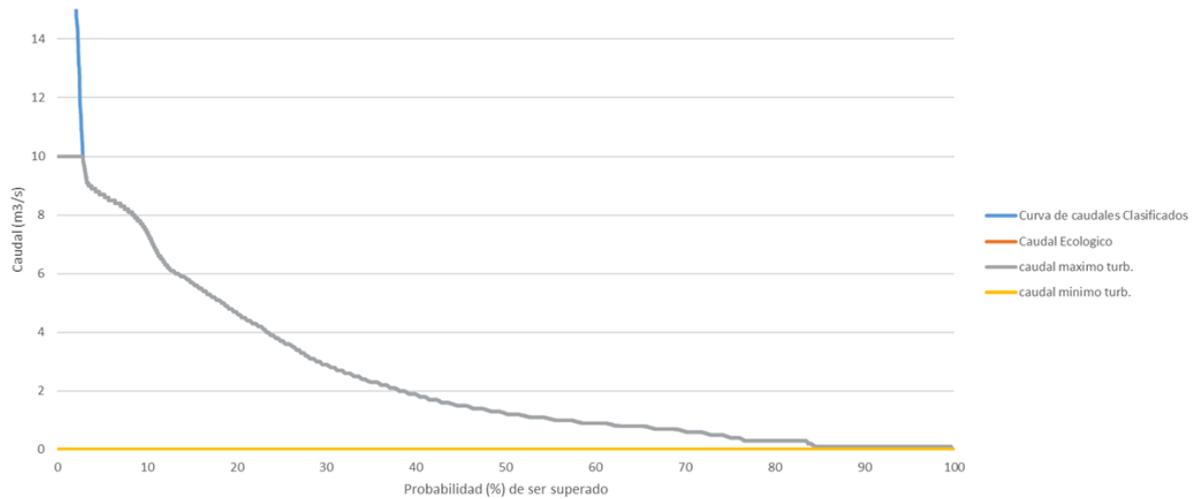


Figura 43. CCC con caudal máximo y caudal mínimo turbinales representados

6.5 Escenario caudal ecológico 0

Para este supuesto, se va a considerar que no existe caudal ecológico en el río. Es por ello, que la central sería capaz de turbinar todo el caudal circulante que le permite la turbina. El rango de funcionamiento estaría comprendido, por tanto, entre el caudal máximo y el mínimo turbinable por el tipo de turbina. Se tomaría como caudales circulantes capaces de ser turbinados, aquellos que se muestran en la siguiente figura, comprendidos en la zona sombreada.

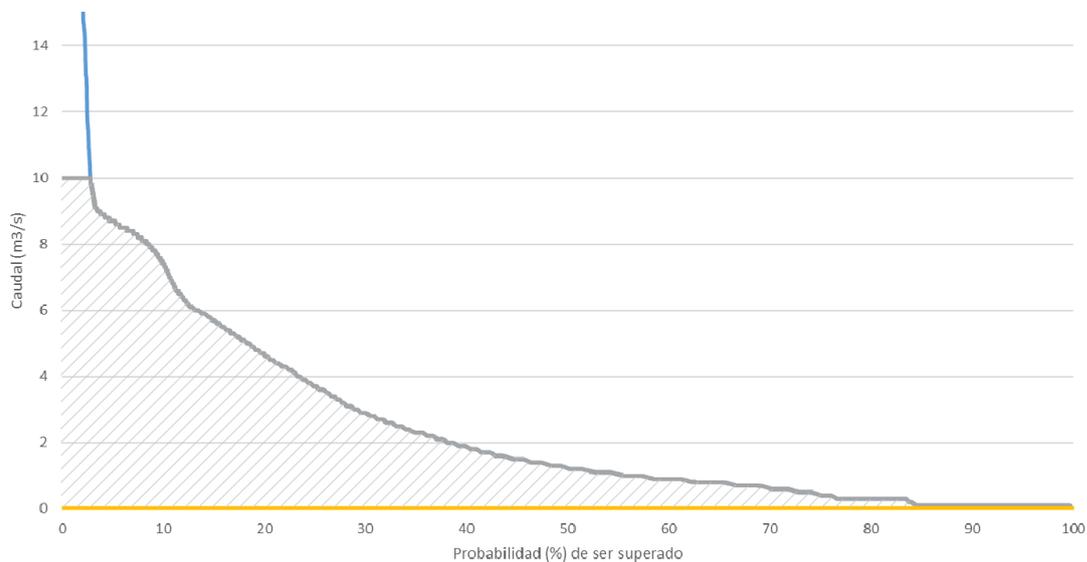


Figura 44. CCC para la central de Villalba con caudal ecológico 0

Para la obtención de la potencia de cálculo, se empleará la siguiente fórmula de la potencia del salto hidráulico, de forma ya simplificada para el

agua. Una vez calculada, pasa a multiplicarse por el número de horas de un año, lo que devuelve el resultado de la producción potencial.

$$Pe(kW) = 9,81 * \eta_t * \eta_e * \eta_m * Q * H$$

$$Pe * 876(h) = Produccion\ del\ intervalo$$

Donde:

- Pe = potencia en kilovatios (kW)
- η_t = rendimiento de la turbina hidráulica
- η_e = rendimiento generador eléctrico
- η_m = rendimiento mecánico del acoplamiento turbina alternador
- Q = caudal turbinable en m³/s
- H = desnivel neto en la presa disponible entre aguas arriba y aguas abajo medido en metros (m)

Esto se aplicará para la CCC, donde están ordenados los caudales en función de su probabilidad de ocurrencia. Por ello, se dividirá esta CCC en 10 intervalos de ocurrencia, de un 10% cada uno. Para cada uno, se hará una media con los caudales que comprende dicho intervalo de ocurrencia, y será el caudal empleado en la fórmula de potencia. Al efectuarse la división en 10 intervalos, a la hora de obtener la producción, esta potencia será multiplicada por 876 horas, la parte proporcional al 10% de las horas de un año que son las que le corresponden.

De la agrupación de los caudales por intervalos y tras aplicar las fórmulas, pueden apreciarse los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Potencia por probabilidad		Produccion
Potencia 10%	9770.871564 kW	8,559,283.49 kW*h
Potencia 20%	6333.303629 kW	5,547,973.98 kW*h
Potencia 30%	4106.107086 kW	3,596,949.81 kW*h
Potencia 40%	2577.571386 kW	2,257,952.53 kW*h
Potencia 50%	1671.420805 kW	1,464,164.63 kW*h
Potencia 60%	1155.832288 kW	1,012,509.08 kW*h
Potencia 70%	853.9120241 kW	748,026.93 kW*h
Potencia 80%	477.5307436 kW	418,316.93 kW*h
Potencia 90%	197.2411707 kW	172,783.27 kW*h
Potencia 100%	106.8223565 kW	93,576.38 kW*h
TOTAL	27,251 kW	23,871,537 KWh-año
		23,872 MWh-año
		23.9 GWh-año

Tabla 5. Cálculo de la potencia y la producción por intervalos de probabilidad de ocurrencia para la central hidroeléctrica de La Toba

Por lo tanto, la producción potencial en el supuesto de que no hubiese caudal ecológico, reportaría a la central de Villalba 23,9 GWh anuales. Para

la obtención de estos resultados se ha empleado el conjunto de datos ecológicos, hidráulicos e hidroeléctricos de forma simultánea.

Para la central hidroeléctrica de Villalba, la potencia instalada es de 11,05 MW. Si se considera que el funcionamiento óptimo de la central fuese el continuo, sin efectuar paradas, con el fin generar la mayor producción posible, se aprovecharía todo el flujo de agua disponible. Con ello, la producción sería máxima y resultaría del cálculo de la potencia instalada multiplicada por el número de horas en un año.

$$(11,05(MW) * 8760(h))/1000 = 96,8 \text{ GWh al año}$$

Una vez obtenida la producción potencial y mediante la producción máxima en base a la potencia instalada, se puede calcular el factor de uso para dicha central. Esta es una relación entre ambas producciones, de forma porcentual, que indica el aprovechamiento que tiene esa central.

$$\frac{\text{Producción calculo}}{\text{Producción máxima}} = (23,9/96,8) * 100 = 25\%$$

Para la central de Villalba, considerando la potencia instalada, el aprovechamiento que presentaría sería de un 25%.

Dentro del apartado económico, la obtención de los ingresos anuales se efectuará multiplicando la producción potencial anual por el coste medio del MWh. Para obtener la estimación del coste del MWh, se ha efectuado la media de los últimos cuatro años disponibles, abarcando un periodo del 2013 al 2016 como muestra la siguiente tabla.

Coste del MWh (€) durante los periodos:				Coste medio del MWh (€):
Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	
45,68	42,07	55,67	45,45	47,22

Tabla 6. Costes registrados de producción por la CHJ y media del precio del MWh

Por tanto, los ingresos anuales calculados son los siguientes:

$$23.872, (MWh) * 45,71 (\text{€/MWh}) = 1.127.213\text{€}$$

Para el presente escenario, el ingreso que obtendría derivado de la producción potencial en la central hidroeléctrica de Villalba, sería de 1.127.213 € al año.

6.6 Escenario actual y futuros

A la hora de estudiar los posibles rangos de caudales ecológicos, con el fin de aumentar el valor actual de 0,34 m³/s, se ha analizado la CCC buscando probabilidades de ocurrencia de los distintos percentiles. Dentro de estos posibles valores el primero que se estudiará es el del percentil 75, este equivale a un caudal de 0,5 m³/s, en el estudio se va a hacer referencia a él como Escenario 1. En segunda instancia se observará el percentil 70, el

cual equivale a respetar un caudal ecológico de $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$, de implantarlo, supondría doblar el valor que figura en el plan actual, la referencia a este supuesto se hará como Escenario 2. El tercer percentil estudiado es el correspondiente al 65%, que equivaldría a un caudal ecológico de $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$, será el nombrado como Escenario 3. Ya para finalizar, como dos últimos valores de estudio se van a comprobar los efectos que supondría elevar el caudal tanto a $1 \text{ m}^3/\text{s}$ en el supuesto del Escenario 4, lo que supondría triplicar el caudal actual, como el de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ en lo que conformaría el Escenario 5.

Rango de caudales ecológicos mínimos estudiados				
Escenario 1 (E1)	Escenario 2 (E2)	Escenario 3 (E3)	Escenario 4 (E4)	Escenario 5 (E5)
$0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,63 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,72 \text{ m}^3/\text{s}$	$1 \text{ m}^3/\text{s}$	$2 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 7. Rango de caudales ecológicos mínimos estudiados para la central hidroeléctrica La Toba

Como se ha visto dentro del escenario de caudal ecológico 0, para los distintos valores de los caudales estudiados en los diferentes supuestos, se ha seguido el mismo procedimiento de cálculo. Una vez obtenidos los valores de producción de los distintos escenarios, se analizará como repercutirían con respecto a:

- Producción anual
- Factor de uso
- Ingresos anuales

Como puede observarse en la gráfica de producción potencial de la siguiente figura, con el actual caudal ecológico implantado, se ha producido una reducción de la producción anual del 12%. Analizando los distintos escenarios planteados, de implantar el E1 supondría una reducción del 16% respecto al escenario de caudal ecológico 0. Partiendo de esta misma hipótesis inicial de caudal ecológico nulo, para el E2 la reducción de la producción sería del 20%, para E3 del 22% y para E4 y E5 del 29% y del 47% respectivamente.

