



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Elèctrica

**AUDITORIA DE L'ENERGIA HIDROELÈCTRICA AL PARC
NATURAL RESERVA DE LA BIOSFERA DEL MONTSENY, I
PROPOSTES DE FUTUR**



Doc.1: Memòria

Autor: Jheison Rodrigo Cornejo Paredes

Director: Oscar Farrerons Vidal

Convocatòria: Abril 2022

Resum

Es realitza l'estudi teòric de les infraestructures hidràuliques al Parc Natural Reserva de la Biosfera del Montseny en el passat, present i futur. L'aprofitament d'energia hidràulica en el massís del Montseny ha estat present en diferents èpoques de la història, de fet, hi ha constàncies documentades d'obres d'enginyeria hidràuliques on s'utilitzava l'aigua com a font d'energia des del segle XVIII.

L'objecte d'aquest estudi es basa en la revisió històrica dels mètodes de producció d'energia a l'entorn del Montseny. Així com l'avaluació del estats actuals dels principals embassaments del Parc Natural Reserva de la Biosfera del Montseny, la instal·lació d'una minicentral hidroelèctrica i la confecció d'una proposta per millorar l'accessibilitat del pantà de Vallforners mitjançant la instal·lació de l'enllumenat públic amb energia renovable. Aquest projecte pretén respectar els valors ambientals alhora que tracta de reduir l'impacte del paisatge de les obres. Aquesta zona és de vital importància ja que té un valor turístic i paisatgístic molt alt i per tant és important la conservació de la mateixa.

Darrera modificació d'aquest document: 27 de Abril de 2022

Resumen

Se realiza el estudio teórico de las infraestructuras hidráulicas en el Parque Natural Reserva de la Biosfera del Montseny en el pasado, presente y futuro. El aprovechamiento de energía hidráulica en el macizo del Montseny ha estado presente en diferentes épocas de la historia, de hecho, hay constancias documentadas de obras de ingeniería hidráulicas donde se utilizaba el agua como fuente de energía desde del siglo XVIII.

El objeto de este estudio se basa en la revisión histórica de los métodos de producción de energía en el entorno del Montseny. Así como la evaluación de los estados actuales de los principales embalses del Parque Natural Reserva de la Biosfera del Montseny, la instalación de una mini-central hidroeléctrica y la confección de una propuesta para mejorar la accesibilidad del pantano de Vallforners mediante la instalación del alumbrado público con energía renovable. Este proyecto pretende respetar los valores ambientales al tiempo que trata de reducir el impacto del paisaje de las obras. Esta zona es de vital importancia ya que tiene un valor turístico y paisajístico muy alto y por tanto es importante la conservación de la misma.

Abstract

The theoretical study of the hydraulic infrastructures is carried out in the Natural Park of the Montseny Biosphere Reserve in the past, present and future. The use of hydraulic energy in the Montseny massif has been present at different times in history, in fact, there is documented evidence of hydraulic engineering works where water was used as an energy source since of the XVIII century.

The object of this study is based on the historical review of energy production methods in the Montseny environment. As well as the evaluation of the current state of the main reservoirs of the Natural Park of the Montseny Biosphere Reserve, the installation of a mini-hydroelectric power station and the preparation of a proposal to improve the accessibility of the Vallforners reservoir by installing of public lighting with renewable energy. This project aims to respect environmental values while trying to reduce the landscape impact of the works. This area is of vital importance as it has a very high tourist and landscape value and therefore its conservation is important.

Glossari

UNESCO: L'Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura

BOE: Butlletí Oficial del Estat

REBT: Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió

RERB: Red Español de Reservas de la Biosfera

POUM: Plans d'Ordenació Urbanística Municipal

ACA: Agència Catalana de l'Aigua



Índex

RESUM	1
RESUMEN	2
GLOSSARI	4
PREFACI	5
1.1. Origen del treball	5
1.2. Motivació	5
2. INTRODUCCIÓ	6
2.1. Objectius del treball	6
2.2. Abast del treball	6
3. ÀMBIT D'ESTUDI	7
4. ESTUDI DE MERCAT	9
4.1. Marc legislatiu de la generació d'energia hidràulica.....	9
5. TIPUS DE CENTRALS	11
6. FUNCIONAMENT TEÒRIC	12
6.1. Cicle de l'aigua.....	12
6.2. Transformació de l'energia de l'aigua	12
6.3. Equació de Bernoulli	13
7. SELECCIÓ DE LA FONT DE LA CENTRAL HIDROELÈCTRICA	14
7.1. Situació dels embassaments.....	14
7.2. Criteri d'elecció	14
7.2.1. Avaluació del lloc i dels paràmetres	15
7.2.2. Avaluació de les autoritzacions i requeriments necessaris	17
7.2.3. Estudi de la viabilitat de la instal·lació.....	18
7.3. Embassament seleccionat: Vallforners	19
8. OBRES I INSTAL·LACIONS NECESSÀRIES	23

9.	DISSENY DE LA CENTRAL HIDROELÈCTRICA	26
9.1.	Determinació del cabal	26
9.2.	Determinació del salt net.....	31
9.3.	Determinació de la potència.....	33
10.	DIMENSIONAMENT DE L'EQUIP ELECTROMECÀNIC	35
10.1.	Selecció de la turbina	35
10.2.	Selecció del generador elèctric.....	38
10.3.	Selecció del transformador i línia	40
11.	PROPOSTA D'APLICACIÓ DE L'ENERGIA GENERADA	41
11.1.	Plantejament.....	41
11.2.	Regulació de la proposta.....	41
11.3.	Planificació	43
11.3.1.	Estat actual de l'àmbit.....	43
11.3.2.	Descripció de les obres.....	44
11.3.3.	Normativa aplicable de l'enllumenat públic	45
12.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	46
12.1.	Estat actual del ecosistema del pantà de Vallforners i el curs fluvial	46
12.2.	Impacte ambiental de la nova instal·lació	47
	CONCLUSIONS	48
	BIBLIOGRAFIA	49

Índex de figures

Figura 1. Mapa del Parc Natural de la Reserva de la Biosfera del Montseny. Font: RERB	7
Figura 2. Diagrama de funcionament. Font: pròpia	12
Figura 3. Energia potencial i cinètica d'una presa. Font: Scribd	13
Figura 4. Fotografia de l'embassament de Santa Fe a data d'agost de 2021. Font: pròpia.	15
Figura 5. Fotografia de l'embassament de Seva. Font: FLICKR	16
Figura 6. Fotografia de l'embassament de Vallforners. Font: FLICKR	17
Figura 7. Presa de gravetat. Font: webaero.net	18
Figura 8. Presa de escullera. Font: webaero.net	19
Figura 9. Vista aèria de l'embassament de Vallforners. Font: MITECO	19
Figura 10. Ubicació de l'embassament de Vallforners. Font: Fontsaigua.	21
Figura 11. Vista panoràmica de l'embassament de Vallforners. Font: Moianes.net	22
Figura 12. Reixeta d'un canal hidràulic. Font: Gunt.	23
Figura 13. Regions hidrològiques de Catalunya. Font: A.C.A.	27
Figura 14. Estacions d'aforaments de la conca del Besòs i situació de l'embassament de Vallforners. Font: A.C.A.	29
Figura 15. Esquema del salt net. Font: IDAE.	32
Figura 16. Plànol de l'estructura de la presa de Vallforners. Font: MITECO.	33
Figura 17. Turbina de tipus Pelton. Font: solar-energia.net	35
Figura 18. Turbina de tipus Turgo. Font: WKV AG.	35
Figura 19. Turbina de tipus Francis. Font: solar-energia.net	36