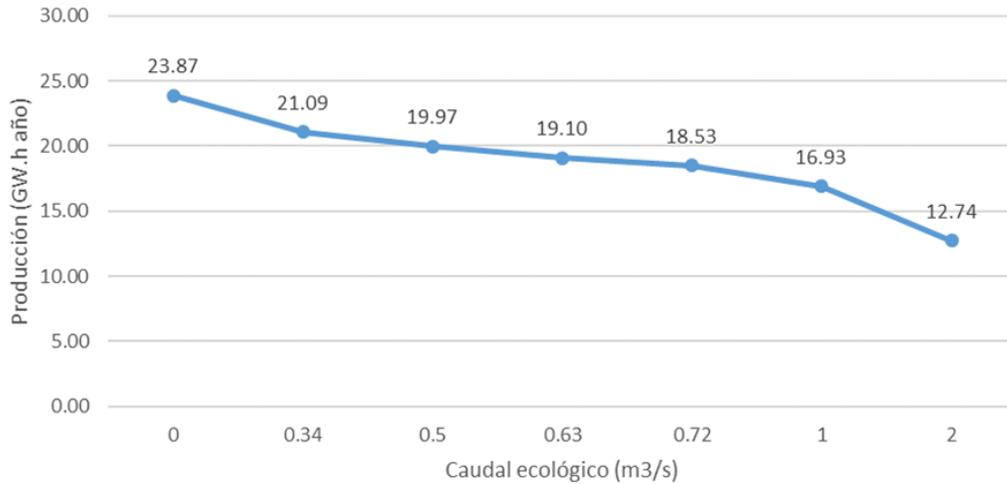


Figura 45. Grafica de la variación de la producción potencial anual en función del caudal ecológico

Derivado de este decremento en la producción potencial, se observa como el factor de uso sufre una disminución del 12% con el caudal ecológico del Plan Hidrológico de cuenca (PHC) actual. Según se analizan los distintos escenarios respecto al escenario de caudal ecológico 0, donde no hay caudal ecológico, comportaría para E1 una reducción de un 16% respecto a este, para E2 de 20%, para E3 de 22%, y para E4 y E5 de 29% y 47%.

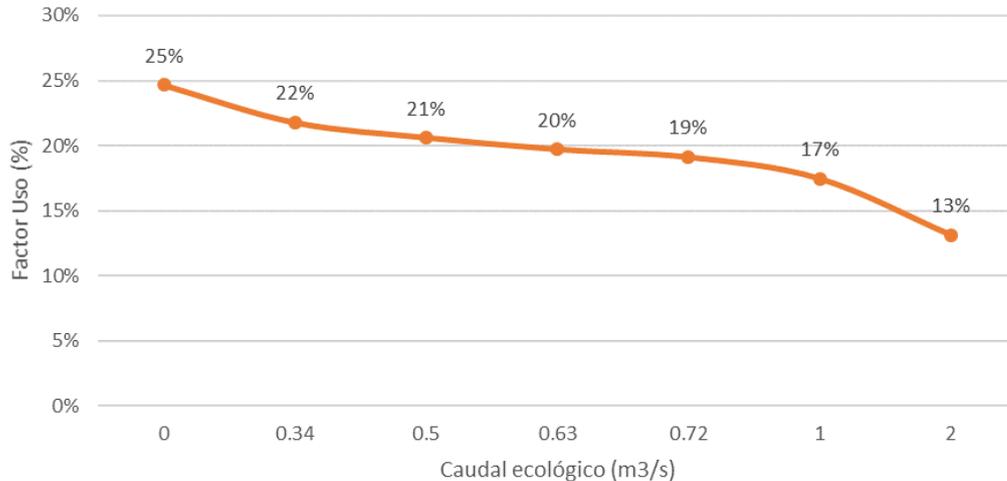


Figura 46. Grafica de la repercusión sobre el factor de uso de elevar el caudal ecológico

Si se cuantifica de forma económica la reducción de la producción, el grafico siguiente muestra como de no haber caudal ecológico, la central hidroeléctrica reportaría unos ingresos de 1.127.213,98 € anuales. Con el PHC actual, estos ingresos son algo más reducidos, bajando a cifras de 995.745,67 € al año. Dentro de los distintos rangos de caudales estudiados, esa reducción se acrecienta según se exige un caudal ecológico mayor, de tal forma que el ingreso anual para el escenario E1

sería de 942.878,81 €, para E2 de 901.926,62 €, en E3 de 874.764,55 €, E4 de 799.372,60 € y E5 de 601.617,28 €.

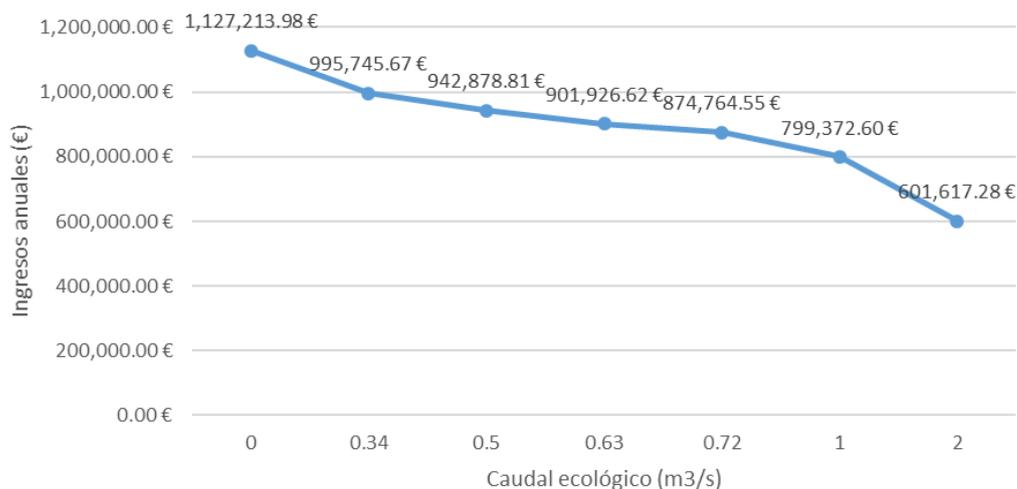


Figura 47. Grafica de los ingresos generados en cada escenario

6.7 Reducción de ingresos

Para incrementar la componente mínima de caudales ecológicos, se deberá estudiar la repercusión producida en los ingresos anuales de las centrales hidroeléctricas, vista en la última figura del apartado anterior. Debido a ello, en función del escenario estudiado habrá una reducción de los ingresos. Esta será la diferencia de los ingresos producidos por el escenario de caudal ecológico 0, y cada uno de los otros escenarios estudiados. El objetivo será realizar la comprobación de cuanto dejaría de ingresar la central anualmente, en base a los distintos supuestos de los escenarios planteados. Esta reducción de los ingresos puede observarse en la figura a continuación.

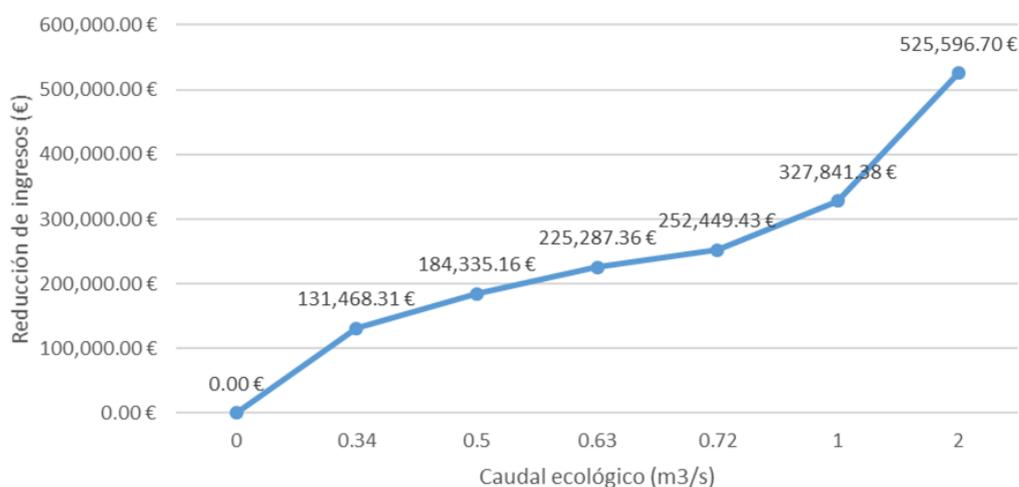


Figura 48. Grafica de la reducción de ingresos por el aumento en los caudales ecológicos

Actualmente, con el caudal ecológico marcado por el PHC, el coste de implementación ha supuesto para la central hidroeléctrica de Villalba que dejase de ingresar 131.468,31 €. Esto supone que ha visto reducidos sus ingresos un 12%.

Dentro de los escenarios estudiados, de querer plantear un rango de caudales más exigente, el porcentaje de reducción de los ingresos aumentaría significativamente. Es por ello que, para E1, el coste de implementación supondría 184.335,16 € asociado a una reducción de un 16% de los ingresos. Desplazándose al E2, el coste de implementación ascendería a 225.287,36 €, por lo que la reducción de ingresos sería del 20%. Para el escenario E3 el coste sería de 252.449,43 € aumentando un 2% más la reducción de ingresos hasta el 22%. En este escenario comenzaría a producirse un cambio en la pendiente de la curva, siendo que a menor cambio en el aumento del caudal ecológico, se traduciría con un coste de implementación mucho mayor que en los anteriores casos.

Para los últimos dos escenarios, el aumento del coste podría hacer inviable su implementación. Para E4 supondría 327.841,38 €, lo que comportaría una reducción de ingresos del 29% y para E5 de 525.596,70 €, un 47% de reducción respectivamente.

7 Pérdidas de producción.

Para poder mostrar de una forma más ordenada y clara los resultados del estudio, se van a organizar las centrales por tramos. Ello se efectuará en función del caudal ecológico que afecta a su masa de agua asociada y de la proximidad entre las centrales. De esta forma van a quedar divididas en tres tramos de la siguiente forma:

- I. Primer tramo: Central hidroeléctrica de La Toba y Villalba.
- II. Segundo tramo: Central hidroeléctrica de La Torre, Las Grajas, El Batán y Molino de Santiago.
- III. Tercer tramo: Central hidroeléctrica El Castellar.

Dentro de cada tramo, se mostrará un esquema general de funcionamiento acompañado de una ficha técnica del tramo total. Acompañándolos, se incluirán las gráficas de las centrales conjuntas como resultados de los cálculos del estudio.

7.1 Primer tramo: Central hidroeléctrica de La Toba y Villalba

En el primer tramo se encuentran las dos primeras centrales objeto de estudio, la central hidroeléctrica de La Toba y Villalba. A lo largo de este tramo, el estudio será enfocado en las masas de agua 18.04 y 18.05 respectivamente.

La central de La Toba es una central de pie de presa que capta directamente del embalse de la Toba. Estas aguas, una vez turbinadas, viajan por un canal de derivación hasta llegar a la Laguna de Uña, que es donde se produce la restitución. Desde este punto, se producirá la toma de la central de Villalba, que lleva hasta el depósito de El Salto, de donde arrancarán las tuberías forzadas hasta la central. Una vez turbinada el agua, se restituye al curso del río Júcar de nuevo.