Figura 20. Turbina de tipus Kaplan. Font: Zeco hydropower.	36
Figura 21. Turbina de flux creuat. Font: Ossberger.de	36
Figura 22. Esquema del rotor i estator. Font: rinconeducativo.org	38
Figura 23. Acoblament de l'alternador a l'eix de la turbina. Font: energyeducation.ca	40
Figura 24. Aparcament municipal de Vallforners. Font: DIBA	41
Figura 25. Recorregut del camí a il·luminar. Font: Google Maps	43
Figura 26. Camí i aparcament municipal de Vallforners. Font: Caminosycaminatas	44
Figura 27. Fanal HALLET BRIDGELUX. Font: factorled.com	45

Gràfica 1. Diàmetre canonada forçada en funció del cabal. Font: IDAE. _____	25
Gràfica 2. Cabal mensual mitjà entre els anys 2016-2021. Font: pròpia. _____	29
Gràfica 3. Cabal mitjà entre els anys 2016 i 2021. Font: pròpia. _____	30
Gràfica 4. Cabals classificats entre els anys 2016 i 2021. Font: pròpia. _____	31
Gràfica 5. Camp d'utilització dels diferents tipus de turbines. Font: IDAE. _____	37
Gràfica 6. Rendiment de la turbina de flux creuat (Ossberger). Font: IDAE. _____	38

Índex de taules

Taula 1. Classificació de central hidroelèctriques segons potencia màxima instal·lada. Font: IDAE	11
Taula 2. Embassaments representatius del Montseny. Font: Text Refós del Pla Especial de Protecció del Medi Natural i del Paisatge del Parc del Montseny	14
Taula 3. Coordenades UTM de l'embassament.	21
Taula 4. Variabilitat del caudal ecològics a partir del cabal bàsic. Font: A.C.A.	27
Taula 5. Cabal ecològic referencia del 2021. Font: A.C.A.	28
Taula 6. Cabals generador dels principal embassaments de Catalunya. Font: A.C.A.	28

Prefaci

1.1. Origen del treball

La idea de tractar aquest tema ve precedit d'un estudi científic i històric sobre les fonts naturals al Montseny de l'autor Oscar Farrerons Vidal, director del present TFG. S'ha establert com a objectiu l'estudi de l'aprofitament del cicle natural del Parc Natural del Montseny per tal de donar resposta als problemes energètics actuals de la realitat.

1.2. Motivació

Actualment som presents a una època de crisi energètica en la que la pujada dels preus dels combustibles fòssils posa en perill l'economia de la població. És en aquests moments on l'atenció es centra en les energies renovables i com aquests intervenen en el mercat actual de l'energia.

Està clar que als darrers anys s'ha anat produint una transició en la forma de generar energia, però es podria aprofitar la força de la natura com a font d'energia neta? És en aquest punt quan s'ha de investigar les fonts renovables que es tenen a disposició i esbrinar que si es poden aprofitar.

A la actualitat, la tecnologia emprada al camp hidroelèctric ha arribat a la seva maduresa i no s'esperen grans canvis en aquest sector. Malgrat això, existeixen possibilitats d'aprofitament de l'energia hidràulica a petita escala i que presenten un interès local i que mereixen ser estudiades.

2. Introducció

Segons la Red Eléctrica de España, la cobertura de les energies renovables sobre la producció total a la península és del 45,5% a l'any 2020. Hi destaquen tecnologies com la eòlica, seguit de la hidràulica i la fotovoltaica, aquestes tecnologies no emeten CO₂ durant la seva generació. És per aquest motiu que és considera interessant realitzar l'estudi de la viabilitat de noves infraestructures amb l'objectiu de independitzar-se del combustibles fòssils, i per a aquest treball s'ha seleccionat el Parc Natural del Montseny com l'àrea d'estudi del present projecte.

2.1. Objectius del treball

El principal objectiu és posar en valor els actius naturals del Parc Natural del Montseny i estudiar la viabilitat de producció d'energia hidroelèctrica. Per ser més precisos, s'estudiarà els embassaments ja existents dins d'aquest territori i es pretén aprofitar el salt hidràulic i convertir aquesta energia en electricitat.

2.2. Abast del treball

En aquest treball s'ha tingut en compte les fonts d'energia compreses dins de la Reserva de la Biosfera Parc Natural del Montseny. Mitjançant l'estudi d'aquestes es pretén donar propostes que estiguin emmarcades tant dins de la legalitat vigent com la normativa del propi parc.

En quant a l'estudi tècnic, es limitarà a les àrees de generació d'una central hidroelèctrica i al sistema d'autoconsum de l'energia generada, deixant fora els sistemes de control. No es realitzarà el disseny de les instal·lacions d'obra civil donat que no és l'objectiu del projecte.

3. Àmbit d'estudi

El Parc Natural de la Reserva de la Biosfera del Montseny està situat entre les províncies de Girona i Barcelona, i està format pel 18 municipis que es reparteixen entre les comarques d'Osona (Seva, Viladrau, El Brull), La Selva (Arbúcies, Sant Feliu de Buixalleu, Breda, Riells i Viabrea) i el Vallès Oriental (Gualba, Campins, Sant Esteve de Palautordera, Sant Pere de Vilamajor, Cànoves i Samalús, La Garriga, Figaró-Montmany, Tagamanent, Aiguafreda, Montseny, Fogars de Montclús). El parc té una superfície d'unes 31.000 hectàrees i la Reserva de la Biosfera consta de 550 Km², definits des del 1994 per la UNESCO.

Cal diferenciar, abans, el termes que intervenen en l'àmbit d'estudi, la denominada Reserva de la Biosfera són un conjunt de llocs geogràfics reconeguts internacionalment que representen diferents hàbitats del planeta amb un alt interès científic, ecològic, biològic i cultural que són gestionades apropiadament, respectant de manera justa i equitativa la convivència entre éssers humans i naturalesa. Mentre que el Parc Natural és un espai natural d'alt valor natural i cultural i que pretén, en general, compatibilitzar l'activitat humana amb la preservació del medi natural i el seu paisatge. Aquesta figura jurídica s'ha desenvolupat arreu d'Europa i especialment a escala regional.