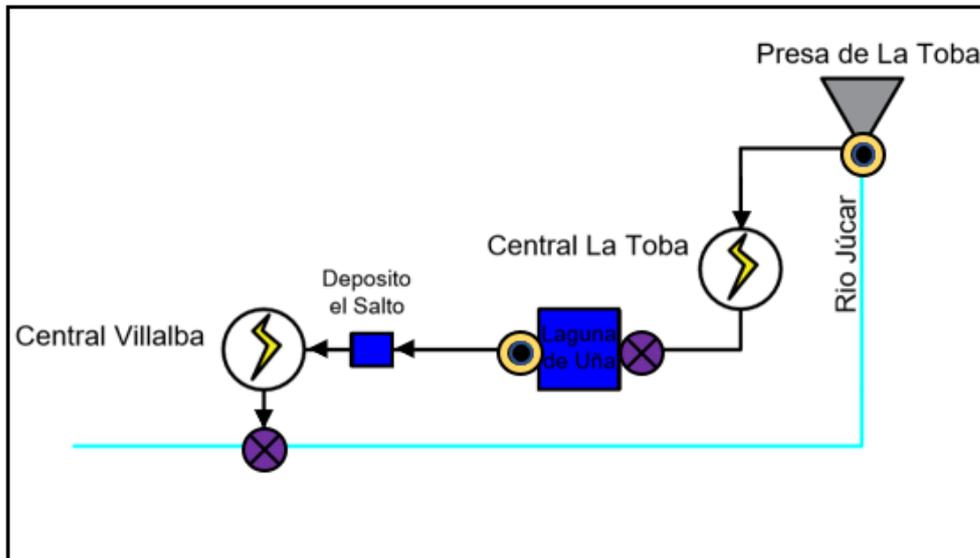


Figura 49. Esquema funcionamiento centrales hidroeléctricas Toba y Villalba

A continuación, se puede observar la ficha técnica del tramo, en la cual se plasman los datos característicos del tramo:

- Caudal medio del tramo: 2,87 m³/s
- Salto total de las centrales: 169 m
- Potencia instalada total: 11,82 MW
- Producción potencial total Escenario Qeco=0: 23,87 GWh año
- Aforo utilizado para el cálculo: Salidas totales embalse La Toba
- Aportaciones: Venta de Juan Romero 82,3 hm³, Toba 94,2 hm³

El tramo en cuestión es el de mayor producción potencial de los tres, aportando con el actual PHC, 21,09 GWh al año al conjunto del Alto Júcar. Ello comporta más del doble de la producción de lo que registran el segundo y tercer tramo juntos anualmente, como se verá en sus respectivos puntos.

El rango de caudales mínimos estudiados serán los mismos que los vistos para la central de Villalba. Ellos han sido desarrollados en el apartado anteriormente visto "Escenarios actuales y futuros" y dada la proximidad entre las centrales y el caudal ecológico del tramo que comparten, se emplearán los mismos escenarios.

Analizando los diferentes escenarios estudiados, puede observarse como para E1, la producción potencial anual sería de 19,97 GWh (1,12 GWh menos que para el caudal ecológico actual). Respecto al segundo escenario, E2, la producción potencial anual sería de 19,1 GWh (0,87 GWh menos que en el del primer escenario). A continuación, para E3, se tendría una producción potencial anual de 18,53 GWh (0,57 GWh menor comparado con el segundo escenario). Por consiguiente, se puede llegar a la conclusión que, en los tres primeros escenarios, la disminución que experimenta la producción de energía sería relativamente pequeña en comparación a E4 y E5. En estos dos últimos escenarios, sus respectivas

producciones bajarían hasta 16,93 y 12,74 GWh anuales (1,6 y 4,19 GWh inferior al escenario anterior respectivamente).

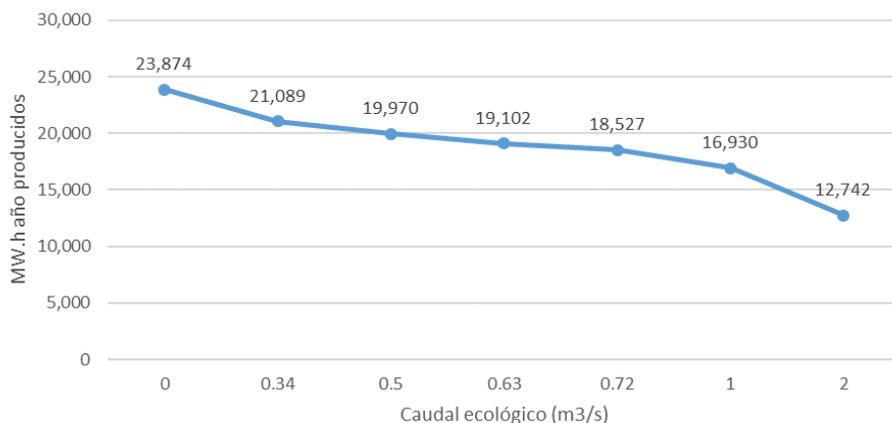


Figura 50. Grafica de la variación de producción anual potencial del primer tramo estudiado

La reducción de la producción potencial observada en la anterior figura se ve traducida en un decremento económico, reduciendo en cada escenario sus ingresos anuales. Como puede verse en la gráfica de la siguiente figura, en condiciones de caudal ecológico 0 en el río, los ingresos anuales esperados del tramo ascenderían a 1.231.741,70 €. Mirando el PHC actual, como consecuencia del caudal ecológico exigido, se verán reducidos los ingresos hasta los 1.087.830,24 € anuales y, conforme aumenta el caudal exigido por cada escenario, esta cifra seguirá disminuyendo de tal forma que para E1, los ingresos anuales serían de 1.029.953,46 €, para E2 de 985.149,18 €, mientras que para E3, los ingresos anuales bajarían a 955.408,95 €. Para los últimos dos, este decrecerá de forma más notable, siendo E4 de 872.883,36 € y E5 656.241,71 €.

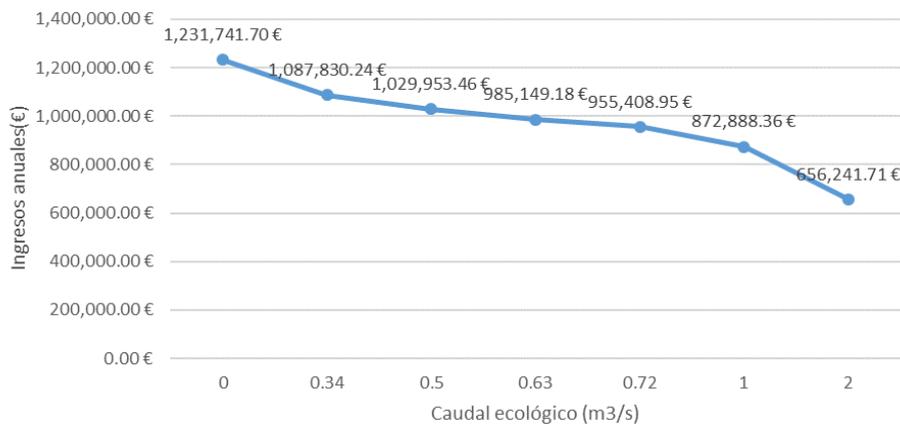


Figura 51. Grafica de los ingresos anuales generados en el primer tramo estudiado

Siguiendo con la reducción de los ingresos, se va a comprobar cuál sería la reducción de los ingresos que sufre el tramo para cada escenario planteado. Mediante la siguiente gráfica, se muestra cual es la variación de cada uno de estos escenarios respecto al caudal ecológico 0. En ella se observa cómo cambia la pendiente de la curva conforme más restrictivo se impone el caudal.

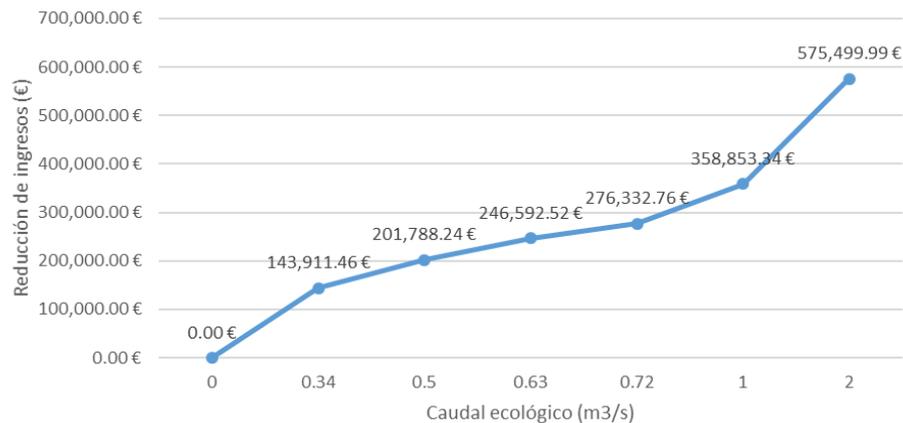


Figura 52. Gráfica de reducción de ingresos de los distintos caudales ecológicos para el primer tramo

Actualmente para el tramo, con la entrada en vigor del actual PHJ, le habría sufrido una reducción de ingresos de 143.911,46 €. Ello supone que sus ingresos han sufrido una reducción del 12%, respecto de poder turbinar todo el caudal circulante por el río. Para los distintos rangos de caudales mínimos estudiados, se produciría un aumento de la reducción de ingresos repercutida en las centrales. Para E1 sería de 201.788,24 €, aumentando esta reducción de ingresos hasta el 16%. En el segundo escenario, E2, esta reducción ascendería hasta los 246.592,52 €, esto comportaría una reducción del 20%. Dentro de E3, el porcentaje de reducción de ingresos aumenta otro 2% respecto del escenario anterior, llegando hasta el 22%. Este aumento comportaría una reducción en los ingresos potenciales de 276.332,76 €. A partir de este escenario es donde se produce un cambio en la pendiente de la gráfica, los efectos producidos comportarían mayores cambios a nivel económico en los últimos dos escenarios restantes. La reducción al aumentar el caudal mínimo para E4 y E5 aumentaría considerablemente, siendo de 358.853,34 € y 575.449,99 € respectivamente para cada uno ellos. Esto elevaría la reducción de los ingresos hasta el 29% para el cuarto escenario y al 47% para el quinto.

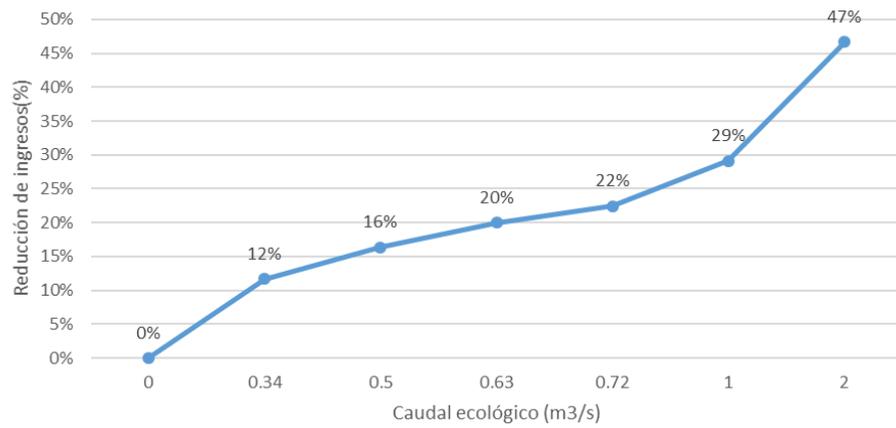


Figura 53. Grafica con el porcentaje de reducción de los ingresos en el primer tramo

7.2 Segundo tramo: Central Torre, Grajas, Batán y Molino Santiago

En el segundo tramo se encuentran las siguientes cuatro centrales objeto del estudio, entre ellas existe una alta proximidad para ubicarlas en el mismo tramo. Estas son la central de La Torre, Las Grajas, El Batán, ubicadas las tres en la masa de agua 18.05 y Molino de Santiago ubicada a comienzos de la masa 18.06.

Continuando del primer tramo aguas abajo, se encuentra el grupo de cuatro centrales que se ha mencionado. Estas centrales hidroeléctricas comparten características similares, puesto que están dentro del área de la minihidráulica dado su pequeña potencia instalada. Además, todas ellas son fluyentes y su toma y posterior restitución se produce muy próxima a la central, por lo que no necesitan grandes canales de derivación.

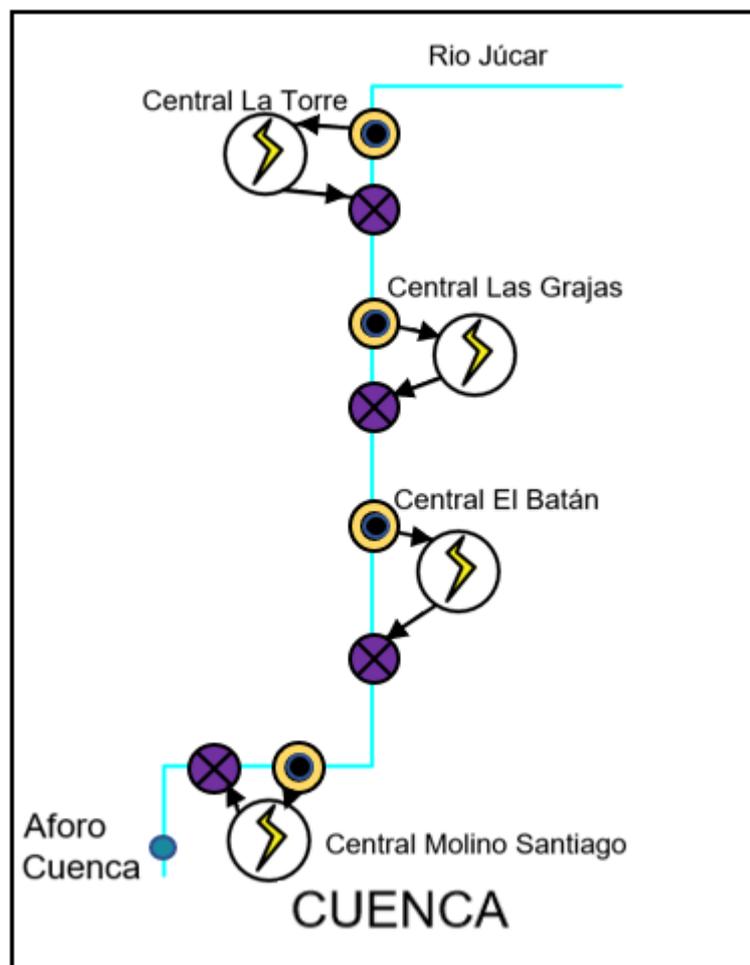


Figura 54. Esquema funcionamiento centrales hidroeléctricas Torre, Grajas, Batán y molino de Santiago

A continuación, se puede observar la ficha técnica del tramo, en la cual se muestran los datos característicos del tramo:

- Caudal medio del tramo: 6,89 m³/s
- Salto total de las centrales: 21,2 m

- Potencia instalada total: 1,33 MW
- Producción potencial total Escenario Qeco=0: 6,15 GWh año
- Aforo utilizado para el cálculo: Estación ROEA Cuenca
- Aportes que recibe Cuenca: 216,6 hm³

El presente tramo comporta la segunda mayor producción potencial, aportando con el actual PHC, 5,5 GWh anuales al conjunto del Alto Júcar. Esto comporta menos de la tercera parte de lo que produciría el tramo anterior, siendo que cuenta este segundo con el doble de centrales, pero con unas potencias instaladas y unos saltos brutos menores.

Dentro de los diferentes escenarios a proponer, para este caso el caudal ecológico actual es más alto que en el tramo anterior, de 0,62 m³/s. Dado que el límite mínimo que pueden turbinar es mayor, las centrales tendrían una menor producción, por ello se ha optado por unos caudales de estudio más elevados como se podrá ver en el Anejo II: Calculo. Estos escenarios se emplearán a continuación, para el cálculo de las producciones de las presentes centrales. Propuestos en la siguiente tabla, con ellos se han obtenido unos resultados de producción potencial y reducción de ingresos porcentualmente similares con los vistos durante el tramo anterior.

Rango de caudales ecológicos mínimos estudiados				
Escenario 1 (E1)	Escenario 2 (E2)	Escenario 3 (E3)	Escenario 4 (E4)	Escenario 5 (E5)
1 m ³ /s	1,24 m ³ /s	1,86 m ³ /s	2 m ³ /s	3 m ³ /s

Tabla 8. Rango de caudales ecológicos mínimos estudiados para las centrales ubicadas en el segundo tramo

Estudiando cada uno de ellos y analizando la producción potencial, se ve como para E1 la producción anual sería de 5,11 GWh (0,49 GWh menos que con el actual caudal ecológico). Seguidamente, para E2 la producción anual potencial sería de 4,88 GWh (0,23 GWh menos que los producidos en el primer escenario). En el tercer escenario, E3, el tramo contaría con una producción anual de 4,34 GWh (0,54 GWh menor que la del segundo escenario). La producción anual para los dos últimos escenarios, E4 y E5, sería de 4,22 y 3,56 GWh respectivamente (0,12 GWh menor que el tercer escenario y 0,66 GWh menor que para el cuarto escenario). Como es apreciable, se produciría una disminución de la producción de forma casi lineal, ello es debido a la similitud que comparten el grupo de centrales y su baja producción.

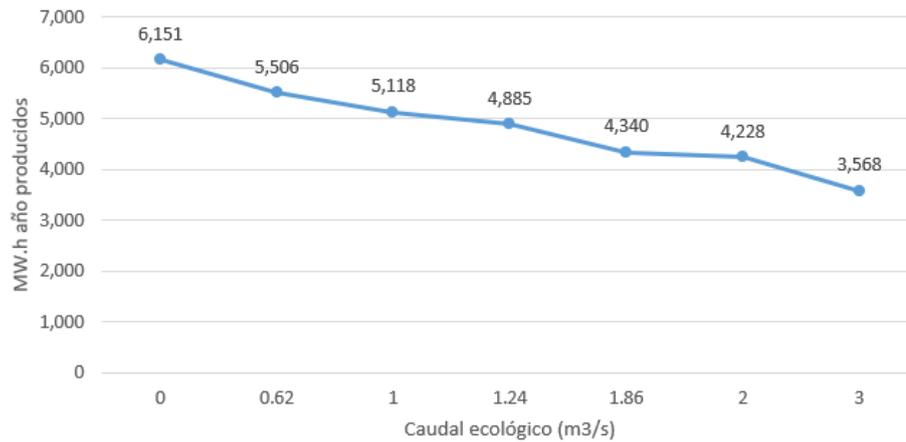


Figura 55. Gráfica de la variación de producción anual potencial del segundo tramo estudiado

El decremento que afecta a la producción estaría reflejado de forma similar en los ingresos anuales. Es por ello, que seguiría una gráfica similar, pero con la variable económica en este caso, como se puede ver en la figura siguiente. En ella, para un escenario donde no hubiese que respetar el caudal ecológico del río, el tramo generaría unos ingresos anuales de hasta 251.783,01 €. Dentro del PHC actual, estos ingresos se verían algo reducidos llegando a los 225.341,31 € al año. Estudiando ya los escenarios planteados, estos ingresos se verían reducidos conforme más restrictivo se vuelve el caudal ecológico dispuesto, siendo que en E1 los ingresos anuales serían de 209.423,55 €. Para E2, estos ya bajarían hasta 199.847,09 € y de forma casi lineal, tanto para E3 los ingresos anuales serían 177.448,18 €, como para E4 y E5 de 172.861,70 € y 145.751,75 € respectivamente.

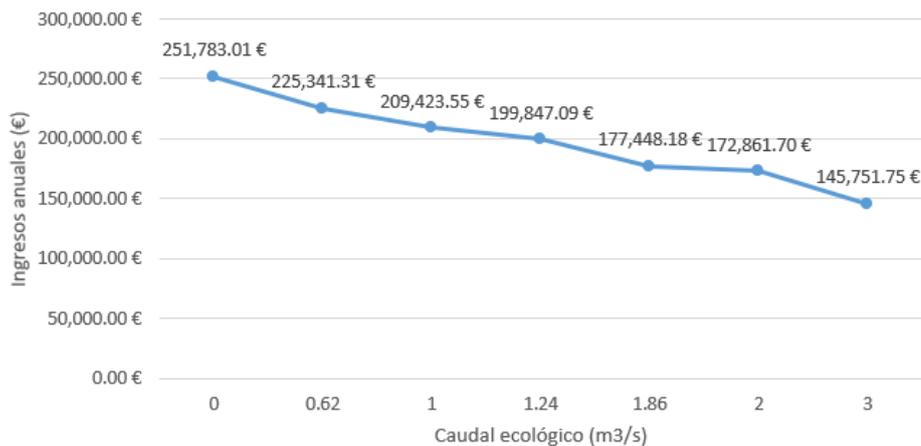


Figura 56. Gráfica de los ingresos anuales generados en el segundo tramo estudiado

Una vez obtenido los ingresos anuales, se pasará a comprobar que reducción de ingresos sufre el tramo para cada escenario planteado, como puede observarse en la siguiente figura. Como anteriormente se explicó, será la variación de los ingresos que se produce respecto al de caudal ecológico 0, y se analizará como cambia la pendiente de la curva.