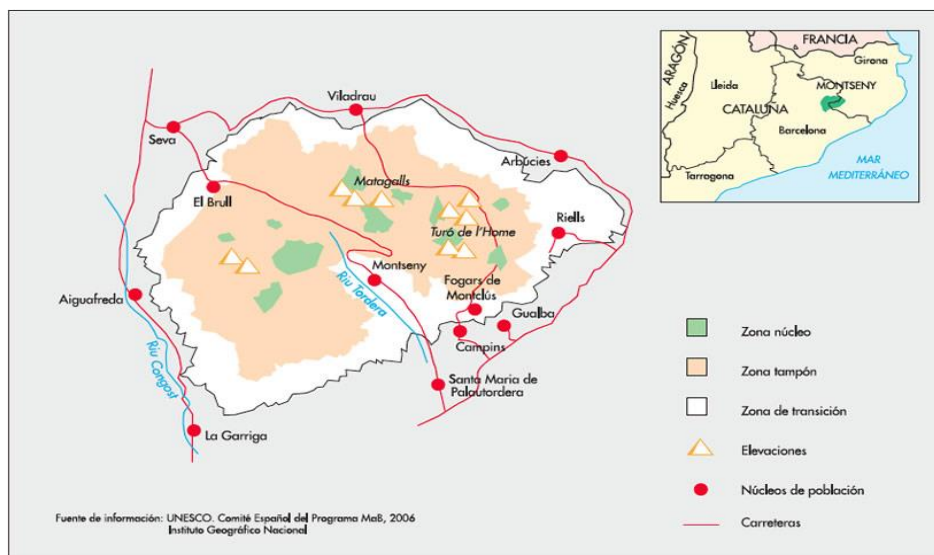


Figura 1. Mapa del Parc Natural de la Reserva de la Biosfera del Montseny. Font: RERB

Al Montseny hi podem trobar rius, rierols i embassaments. L'aprofitament d'aquests recursos naturals va començar amb l'establiment de les comunitats humanes, i en quant a l'ús de l'energia dels afluents, es té constància de civilitzacions al segle IX el quals aprofitaven la força del corrent per fer les seves activitats, com per exemple les instal·lacions de molins fariners, drapers o paperers. Aquestes instal·lacions aprofitaven el curs de l'aigua de manera que la força del propi fluid movia les pales d'una roda transmetent l'energia i facilitant les activitats que duien a terme.

En aquest projecte es tindrà en compte tots aquells actius compresos dins del Parc del Montseny. A continuació es mostra una imatge de l'àrea objecte a estudiar.

4. Estudi de mercat

És important realitzar un correcte estudi del mercat i determinar que l'activitat que es desitja dur a terme és viable, en aquest cas, es pretén realitzar la instal·lació d'una central hidroelèctrica dins al Parc Natural del Montseny.

4.1. Marc legislatiu de la generació d'energia hidràulica

Per a la realització del present projecte s'ha tingut en compte les següents disposicions legals i normativa que afecten a l'activitat de la generació hidràulica:

Marc Europeu

- COM(2005) 627. 7 de desembre de 2005. COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN: El apoyo a la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Marc Nacional

- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

Marc Autonomèmic (Catalunya)

- DECRET 114/1988, de 7 d'abril, d'avaluació d'impacte ambiental.
- DECRET 351/1987, de 23 de novembre, pel qual es determinen els procediments administratius aplicables a les instal·lacions elèctriques.
- Pla especial d'ordenació del Parc Natural del Montseny en la qual es determina el règim de protecció i gestió actuals en aplicació de la legislació urbanística.

4.2 Contextualització de l'activitat de producció d'electricitat

Es pretén implementar la instal·lació d'una central hidroelèctrica dins del territori del Montseny. La ubicació d'una central hidroelèctrica es troba en el transcurs d'un riu de manera que s'aprofitarà el cabal de l'aigua per moure les turbines i transformar aquesta energia mecànica en energia elèctrica mitjançant un alternador. D'aquesta manera s'aprofita aquesta energia elèctrica generada per electrificar un edifici aïllat.

L'activitat que es pretén dur a terme està emmarcada dins del marc regulador de la *Llei 24/2013*, la generació i la comercialització estan emprades en l'*article 1 i 2*, el subministrament d'energia elèctrica constitueix un servei d'interès econòmic general i està permès la lliure iniciativa empresarial. La central que es desitja implementar es basa en la producció d'electricitat a partir d'energia renovable, és a dir, sense utilitzar energia procedent de combustibles fòssils. A més a més, l'activitat està classificada en el subgrup b.4.2 per a centrals hidràuliques que hagin estat construïdes en infraestructures existents dedicades a altres usos diferents a l'hidroelèctric i amb una potència instal·lada inferior a 10MW.

En l'*article 6* s'informa que els productors d'energia elèctrica que a més a més de construir, operar i mantenir les instal·lacions de produccions també poden participar al subministrament d'energia elèctrica.

En quant a la protecció activa dels valors del Parc del Montseny s'admeten exclusivament aquelles obres vinculades tant a la gestió pública com privada del domini públic hidràulic, que hagin estat autoritzats prèviament per l'administració hidràulica competent. Tenint en compte que la instal·lació es durà a terme en dins la zona de la Reserva de la Biosfera del Montseny i, per tant, és d'aplicació la normativa.

Segons el contingut del Text Refós del PLA ESPECIAL DE PROTECCIÓ DEL MEDI NATURAL I DEL PAISATGE DEL PARC DEL MONTSENY no s'admeten nous embassaments sigui quina sigui la seva finalitat, només són admissibles aquells aprofitaments hidràulics per a la producció d'energia elèctrica de petit abast, és a dir exclusivament per a l'autoconsum d'una edificació. A més a més, cal que la solució optada no interrompin la continuïtat del curs d'aigua i que tampoc afectin ni la llera ni el cabal.

Amb les limitacions marcades pel marc regulador actual, es durà a terme la instal·lació d'una minicentral hidroelèctrica que mitjançant un embassament existents s'electrificarà un edifici aïllat aprofitant un salt d'aigua.

5. Tipus de centrals

Encara que no hi hagi un consens sobre les classificacions de les centrals hidràuliques, segons la legislació nacional vigent es poden distingir dos tipus segons la potència màxima instal·lada, a continuació es mostra la classificació:

NOM	POTÈNCIA
Gran hidràulica	$P > 10$ MW
Mini hidràulica	$P \leq 10$ MW

Taula 1. Classificació de central hidroelèctriques segons potencia màxima instal·lada. Font: IDAE

Les centrals no es diferencien segons la potència, sinó per el seu emplaçament. A continuació, s'esmenten els diferents tipus:

- **Centrals d'aigua fluent:** són aquelles que recullen una part del cabal del riu per reconduir-ho fins la central hidroelèctrica, una vegada s'obté l'energia, l'aigua retorna al riu.
- **Centrals a peu d'embassament:** són aquells que es troben sota els embassaments de manera que s'aprofita el salt que proporciona el desnivell creat per l'embassament. Tenen la particularitat de poder regular el cabal de l'aigua en funció del nivell d'acumulació de l'embassament.
- **Centrals en un canal de rec o d'abastiment:** són aquells que utilitzen el propi desnivell del canal de rec.

6. Funcionament teòric

6.1. Cicle de l'aigua

El cicle hidrològic és aquell procés de circulació de l'aigua, la qual és capaç de desplaçar-se en tres estats químics diferents, líquid, sòlid i gasós. Aquest cicle es continu i consta de diferents etapes i processos en el que l'aigua canvia de fase.

Es podria dir que aquest cicle comença principalment amb l'evaporació de l'aigua dels mar, llacs i rius del nostre planeta. Seguidament, aquest vapor d'aigua condensa i precipita en forma de pluja, neu o calamarsa sobre majoritàriament la superfície terrestre.

De manera que l'aigua que arriba a la superfície acaba una part als oceans i un altra part és aprofitada per essers vius.

6.2. Transformació de l'energia de l'aigua

L'aigua del riu s'emmagatzema en un embassament, es deixa passar l'aigua a través d'unes canalitzacions per la pressa i es dirigeix cap a les turbines. Es pretén transmetre l'energia de l'aigua en moviment a les hèlix de la turbina de manera que es transformi l'energia mecànica en energia elèctrica mitjançant un alternador. L'aigua utilitzada retorna cap al riu sense afectar les propietats d'aquesta.

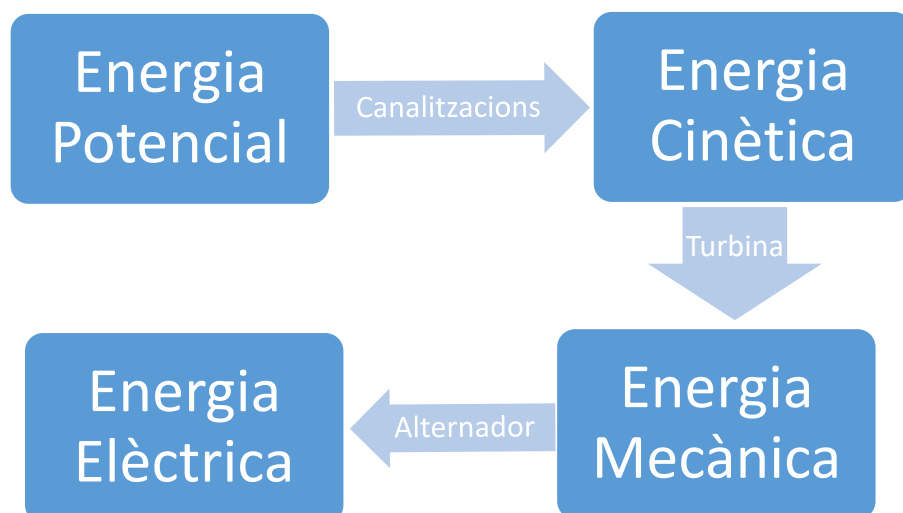


Figura 2. Diagrama de funcionament. Font: pròpia

6.3. Equació de Bernoulli

El fenomen físic de la transformació d'energia d'aquesta central hidroelèctrica es pot explicar mitjançant l'equació de Bernoulli la qual consisteix en el balanç d'energies entre 2 punts del cabal de l'aigua.

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

L'energia potencial de l'aigua retinguda de l'embassament del punt 1 és transforma en energia cinètica mitjançant la canalització de l'aigua del punt 2. D'aquesta manera s'aprofita el salt de l'aigua al mateix temps que no s'afecta ni la llera ni el cabal.

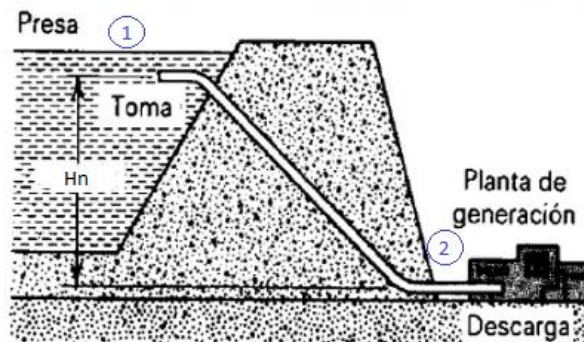


Figura 3. Energia potencial i cinètica d'una presa. Font: Scribd

7. Selecció de la font de la central hidroelèctrica

7.1. Situació dels embassaments

La ubicació de la minicentral hidroelèctrica que es pretén instal·lar es troba en el transcurs d'un riu, de manera que s'aprofita el cabal de l'aigua per moure les turbines i transformar aquesta energia mecànica en energia elèctrica mitjançant un generador.

S'han seleccionat 3 embassaments representatius del Parc del Montseny com a possibles fonts d'energia hidràulica.

A continuació s'esmenten els principals bassals o sistemes d'acumulació d'aigua al Montseny i els seus usos:

NOM	CAPACITAT [hm ³]	ALÇADA [m]	ÚS
Embassament de Santa Fe	0,8	24	Producció d'energia elèctrica i abastament d'aigua potable
Embassament de Seva	1,1	23,8	Abastament d'aigua potable
Embassament de Vallforners	2,3	62	Regadiu

Taula 2. Embassaments representatius del Montseny. Font: Text Refós del Pla Especial de Protecció del Medi Natural i del Paisatge del Parc del Montseny

7.2. Criteri d'elecció

A continuació, un breu resum de la metodologia emprada per l'elecció de l'embassament.

- **Avaluació dels llocs i dels paràmetres:** es valoren la situació de cada embassament, la estructura de la presa i la seva disponibilitat.
- **Autoritzacions i requeriments necessaris:** Revisió de la legislació municipal de cada embassament en relació a la aprofitament d'energia hidroelèctrica.

- **Viabilitat de la instal·lació:** Valoració de la possible instal·lació d'una centraleta a peu de presa.

7.2.1. Avaluació del lloc i dels paràmetres

S'ha de comparar i valorar la situació dels embassaments proposats i les característiques d'aquestes per tal d'avaluar aquestes opcions per a la instal·lació d'una minicentral. Cal tenir en compte la disponibilitat dels terrenys on s'ubiquen i els paràmetres útils que es necessiten per aprofitar l'energia del salt.

Embassament de Santa Fe

Aquest embassament es troba dins del municipi de Fogars de Montclús (comarca del Vallès Oriental) i es va construir sobre el rierol de Santa Fe durant els anys 1920 i 1935. La presa és del tipus mixt en forma d'arc i amb molta massa (gravetat) i té una altura de 24 m i 14 m d'amplada i una capacitat màxima de 899.000 m³. Actualment l'empresa PICSSA és propietària de la presa i té instal·lat un grup electrogen com a suport per a la generació d'energia elèctrica.



Figura 4. Fotografia de l'embassament de Santa Fe a data d'agost de 2021. Font: pròpia.

Donat que ja s'està aprofitant el salt net que ofereix aquest embassament queda **descartat** per a l'estudi proposat.

Embassament de Seva

L'embassament de Seva és al municipi de Seva (comarca d'Osona). Es va construir l'any 1967 sobre el torrent de Valldoriola (afluent del riu de Gurri) i el seu ús es destina a aigua de boca. La estructura hidràulica té una altura de 14,5 m i 112,5 m d'amplada i una capacitat màxima de 20.265 m³. El sòl on està construït la presa es considera con a Sòl no urbanitzable i és propietat de l'Agència Catalana de l'Aigua.



Figura 5. Fotografia de l'embassament de Seva. Font: FLICKR

Embassament de Vallforners

L'embassament de Vallforners és al municipi de Cànoves i Samalús (comarca del Vallès Oriental). Es va construir entre els anys 1985 i 1989 sobre el rierol de Cànoves i el seu ús es destina principalment al regadiu de cultius. La estructura hidràulica té una altura de 61,50 m i 10 m d'amplada i una capacitat màxima de 2,156.000 m³. El sòl on està construït la presa es considera con a sòl no urbanitzable i és propietat de l'Agència Catalana de l'Aigua.