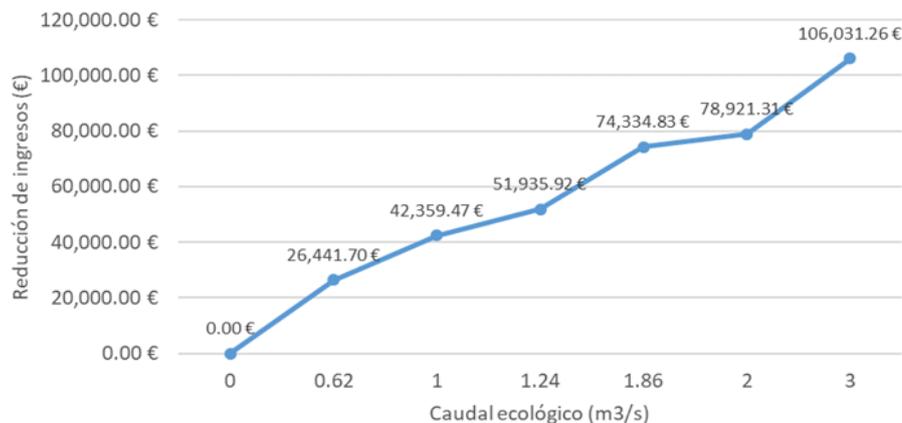


Figura 57. Grafica de reducción de ingresos de los distintos caudales ecológicos para el segundo tramo

La situación con el PHC actual, ha supuesto una reducción de ingresos en base al caudal ecológico de 26.441,70 €. Ello supone que han sufrido una reducción del 11% de los ingresos, respecto de poder turbinar el caudal circulante por el río en su totalidad. Analizando los escenarios propuestos, se produciría una reducción en los ingresos potenciales. Empezando con el primer escenario, E1, este sería de 42.359,47 €, lo cual supondría una reducción del 17%. Para E2 esta bajada de ingresos asciende hasta 51.935,92 €, lo que comportaría una reducción del 21%, viéndose incrementado un 4%. Para los escenarios E3 y E5, esta reducción aumentaría de forma pareja en los saltos que se producen. Esto supondría un 9% de reducción adicional para E3 respecto al segundo escenario, alcanzando un 30% de reducción, y dejaría una reducción de 74.334,83 €. De forma similar a este caso, para los dos últimos escenarios aumentaría de manera similar, quedando E4, con un 1% de reducción adicional para este respecto E3 y un 11% para E5 respecto E4. Esto supondría una reducción en los ingresos de 78.921,31 € para el cuarto escenario y de 106.031,26 € para el quinto escenario.

Cabe destacar que con las características de las centrales que conforman el tramo, el elevar el caudal ecológico a 3 m³/s supondría una repercusión económica menor que la situación del caudal ecológico actual del primer tramo, en cuanto a niveles de coste de implementación se refiere. Esto tampoco sería factible, dado que se dejaría a las centrales con una producción entorno a un 42% menor por lo cual, podría resultar que no fuesen rentables.

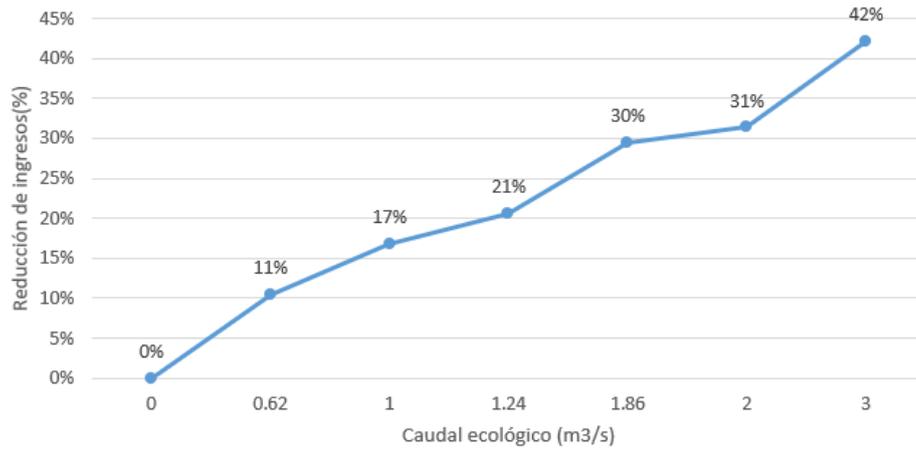


Figura 58. Grafica con el porcentaje de reducción de los ingresos en el segundo tramo

7.3 Tercer tramo: Central hidroeléctrica El Castellar

Dentro del tercer tramo está ubicada la última central del estudio, El Castellar. Esta central se ubica en la masa de agua 18.06 llegando a la cola del embalse de Alarcón.

La central se halla aguas abajo del segundo tramo, cuenta con unas características similares a las mencionadas anteriormente en las del tramo contiguo. Por consiguiente, es una central fluyente de reducida potencia instalada, con una captación y una restitución muy próxima a la central.



Figura 59. Esquema funcionamiento central hidroeléctrica Castellar

A continuación, se puede observar la ficha técnica del tramo, en la cual se muestran los datos característicos del tramo:

- Caudal medio del tramo: 8,97 m³/s
- Salto total de las centrales: 8,2 m
- Potencia instalada total: 0,5MW
- Producción potencial total Escenario Qeco=0: 3,24 GWh año
- Aforo utilizado para el cálculo: Estación ROEA San Lorenzo Parrilla

Este último tramo supone la menor producción potencial de los tres, generando en base al PHC actual, 2,99 GWh anuales dentro del conjunto del Alto Júcar. Esto comporta algo más de la mitad de lo que produce el segundo tramo, destacando que es una única central.

Como en el anterior tramo, los escenarios propuestos por cuestión de similitud de la central con las anteriores analizadas, volverán a ser los mismos (ver la última tabla donde se desarrollan). Al constar solo de una central hidroeléctrica, las gráficas analizadas coincidirán con las del Anejo II: Calculo, desarrollándose allí y en la presente memoria analizándolas.

Efectuando un análisis de los escenarios propuestos, puede observarse como en E1 la producción anual potencial sería de 2,84 GWh (0,15 GWh que en el caso del caudal ecológico actual). Para E2, la producción anual sería de 2,74 GWh (0,10 GWh menos que en el primer escenario). La producción anual potencial en el tercer escenario, E3 sería de 2,48 GWh (0,26 GWh menos que la del segundo escenario). Dentro del escenario E4, la producción anual bajaría hasta 2,41 GWh (0,07 GWh menor que en el escenario anterior). El quinto escenario, E5, reportaría una producción anual potencial de 2,02 GWh (0,39 GWh menos que para el cuarto escenario). De forma similar a lo sucedido en el segundo tramo, se ha producido una disminución de la producción de forma más o menos lineal, debido a las características similares de la central con las que se encuentran en el tramo de aguas arriba.

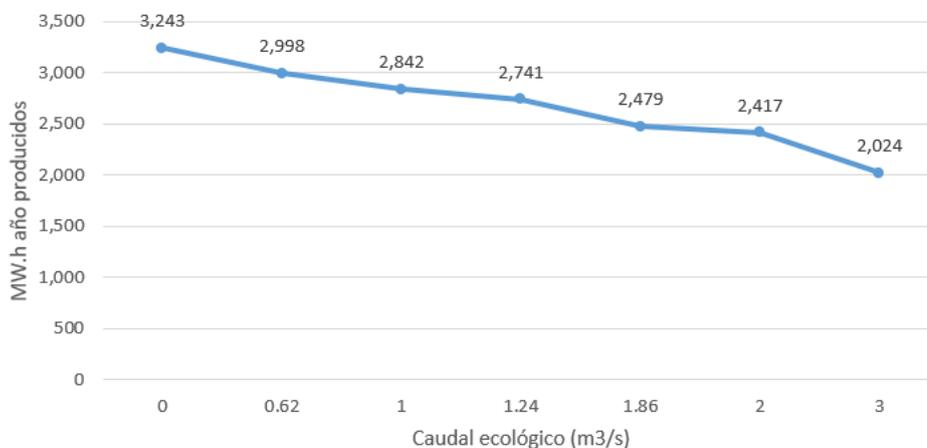


Figura 60. Gráfica de la variación de producción anual potencial del tercer tramo estudiado

Relacionado con la producción, los ingresos anuales se verían reducidos como en el tramo anterior, de forma similar a una gráfica semi lineal como muestra la figura a continuación. En el escenario donde el caudal ecológico es 0, pudiéndose turbinar todo el flujo que circula por el río, la producción del tramo reportaría unos ingresos anuales de hasta 141.604,72 €. Estos ingresos se verían reducidos a causa del actual PHC llegando hasta 130.883,05 €.

Dentro de los escenarios planteados, puede observarse como se verían reducidos los ingresos anuales generados a medida que aumenta la exigencia de caudal ecológico circulante por el río. En primera instancia para E1, se verían menguados estos ingresos hasta 124.063,26 €. Para E2 decrecerían hasta 119.685,22 € y de forma progresiva para el resto, E3 generaría unos ingresos anuales de 108.217,62 €, reduciéndose para E4 a 105.543,20 € y E5 a 88.365,10 €.

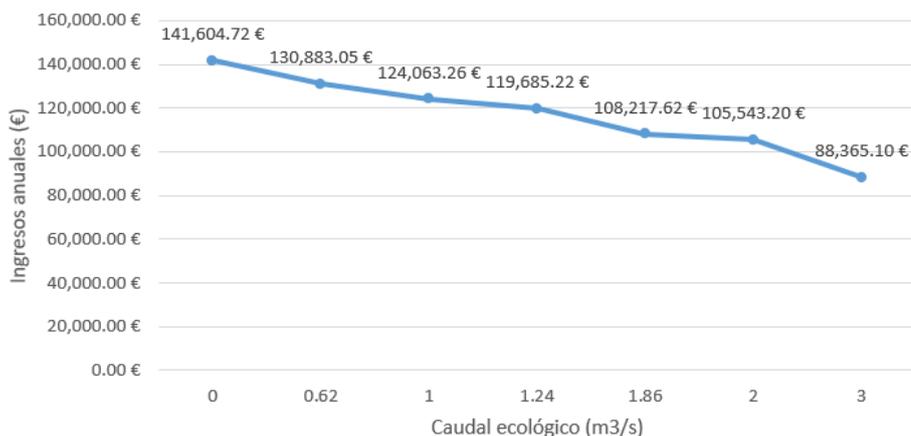


Figura 61. Grafica de los ingresos anuales generados en el tercer tramo estudiado

Constatados los ingresos anuales del tramo, van a emplearse para comprobar la reducción que sufren para cada escenario, analizando la pérdida de ingresos que muestra la figura siguiente. Se realizará mediante la variación que se produce en los ingresos generados entre el de caudal ecológico 0 y los distintos escenarios.

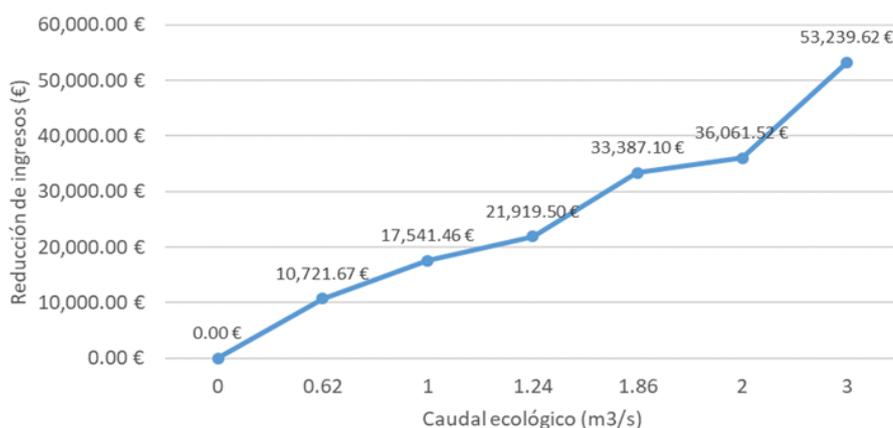


Figura 62. Grafica del coste de implementación de los distintos caudales ecológicos para el tercer tramo

Con la entrada del PHC, ha supuesto para el tramo actual una reducción de los ingresos de 10.721,67 €. Ello ha supuesto que se hayan ingresado anualmente un 8% menos, lo cual resulta una diferencia de ingresos menor que en los tramos anteriores, reportando un menor coste económico asociado al caudal ecológico del plan. Dentro de los distintos rangos de caudales mínimos de los escenarios estudiados, puede observarse como va aumentando esta reducción en los ingresos de forma cuasi lineal, comenzando con el primero, E1 que sería de 17.541.46 €, lo que comporta una reducción del 12%. En el segundo escenario, E2, se produce un mayor decremento, que asciende hasta 21.919,50 €. Ello va asociado a una reducción de los ingresos del 15%, tan solo un 3% mayor que en el escenario anterior. A partir de este segundo escenario, la pendiente de la gráfica crece, aumentando la reducción de los ingresos del tercer escenario al quinto de forma similar. En E3 se alcanza una reducción del 24%, lo que comporta unas pérdidas anuales de 33.387,10 €. Este iría aumentando para los dos restantes con un 1%, pasando para el E4 a una reducción de 36.061,52 € lo que comporta un 25%, y dentro del ultimo E5, llegando a un 38% con unas pérdidas anuales de 53.239,62 €.