Figura 6. Fotografia de l'embassament de Vallforneres. Font: FLICKR

7.2.2. Avaluació de les autoritzacions i requeriments necessaris

Tenint en compte que la instal·lació d'una minicentral hidroelèctrica fa un ús de l'aigua és necessari una concessió de les administracions corresponents. És per aquest motiu que s'estudiaran els Plans d'Ordenació Urbanística Municipal (P.O.U.M.) dels embassaments proposats.

Abans de l'estudi cal esmentar que segons el article 122 del Pla Especial de Protecció del Medi Natural i del Paisatge del Parc del Montseny, es permeten els aprofitaments hidràulics per a la producció d'energia elèctrica exclusivament per a l'autoconsum d'una edificació i sempre i quan la infraestructura no afecti ni la llera ni el cabal. En quant al sistema de subministrament d'energia elèctrica, segons el article 125, es prohibeix la implementació de noves línies de transport, a excepció de les de distribució i abastament directe a edificis i instal·lacions.

Embassament de Seva

L'administració que ordena el territori en la qual es troba l'embassament de Seva és l'Ajuntament de Seva. Segons el Art. 201 apartat f) del Text Refós del P.O.U.M. no esta permès col·locar cap estructura que no respecti una distancia mínima de 5,00 metres dels marges que delimiten la llera dels i el torrents. Aquesta norma no permet la instal·lació de l'equipo electromecànic necessari per aprofitar el salt d'aigua i per tant fa **inviabile** la instal·lació d'una minicentral hidroelèctrica a peu de pressa a l'embassament de Seva.

Embassament de Vallforneres

L'administració que ordena el territori en la qual es troba l'embassament de Vallforners és l'Ajuntament de Cànoves i Samalús. Segons l'article 105.2 apartat d) de les Normes Urbanístiques del P.U.O.M. de Cànoves i Samalús indica que està permès la instal·lació d'infraestructures hidràuliques per a la generació d'energia elèctrica.

7.2.3. Estudi de la viabilitat de la instal·lació

La infraestructura de l'embassament que provoca la retenció de l'aigua del riu i proporciona un salt considerable mitjançant la creació d'un embassament s'anomena presa i depenent del material de construcció i la seva disposició la complexitat d'una instal·lació d'una central hidroelèctrica augmenta.

Embassament de Seva

Aquest embassament està delimitat per una presa de gravetat de formigó propi d'una base de terreny consistent. Consta d'una base triangular la qual es va estrenyent cap a la part superior.

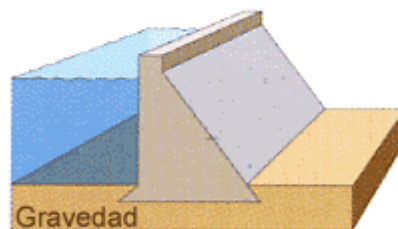


Figura 7. Presa de gravetat. Font: webaero.net

Embassament de Vallforners

Aquest embassament està delimitat per una presa de escullera les quals estan formades per materials del propi terreny, en aquest cas de pedra i sorra compactada. La base d'aquesta presa és ampla per compensar la poca estabilitat que ofereix aquests tipus de materials.

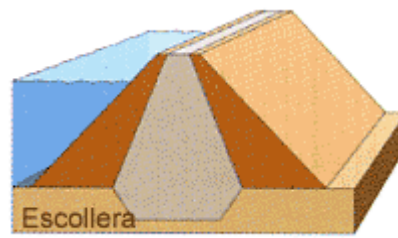


Figura 8. Presa de escullera. Font: webaero.net

7.3. Embassament seleccionat: Vallforneres



Figura 9. Vista aèria de l'embassament de Vallforneres. Font: MITECO

Dades de l'embassament de Vallforneres:

- Superfície de la conca hidrogràfica (km²): 13 km²
- Aportació mitjana anual (hm³): 3 hm³
- Cabal punta avinguda de projecte (m³/s): 192 m³/s
- Cota coronació (m): 523 m
- Alçada des de fonament (m): 62 m
- Longitud de coronació (m): 160 m
- Cota fonamentació (m): 461 m
- Cota de la llera en la presa (m): 462 m

- **Volum del cos presa (1000 m³):** 494,96 1000 m³
- **Superfície de l'embassament a NMN (ha):** 11 ha
- **Capacitat a NMN (hm³):** 2 hm³
- **Cota del NMN (hm³):** 520 m
- **Nombre total de sobreexidors a la presa:** 1
- **Regulació sobreexidors:** No
- **Capacitat sobreexidors (m³/s):** 135 m³/s
- **Nombre total de desguassos a la presa:** 1
- **Capacitat desguassos (m³/s):** 8 m³/s

Ubicació de l'embassament:

Es tracta d'un embassament d'una superfície de 112.400 m² situat al municipi de Cànoves i Samalús (08445) dins de la comarca del Vallès Oriental. Aquest pantà pertany a la conca del riu Besòs i ,a causa de la forma de embut muntanyenc format per un conjunt de muntanyes, turons i serrats des del pla de la Calma a l'obaga d'en Cuc, recull aigua principalment del torrent de Vallforners i altres torrents. És accessible per carretera o a peu pel camí de Vallforners, situat a menys de 3km del centre de Cànoves i Samalús.

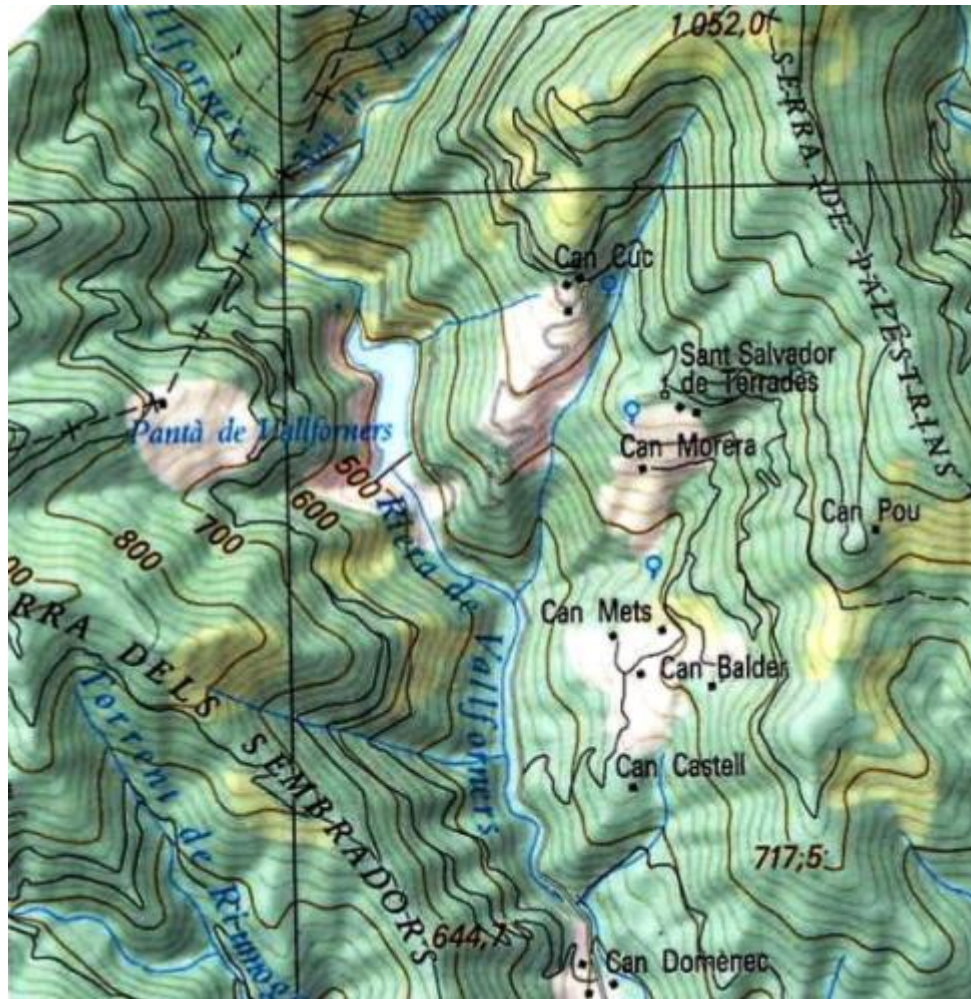


Figura 10. Ubicació de l'embassament de Vallforners. Font: Fontsaigua.

COORDENADES	
X = 41.7202372	Y = 2.3413674

Taula 3. Coordenades UTM de l'embassament.

Historia de l'embassament:

La construcció de l'embassament de Vallforners es va començar l'any 1985 confeccionat pel Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca encapçalat pels enginyers Cándido Avendaño Salas i Miguel A. Carrillo Suárez i va finalitzar l'any 1989 amb l'objectiu d'acumular fins a 2.300.000 m³ d'aigua que permetria regar fins a 500 ha de conreus.



Figura 11. Vista panoràmica de l'embassament de Vallforners. Font: Moianes.net

Va ser la primera presa a Catalunya construïda amb pedra i terra compactada. Aquest projecte va consistir en:

- L'excavació de l'embassament.
- El desviament de la riera.
- La instal·lació dels aparells d'auscultació de l'entrada i sortida de cabals.
- Construcció d'un nou camí perimetral que voreja tot l'embassament per substituir el que va quedar inundat per l'acumulació de l'aigua.

8. Obres i instal·lacions necessàries

En aquest apartat s'explicaran totes aquelles adaptacions que s'hauran de realitzar en concepte de canalització de la minicentral hidroelèctrica a peu de presa.

Sistema de captació d'aigua

És pretén canalitzar l'aigua de l'embassament de Vallforneres utilitzant el desnivell creat per la presa de gravetat de terra compactada amb pedra. L'estructura consta de 2 canalitzacions per vessar l'aigua embassada:

- El primer és un **sobreeixidor** que s'utilitza per l'abocament de grans cabals com els d'una crescuda. El tipus del sobreeixidor és de llavi fix i no desaigua fins que es supera un llindar, això fa que sigui poc rentable aprofitar aquest cabal.,
- El segon és un **desguàs** amb una capacitat de vessar fins a 8,25 m³/s. No s'ha trobat informació sobre les dimensions d'aquesta ni la seva disposició però suposem que es tracta d'un desguàs de fons que permetria la neteja dels sediments i que tindria la funció de controlar i buidar el nivell de l'embassament. El cabal d'aquesta conducció es podria turbinar aprofitant que el lliurament de cabal ecològic d'aigua és permanent.

Preses d'aigua

L'aigua abans de passar per el conducte forçat (desguàs) primer ha de superar la **reixeta** situada en l'embocadura del conducte, és tracta de un filtre que evita l'entrada de branques, fulles i altres objectes que podrien produir un embossament de la canonada.



Figura 12. Reixeta d'un canal hidràulic. Font: Gunt.

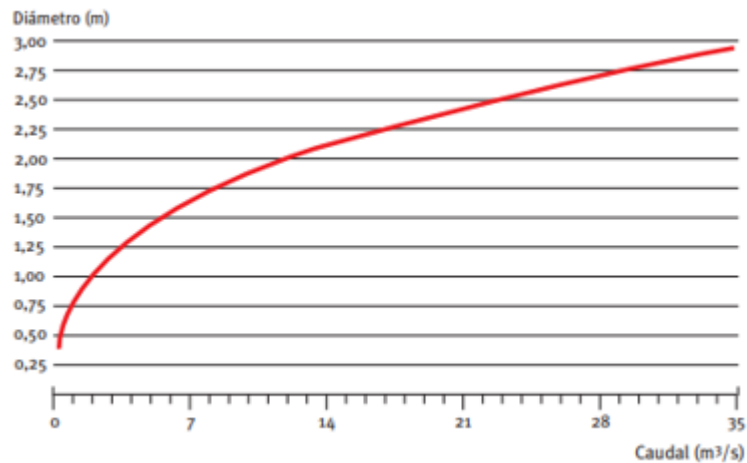
Seguidament, el sistema de regulació accionada per una **vàlvula** deixar passar un cabal en funció dels acords establerts per la Comunitats de Regants de la Riera de Vallforners. No hi cap informació que indiqui quin tipus de vàlvula utilitza la presa de Vallforners, però per les seves característiques podrien ser:

- **Vàlvula de comporta:** és aquella que esta dissenyada per a un servei completament obert o completament tancat. Aquesta vàlvula és adequada per instal·lacions exteriors i subterrànies, aquest últim pren importància per evitar costos de substitució.
- **Vàlvula de papallona:** és aquella que està dissenyada per interrompre o regular el flux d'una canonada, és a dir, pot actuar tant com a seccionament (tot-res) com posicions intermèdies mitjançant augmentant o reduint la secció de pas. Cal tenir en compte que el mecanisme de regularització del flux produeix cavitació i aquesta ha de ser estudiada per tal evitar aquest fenomen.
- **Vàlvula de bola:** aquest tipus de vàlvula, també coneguda com a vàlvula d'esfera, utilitza el cos d'una esfera amb un orifici passant com a part d'obertura i tancament. És a dir, es permet el pas del fluid quan la entrada de la vàlvula esta alineada amb la perforació de l'esfera de manera que ofereix un estat de obert o tancat. No ofereix una regulació precisa.
- **Vàlvula d'agulla:** la funció aquest tipus de vàlvula és la de regular el fluid que transcorre a través d'una canonada amb un escanyament del fluid de manera precisa i eficient. Generalment s'utilitzen en sistemes hidràulics de baixa pressió de gasos i líquids.
- **Vàlvula Howell-Bunger:** també coneguda com vàlvula de raig d'aigua buit, es tracta d'una vàlvula habitualment utilitzada en preses, concretament situada a la sortida del desguàs. Aquesta vàlvula funciona amb cabals controlats variables entre completament obert i completament tancat.

La importància requeriments de la Comunitat de Regants de la Riera de Vallforners fa que el cabal de vessament sigui variable al llarg de l'any, sobretot en època d'estiatge. Aquests requeriments i les característiques de l'embassament fa que l'elecció més adient sigui utilitzar una vàlvula del tipus Howell-Bunger. Amb aquesta elecció resulta obligatori disposar d'un sistema de filtració que ofereix una reixeta per evitar taponaments i més que res, evitar el tancament de la vàlvula.