Como se ha mencionado en el segundo tramo, el coste relativo que supone elevar el caudal ecológico a un escenario más restrictivo en comparación al primer tramo del estudio sería bastante reducido. Se podría estudiar el elevarlo en el siguiente PHC sin una reducción de los ingresos demasiado desmesurada, teniendo en cuenta que solo se vería afectada una única central hidroeléctrica. Habría que considerar como podría afectar a las centrales ubicadas aguas arriba, y si hubiera que elevar el de estas también.

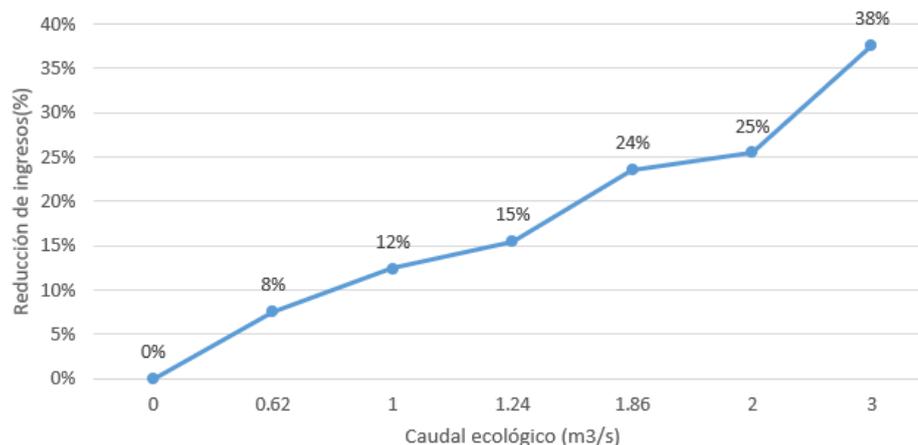


Figura 63. Gráfica con el porcentaje de reducción de los ingresos en el tercer tramo

8 Beneficio ambiental.

Anteriormente, dentro del apartado 3.4 Caudal ecológico, se han presentado las curvas de Hábitat Potencial Útil máxima (HPU_{max}). Se constató a la trucha común como la especie más restrictiva en el tramo del río estudiado, dado que es la que requiere de un mayor caudal circulante por este. Esta curva HPU que se desarrolló para establecer la componente de caudal mínimo ecológico, se emplea como indicador del beneficio ambiental que repercute sobre la especie. Conforme se va incrementando la componente del caudal del río, la trucha común en todas sus etapas de vida, pero especialmente durante la fase adulta, va pudiendo ocupar una mayor sección del cauce. En la figura siguiente se puede observar un espécimen de la trucha común en etapa adulta.



Figura 64. Trucha común Española (masmar)

Para cuantificar el beneficio ambiental que se producirá dentro de las masas de agua del tramo objeto de estudio, se tomará la media del porcentaje de HPU para las tres etapas de vida de la especie. Mediante esta media y de manera diferencial, se estimará el %HPU que se genera por las pérdidas económicas anuales en que se incurren a las centrales hidroeléctricas para los rangos de caudales ecológicos mínimos estudiados. Esto se efectuará para los tres tramos del estudio.

8.1 Primer tramo: Embalse de La Toba-Azud de Villalba

Dentro de este primer tramo, se encuentra que con el caudal ecológico actual de 0,34 m³/s, el porcentaje medio para las especies de HPU es del 52%. La etapa de la especie de la trucha común más afectada actualmente es la adulta, donde tan solamente puede desarrollar su hábitat en el 30% de la sección del cauce. Para que la especie alcanzase el 100% de HPU, habría que aumentar el caudal ecológico mínimo hasta 1,8 m³/s. En la figura siguiente se ven los porcentajes del indicador de hábitat para el rango de caudales mínimos estudiados.

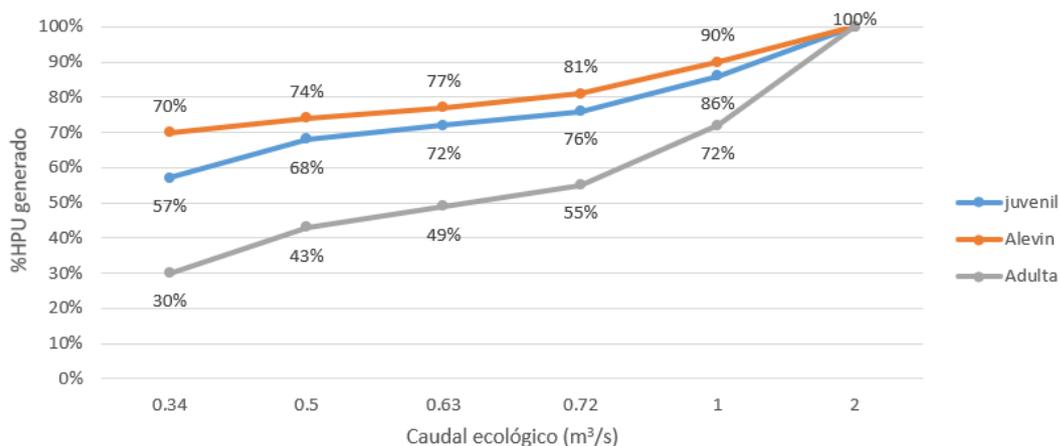


Figura 65. Curva HPU máxima para las distintas etapas de la trucha común en el primer tramo

De forma diferencial se va a relacionar el HPU que se genera en cada intervalo de caudales mínimos con las pérdidas económicas anuales comprendidas entre cada intervalo de caudales también. En base a la magnitud económica de pérdidas de las centrales hidroeléctricas del tramo, la relación queda de la siguiente forma y se puede observar los incrementos diferenciales por etapas y la media para las tres fases en la figura a continuación.

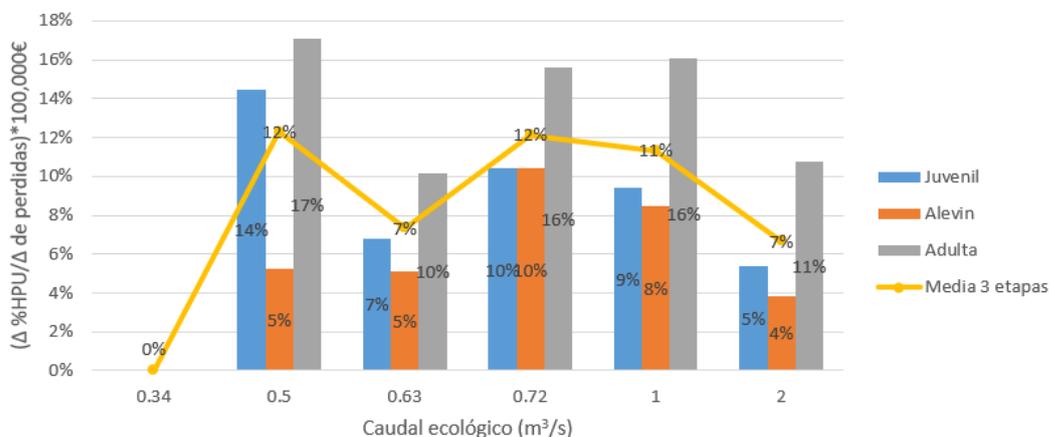


Figura 66. Relación diferencial entre el hábitat generado y las pérdidas producidas a las centrales en el primer tramo

$$\frac{\Delta HPU}{\Delta Pérdidas} * 100.000€$$

Por cada 100.000 € de pérdidas, se va a generar para cada intervalo de caudales, un beneficio ambiental porcentual de hábitat potencial útil. En base a la gráfica anterior, el punto de inflexión se ha encontrado en 0,72 m³/s para el cual, a partir de este punto, el incremento que se genera es menor que las pérdidas en las que se repercute. Por tanto, el rango de caudales propuesto se encuentra en el intervalo de [0,72-1] m³/s que comporta un HPU max. para la trucha común entre el 70-80%.

8.2 Segundo tramo: Azud de Villalba-Río Huécar

Para el segundo tramo, se encuentra que con el caudal ecológico actual de 0,62 m³/s, el porcentaje medio para las especies de HPU es del 66%. La etapa de la especie de la trucha común más afectada actualmente es la adulta, donde tan solamente puede desarrollar su hábitat en el 49% de la sección del cauce. Para que la especie alcanzase el 100% de HPU, habría que aumentar el caudal ecológico mínimo hasta 1,8 m³/s. En la figura siguiente se ven los porcentajes del indicador de hábitat para el rango de caudales mínimos estudiados.

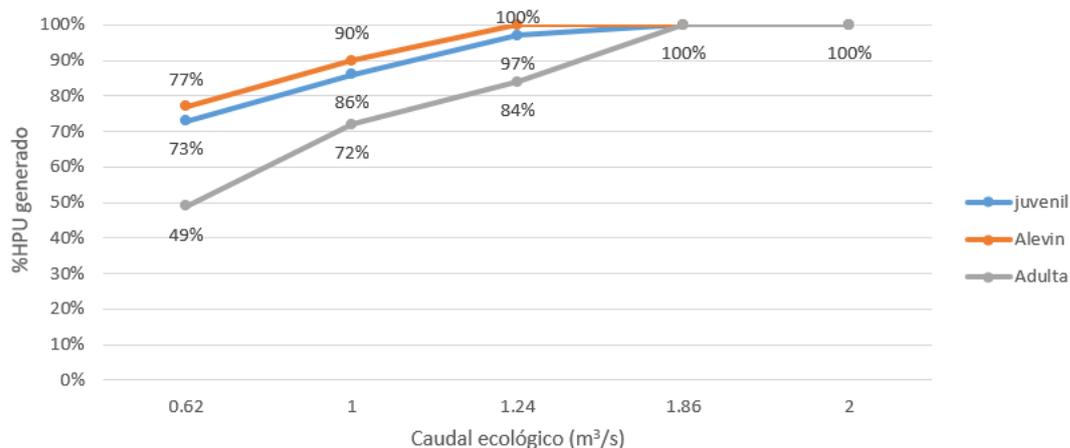


Figura 67. Curva HPU máxima para las distintas etapas de la trucha común en el segundo tramo

Como se ha efectuado anteriormente, de forma diferencial se va a relacionar el HPU que se genera en cada intervalo de caudales mínimos con las pérdidas económicas anuales comprendidas entre cada intervalo de caudales también. En base a la magnitud económica de pérdidas de las centrales hidroeléctricas del tramo, la relación queda de la siguiente forma y se puede observar los incrementos diferenciales por etapas y la media para las tres fases en la figura a continuación.