Sistema de canalització

El desguàs que es pretén utilitzar com a sistema de canalització ha d'estar format per elements amb la màxima qualitat possible degut a que es tracta d'una infraestructura soterrada, és a dir, el cost de manteniment podria ser costós.



Gràfica 1. Diàmetre canonada forçada en funció del cabal. Font: IDAE.

El diàmetre del conducte forçat normalment va relacionat amb el caudal que ha de treballar en condicions nominals. En el cas de l'embassament s'ha considerat un cabal de 0,45 i s'obté un diàmetre aproximat de 0,5m. Degut a que el canonada forçada és el desguàs de la presa, el salt no és molt gran i per tant l'espessor serà d'uns 6 mm.

A més a més, per evitar els problemes de cavitació els conductes de desguàs de fons s'han de prolongar fins a l'exterior de la presa.

Centraleta

Es tracta d'un petit edifici on estan ubicades l'equipament electromecànic de la minicentral. La ubicació d'aquesta ha d'analitzar-se si es pretén aprofitar correctament l'alçada del salt.

En el present projecte l'emplaçament de la centraleta es situarà a peu de presa, concretament al final del conducte del desguàs. El terreny va ser creat artificialment durant la construcció de l'embassament i ara es proposa modificar-ho per emplaçar una centraleta per aprofitar l'energia neta del salt creat per la presa amb els mínims impactes visuals.

9. Disseny de la central hidroelèctrica

Per al disseny de la central hidroelèctrica s'ha de determinar els paràmetres de l'embassament ja que condicionen el funcionament de una minicentral.

9.1. Determinació del cabal

Es denomina cabal al volum d'aigua que a travessa una secció en un temps determinat, en aquest cas la secció és la canalització d'entrada a la turbina.

Per determinar el cabal del règim d'aigua que es pretén aprofitar es consulta si existeixen dades d'estacions d'aforament pel tram del riu de l'embassament. No hi ha dades de cabals registrats en aquest embassament però existeixen dades proporcionades per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) en la qual s'indiquen els cabals de manteniment o ecològics dels embassaments de Catalunya.

Segons els *Pla Sectorial de Cabals de Manteniment de les Conques Internes de Catalunya* existeix una tipologia fluvial segons la regió on es troba cada embassament. Les característiques de l'embassament de Vallforners esta associat a un clima mediterrani humit amb rius que romanen i que rarament s'assequen. Aquest clima pot presentar un fort estiatge degut als clima extrem com els hiverns plujosos i els estius secs segons l'apartat A.3. del Pla de l'ACA mencionat anteriorment.

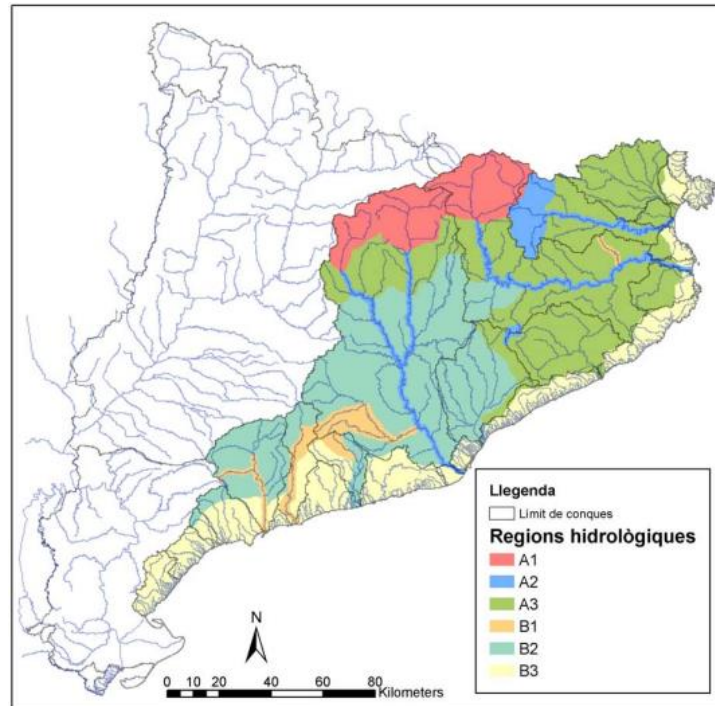


Figura 13. Regions hidrològiques de Catalunya. Font: A.C.A.

A partir d'aquesta classificació, l'ACA estableix una sèrie de cabals ecològics mitjançant l'aplicació d'uns criteris definits que es basen en la variació d'un cabal bàsic en funció dels patrons hidrològics de la situació de l'embassament.

Tipus hidrològic	Variabilitat mensual sobre el Qb calculat											
	Oct.	Nov.	Des.	Gen.	Febr.	Març	Abr.	Maig	Juny	Jul.	Ag.	Set.
A1	Qb		0,8 Qb		Qb	1,5 Qb			Qb			
A2	Qb						1,3 Qb	Qb	0,8 Qb			
A3	Qb	1,2 Qb					Qb			0,8 Qb		
B1	1,1 Qb				Qb				0,8 Qb			
B2	Qb	1,2 Qb				Qb			0,8 Qb			

Taula 4. Variabilitat del caudal ecològics a partir del cabal bàsic. Font: A.C.A.

Cal esmentar que el cabal ecològic és aquell cabal que permet al menys la conservació de les poblacions fluvials existents.

Es prendrà aquells valors de caudal ecològic que s'indiquen en el Pla de Gestió del districte de conca fluvial de Catalunya que es pretenen implantar com a referència l'any 2021.

AUDITORIA DE L'ENERGIA HIDROELÈCTRICA AL PARC NATURAL RESERVA DE LA BIOSFERA DEL MONTSENY, I PROPOSTES DE FUTUR

		Règim de caudales de mantenimiento o ecològics referència implantar 2016-2021 (m³/s)												
CUENCA DEL BESÒS														
11001	CONGOST A CENTELLES	0,015	0,015	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015	0,012	0,012	0,012
11002	CONGOST AIGUA AMUNT DE L'AVENCÓ	0,015	0,015	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015	0,012	0,012	0,012
11003	AVENCÓ A E.A. A0017 (AIGUAFREDA)	0,015	0,015	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015	0,012	0,012	0,012
11004	CONGOST A E.A. A0037 (GARRIGA)	0,034	0,034	0,041	0,041	0,041	0,041	0,034	0,034	0,034	0,027	0,027	0,027	0,027
11005	CONGOST AIGUA AMUNT DEL MOGENT	0,073	0,073	0,087	0,087	0,087	0,087	0,073	0,073	0,073	0,058	0,058	0,058	0,058
11006	MOGENT A LLINARS DEL VALLÈS	0,022	0,022	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,022	0,017	0,017	0,017	0,017
11007	MOGENT AIGUA AMUNT DE CÀNOVES	0,040	0,040	0,048	0,048	0,048	0,048	0,040	0,040	0,040	0,032	0,032	0,032	0,032
11008	VALLFORNERS A L'EMBASSAMENT	0,015	0,015	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015	0,012	0,012	0,012	0,012

Taula 5. Cabal ecològic referència del 2021. Font: A.C.A.