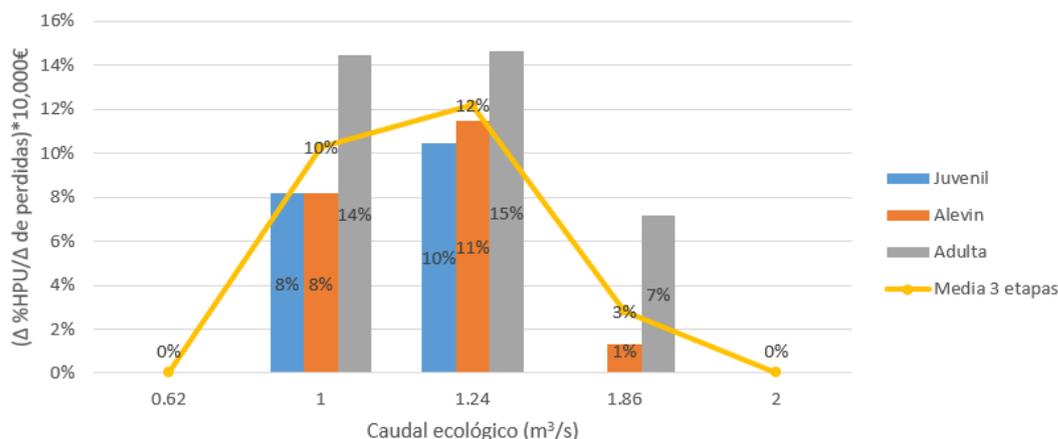


Figura 68. Relación diferencial entre el hábitat generado y las pérdidas producidas a las centrales en el segundo tramo

$$\frac{\Delta HPU}{\Delta Pérdidas} * 10.000€$$

Por cada 10.000 € de pérdidas, se va a generar para cada intervalo de caudales, un beneficio ambiental porcentual de hábitat potencial útil. En base a la gráfica anterior, el punto de inflexión se ha encontrado en 1,24 m³/s para el cual, a partir de este punto, el incremento que se genera es menor que las pérdidas en las que se repercute. Por tanto, el rango de caudales propuesto se encuentra en el intervalo de [1-1,24] m³/s que comporta un HPU max. para la trucha común entre el 80-93%.

8.3 Tercer tramo: Río Huécar-Embalse de Alarcón

Finalmente, en el tercer tramo, se encuentra que con el caudal ecológico actual de 0,62 m³/s. El caudal ecológico mínimo dispuesto es idéntico que en el tramo intermedio, donde el porcentaje medio para las especies de HPU es del 66%. La etapa de la especie de la trucha común más afectada actualmente es la adulta, donde tan solamente puede desarrollar su hábitat en el 49% de la sección del cauce. Para que la especie alcanzase el 100% de HPU, habría que aumentar el caudal ecológico mínimo hasta 1,8 m³/s. En la figura siguiente se ven los porcentajes del indicador de hábitat para el rango de caudales mínimos estudiados.

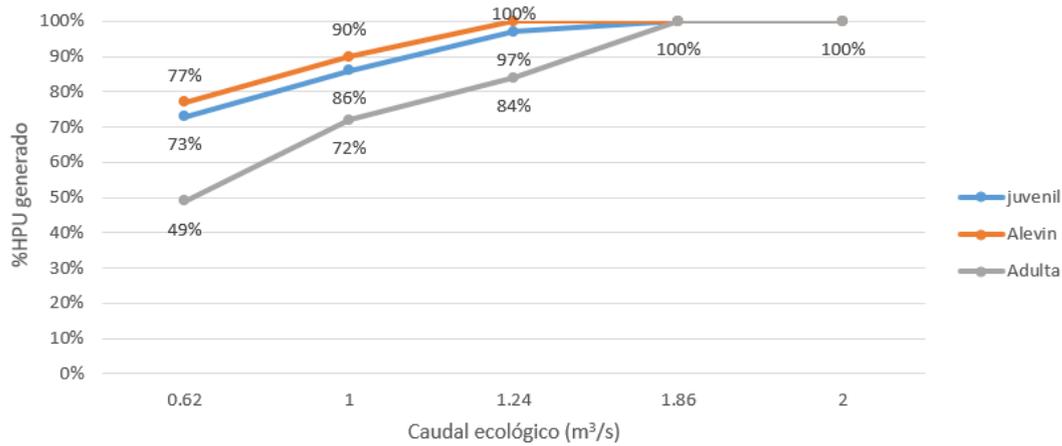


Figura 69. Curva HPU máxima para las distintas etapas de la trucha común en el tercer tramo

Como se ha efectuado anteriormente, de forma diferencial se va a relacionar el HPU que se genera en cada intervalo de caudales mínimos con las pérdidas económicas anuales comprendidas entre cada intervalo de caudales también. En base a la magnitud económica de pérdidas de las centrales hidroeléctricas del tramo, la relación queda de la siguiente forma y se puede observar los incrementos diferenciales por etapas y la media para las tres fases en la figura a continuación.

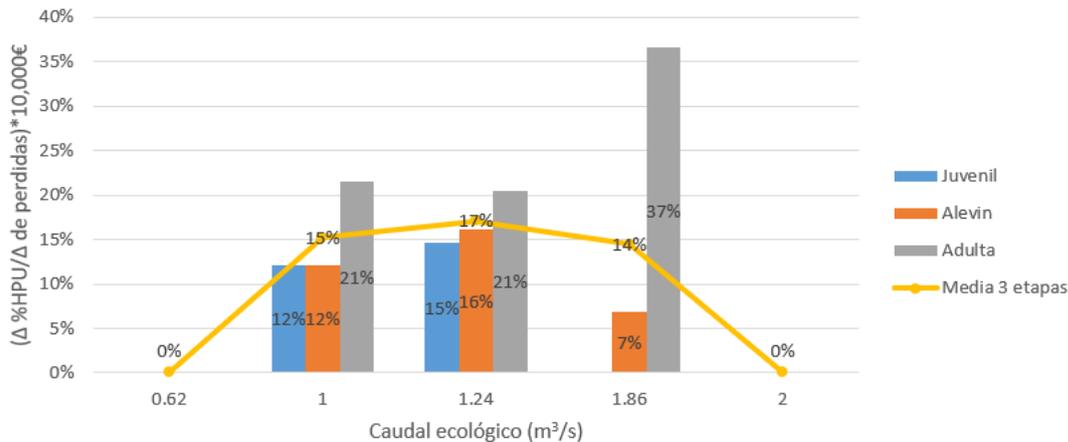


Figura 70. Relación diferencial entre el hábitat generado y las pérdidas producidas a las centrales en el tercer tramo

$$\frac{\Delta HPU}{\Delta Pérdidas} * 10.000€$$

Por cada 10.000 € de pérdidas, se va a generar para cada intervalo de caudales, un beneficio ambiental porcentual de hábitat potencial útil. En base a la gráfica anterior, el punto de inflexión se ha encontrado en 1,24 m³/s, pero el intervalo se va a extender hasta 1,86 m³/s dado que con este caudal se genera un beneficio para la trucha adulta bastante considerable. Por tanto, el rango de caudales propuesto se encuentra en el intervalo de [1,24-1,86] m³/s que comporta un HPU max. para la trucha común entre el 93-100%.

9 Resumen y conclusiones.

Este trabajo de fin de grado expone la problemática de los caudales ecológicos actuales, junto con la afección producida por los aprovechamientos hidroeléctricos en fenómeno de las hidropuntas. Se analizará la implementación de caudales ecológicos mayores a los del vigente Plan Hidrológico de cuenca, así como las repercusiones que generarían en las centrales hidroeléctricas a lo largo del tramo.

En el estudio se abordan 7 centrales hidroeléctricas ubicadas en el Alto Júcar, dentro de la provincia de Cuenca. Estas están comprendidas entre tres masas de agua que discurren entre el embalse de La Toba y el embalse de Alarcón.

Las centrales analizadas empiezan en el embalse de La Toba, y de forma ordenada hacia aguas abajo se encuentran La central hidroeléctrica de La Toba, Villalba, La Torre, Las Grajas, El Batán, Molino de Santiago y El Castellar. Exceptuando Villalba, el resto de las centrales están dentro del área de la minihidráulica, ya que cuentan con una potencia instalada menor de 10 MW (concretamente menor a 1 MW). Es por ello que, a nivel de producción, tiene mayor importancia la central de Villalba.

El objetivo es comprobar si se puede aumentar el caudal ecológico de las masas de agua antes citadas, con el fin de buscar un caudal más natural en el río. Esto producirá un beneficio directo sobre las especies autóctonas, de manera que puedan coexistir en su entorno.

Mediante la recogida de datos de las estaciones ROEA, se utiliza la serie histórica de caudales desde el año 1988 hasta el año 2018, por lo que se cuenta con 30 años de datos. Mediante una distribución estadística, estos datos han sido utilizados para elaborar las curvas de caudales clasificados pertenecientes a cada masa de agua. La finalidad es aplicarlo a las diferentes centrales que ocupan estas, conformando los datos hidrológicos.

Extraído del Plan Hidrológico de cuenca, se tendrán los caudales ecológicos mínimos como datos ambientales y las características técnicas de las distintas centrales para conformar los datos hidroeléctricos. Con el empleo del conjunto de datos se calcula para cada central, su producción potencial eléctrica anual (de forma que trabajen todas las horas del año) y los ingresos de cada central a lo largo del año. Se calculan en base a la media del coste registrado por la confederación del MWh, del año 2013 al 2016.

Para cada central hidroeléctrica se estudiará un rango de caudales ecológicos mínimos, además del actual y para el caso en que no hubiese ninguno. Con los resultados obtenidos, se procede a calcular las pérdidas que incurriría la central y cuál será su reducción de ingresos (diferencia de

los ingresos generados entre el caudal ecológico 0 y el rango de caudales estudiado). Esto genera unas pérdidas y sus porcentuales asociados. Estas pérdidas se superpondrán a las curvas de hábitat potencial útil máxima de la trucha común, la cual será la especie más desfavorable. El objetivo final será tener una relación entre las pérdidas y el hábitat generada, donde se buscará el punto de inflexión óptimo.

Tras analizar los resultados por tramos, se observa como el margen de ingresos que tienen las centrales es sensible frente a aumentos en los caudales ecológicos mínimos. Siendo los caudales superiores al doble del actual, se reduciría hasta un 10% adicional los ingresos que generan. En el caso de ser superior al triple, este porcentaje aumentaría aproximadamente otro 10% siendo la reducción de ingresos un 20% mayor que con el caudal ecológico actual.

Se contrastarán y compararán los resultados calculados con datos reales de producción, obtenidos de Red Eléctrica Española y declarada por las propias centrales, del periodo referido entre 2013 a 2016. Además, se dispondrá el beneficio ambiental planteado en el apartado anterior y la repercusión de producción e ingresos sobre los tramos de centrales.

- Primer tramo (Toba y Villalba):
El resultado de la producción potencial dejó valores comprendidos entre 23,87 y 21,09 GWh al año, muy próximos a los valores registrados reales. Por ello se puede pensar que la producción está bien adecuada y maximizada a las posibilidades de las centrales, siendo la potencia media declarada por estas de 23,7 GWh anuales. Por consiguiente, la desviación de la producción potencial respecto a la real oscila alrededor del 7%.

El beneficio ambiental que se podría generar reportaría a la trucha común, el pasar de desarrollar de tan solamente el 52% de su Hábitat Potencial Útil máxima, a que esta aumentase hasta un intervalo entre el 70 y el 80% del HPU. Esto sería debido al pasar del caudal ecológico mínimo de 0,34 m³/s del Plan Hidrológico del Júcar actual (2015-2021), a un rango de caudales entre 0,72 y 1 m³/s donde se encuentra el mayor beneficio ambiental en relación con el decremento económico de las centrales hidroeléctricas del tramo. Con este incremento del caudal ecológico mínimo, estas centrales verían su producción reducida hasta en 3,33 GWh año. Esto supondría además de las pérdidas económicas que tuviesen actualmente con el caudal mínimo dispuesto, un aumento de estas entre 110.000 y 192.000 € al año.

Como medida de paliar esta reducción en su producción, se les podría dotar de una concesión eólica. En condiciones normales, con un aerogenerador de 3MW con un factor de uso del 30% solamente haría falta un 40% de un único aerogenerador de estas

características para que equilibrase ese decremento en la producción.

- Segundo tramo (Torre, Grajas, Batán y Molino de Santiago):
El resultado de la producción potencial dejó valores comprendidos entre 6,15 y 5,51 GWh al año, distan de los valores registrados reales. Por ello se puede pensar que la producción de estas centrales está ligada a las posibilidades que tienen de funcionar dependiendo de la central hidroeléctrica de Villalba, siendo la potencia media declarada por estas de 1,92 GWh anuales. Por consiguiente, la desviación de la producción potencial respecto la real oscila alrededor del 187%. Por lo que se podría constatar que son centrales pequeñas, que turbinan casi dos veces menos de lo que podrían potencialmente al año, y que su funcionamiento depende de lo que suceda aguas arriba de ellas.

El beneficio ambiental que se podría generar reportaría a la trucha común, el pasar de desarrollar un Hábitat Potencial Útil máxima del 66%, a que esta aumentase hasta un intervalo entre el 80 y el 93% del HPU. Esto sería debido al pasar del caudal ecológico mínimo de 0,62 m³/s del Plan Hidrológico del Júcar actual (2015-2021), a un rango de caudales entre 1 y 1,24 m³/s donde se encuentra el mayor beneficio ambiental en relación con el decremento económico de las centrales hidroeléctricas del tramo. Con este incremento del caudal ecológico mínimo, estas centrales verían su producción reducida hasta en 0,62 GWh año. Esto supondría además de las pérdidas económicas que tuviesen actualmente con el caudal mínimo dispuesto, un aumento de estas entre 16.000 y 36.000 € al año.

Como medida de paliar esta reducción en su producción, se les podría dotar de una concesión eólica. En condiciones normales, con un aerogenerador de 3MW con un factor de uso del 30% solamente haría falta un 8% de un único aerogenerador de estas características para que equilibrase ese decremento en la producción.

- Tercer tramo (Castellar):
El resultado de la producción potencial dejó valores comprendidos entre 3,24 y 2,99 GWh al año, distan de los valores registrados reales. Por ello se puede pensar que la producción de estas centrales está ligada a las posibilidades que tienen de funcionar dependiendo de la central hidroeléctrica de Villalba, siendo la potencia media registrada por Red Eléctrica Española de 1,67 GWh anuales. Por consiguiente, la desviación de la producción potencial respecto la real oscila alrededor del 79%. Por lo que se podría constatar que es una central pequeña como ocurre con el tramo intermedio, que turбина algo menos de la mitad de lo que podría

potencialmente al año, y que su funcionamiento depende de lo que suceda aguas arriba de ellas.

El beneficio ambiental que se podría generar reportaría a la trucha común, el pasar de desarrollar un Hábitat Potencial Útil máxima del 66%, a que esta aumentase hasta un intervalo entre el 93 y el 100% del HPU. Esto sería debido al pasar del caudal ecológico mínimo de 0,62 m³/s del Plan Hidrológico del Júcar actual (2015-2021), a un rango de caudales entre 1,24 y 1,86 m³/s donde se encuentra el mayor beneficio ambiental, concretamente para la trucha en su etapa adulta, en base al decremento económico de las centrales hidroeléctricas del tramo. Con este incremento del caudal ecológico mínimo, estas centrales verían su producción reducida hasta en 0,52 GWh año. Esto supondría además de las pérdidas económicas que tuviesen actualmente con el caudal mínimo dispuesto, un aumento de estas entre 16.000 y 22.000 € al año.

Como medida de paliar esta reducción en su producción, se les podría dotar de una concesión eólica. En condiciones normales, con un aerogenerador de 3MW con un factor de uso del 30% solamente haría falta un 7% de un único aerogenerador de estas características para que equilibrase ese decremento en la producción.

Un beneficio ambiental que se reportaría además sería, mediante este aumento del caudal mínimo que circularía por el río, una minimización de las repercusiones que ocasiona la central hidroeléctrica de Villalba. Esta central genera a lo largo del día oscilaciones importantes en algunos momentos dentro del flujo de esta parte del Júcar, que al verse aumentados los caudales ecológicos mínimos se reducirían en magnitud.

Además, se propone y se estudia su implementación en el próximo ciclo de planificación hidrológica, un parámetro similar a las tasas de cambio, que tuviese en cuenta el perímetro mojado del río que se viese afectado por la variación de caudal.

10 Líneas futuras.

El objetivo del presente estudio es tanto la implementación de caudales ecológicos más restrictivos con el uso hidroeléctrico, como la reducción de los efectos adversos que producen las centrales en el curso del río. Esto se deberá efectuar por parte de la Confederación Hidrográfica del Júcar durante la elaboración de los futuros Planes Hidrológicos de cuenca.

En base al aumento efectuado en los caudales ecológicos para el próximo PHC, así como el parámetro asociado al perímetro mojado del río, se debería llevar a cabo una simulación en Hec-Ras de la superficie final de la lamina de agua y como podría ir variando dentro del hidrograma diario.

Debido a que en este trabajo de final de grado no se han estudiado las tasas de cambio, se debería realizar un estudio de estas para realizar un posible ajuste, de forma que fuesen más restrictivas. Se debería plantear la opción de implantar unas tasas de cambios menores que actuaran durante los ascensos y descensos dentro del hidrograma como primera instancia, para efectuar la variación de los caudales circulantes de manera más tendida.

11 Referencias.

CHJ, 2016. “Plan Hidrológico de cuenca 2015-2021” Plan Hidrológico del Júcar aprobado por el Real Decreto 1/2016, del 8 de enero.

CHJ, 2016. “Usos y demanda del agua” Anejo 3 del Plan Hidrológico del Júcar.

CHJ, 2016. “Usos y demandas del agua” Anejo 5 del Plan Hidrológico del Júcar.

DMA, 2000. “Directiva Marco del Agua” Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

IPH, 2008. “Instrucción de Planificación Hidrológica” Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

IDAE, 2006. “Minicentrales hidroeléctricas” Sexta monografía sobre Manuales de Energías Renovables del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía.

REE, 2017. “El Sistema Eléctrico Español 2017” Informe anual del sistema eléctrico español como transportista y operador del sistema eléctrico.

Joan F. Mateu Bellés et al., 2011. “Memoria del 75 Aniversario de la Confederación Hidrográfica del Júcar” Capítulo 4. Confederación Hidrográfica del Júcar: Los primeros tiempos en la provincia de Cuenca.

EPH 2013. “Regadíos tradicionales, patrimonio y paisaje en el Alto Júcar conquense” Capítulo 7. Energía hidráulica y protoindustria: los ingenios hidráulicos en el Alto Júcar conquense.

iagua. “Presa de La Toba” Datos generales y técnicos.

ROEA, 2019. “Red oficial de estaciones de aforo” Base de datos de puntos singulares de cauces y canales, así como de la reserva de los embalses.

S.I.A Júcar, 2019. “Sistema de información del agua” Visor web donde se encuentra información geográfica de la Confederación.

SAIH, 2019. “Sistema Automático de Información Hidrológica” Sistema de información encargado de captar, transmitir en tiempo real, procesar y presentar aquellos datos que describen el estado hidrológico e hidráulico de la cuenca.

CHJ, 2019. “Base de datos proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Júcar” Datos proporcionados de las centrales y sus producciones.



CEDEX, 2019. “Anuario de aforos 2015-2016” Anuario de estaciones foronómicas elaborado por el centro de estudios hidrográficos del CEDEX.

CHJ, 2019. “Borrador Esquema provisional de Temas Importantes” Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Masmar, 2008. “La Trucha común Española. Diversidad Genética y conservación” Portal náutico.

Anejo I: Datos de partida

El presente anejo recogerá los tres puntos básicos en el desarrollo del estudio para cada central hidroeléctrica. Como queda recogido en la memoria estos son los datos hidroeléctricos, datos ecológicos y datos hidrológicos, expuestos anteriormente durante el desarrollo de la metodología. Cabe destacar que también se recogerá la ubicación geográfica de las centrales hidroeléctricas, mediante el empleo de ortofotos PNOA de máxima actualidad. Su empleo también servirá para referenciar la Laguna de Uña y las estaciones de aforo ROEA, empleadas para obtener los caudales diarios.

Anejo II: Cálculo

El presente anejo se basará en los datos recogidos para el desarrollo del estudio, ellos quedaran recogidos en el Anejo I. La explicación del desarrollo queda recogida en la aplicación de la memoria. Por consiguiente, en el actual documento, se mostrará la aplicación de los datos, como así el cálculo y los resultados obtenidos. Se establecerán los intervalos de turbinación, mediante el caudal ecológico y el grupo de turbinación instalado, lo cual permitirá obtener para cada central su producción potencial. Una vez obtenida la producción, se puede calcular los ingresos que generarían anualmente.

Esto se efectuará para los distintos escenarios que se propondrán, con el objetivo de mejorar las condiciones del río, sin ocasionar el cierre de las centrales hidroeléctricas o un grave perjuicio económico para ellas. En base a los resultados, se tomarán las medidas oportunas si procede de un aumento en el régimen de caudales ecológicos dentro de las masas de agua estudiadas.

Anejo III: Caudales intradiarios

Dentro del análisis del estudio, una parte a considerar y prestar atención son los caudales intradiarios. Comprobando los caudales cincominutales en este caso, se consigue observar que sucede en el río a lo largo del día.

Puede ocurrir en ocasiones que, la media de caudales diarios que circulan por el río sea mayor que el caudal ecológico impuesto. Después si se



analiza lo que ocurre a lo largo de ese día, puede darse el caso que, observando una escala de tiempo menor, no se hayan mantenido las disposiciones ecológicas durante todas las horas.

Además de comprobar el cumplimiento de los caudales ecológicos, con los caudales intradiarios se podrá estudiar el fenómeno de “dientes de sierra”. Esto puede ser observado en la representación gráfica de los caudales cincominutales.

Dicho anejo, dada su extensión, se adjunta como anejo digital al resto del estudio.

Carlos Mulet Rojas