Així mateix, cal tenir en compte el caudal generador, el qual es defineix com aquell caudal que s'allibera com a mínim una vegada a l'any durant un interval de temps per tal d'evitar les crescudes. A continuació, es mostra el valor del cabal generador de l'Embassament de Vallforners.

Cuenca	Embalse	Caudal generador (m³/s)	Periodo preferente
Muga	Darnius - Boadella	27,5	Diciembre - febrero
Ter	Sau	67,9	Mayo - junio
	Susqueda	74,3	
Besòs	Vallforners	1,40	Mayo - junio
	La Baells	32,41	Diciembre - enero
Llobregat	La Llosa del Cavall	8,40	Mayo - junio
	S. Ponç	10,00	Mayo - junio
	S. - Martí de Tous	0,80	Mayo - junio
Foix	Foix	3,20	Septiembre - noviembre
Gaià	El Catllar	2,28	Abril - mayo
Riudecanyes	Riudecanyes	2,00	Septiembre - noviembre

Taula 6. Cabals generador dels principals embassaments de Catalunya. Font: A.C.A.

Una vegada s'ha determinat el cabal ecològic i generador, els quals eren necessaris per establir els límits de treball de la turbina, es procedeix a calcular el cabal que circularà per l'embassament amb l'ajuda d'una aplicació interactiva facilitada per l'ACA. Es tracta d'una eina anomenada SDIM i que permet l'accés a registres de les estacions d'aforament de Catalunya.

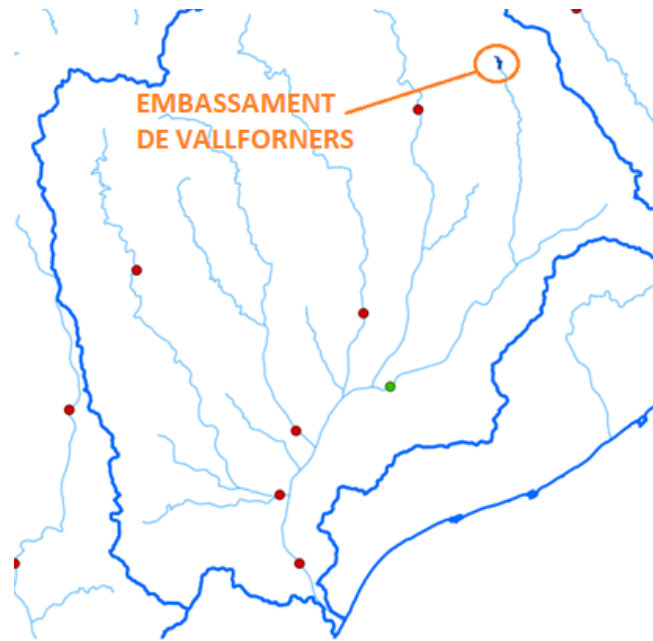
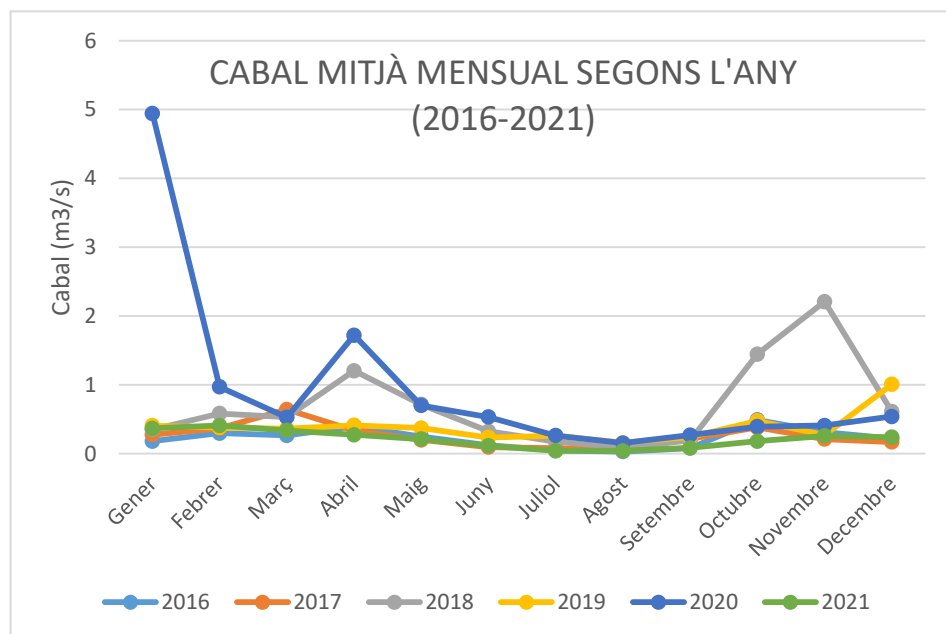


Figura 14. Estacions d'aforaments de la conca del Besòs i situació de l'embassament de Vallforners. Font: A.C.A.

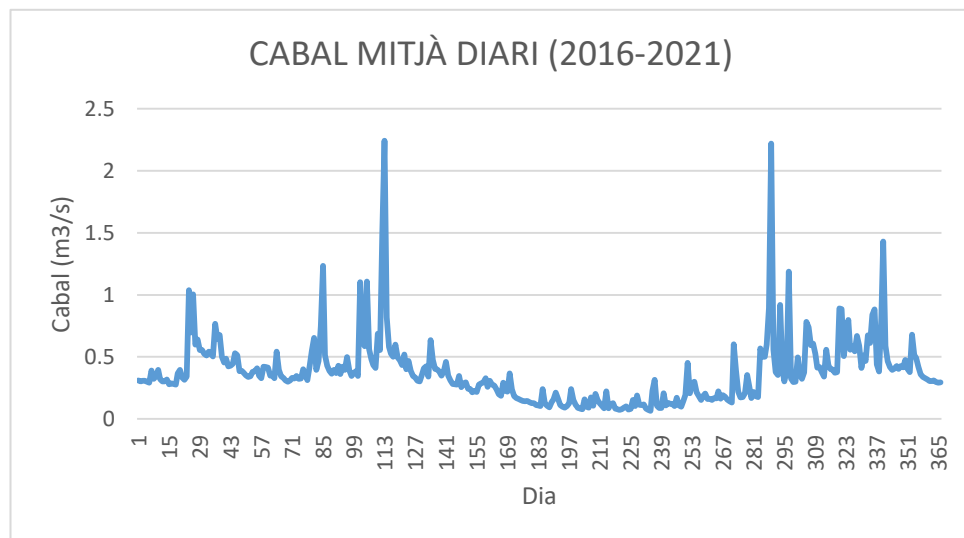
Donat que no existeix cap registre directe del cabal de l'embassament de Vallforners es prendrà les dades del riu Mugent (punt verd) que recull part de l'aigua de la riera de Cànoves. Les dades proporcionades per l'aplicació són els cabals diaris i s'han pres els registres des del 2007 fins al 2021 per determinar el cabal mig.



Gràfica 2. Cabal mensual mitjà entre els anys 2016-2021. Font: pròpia.

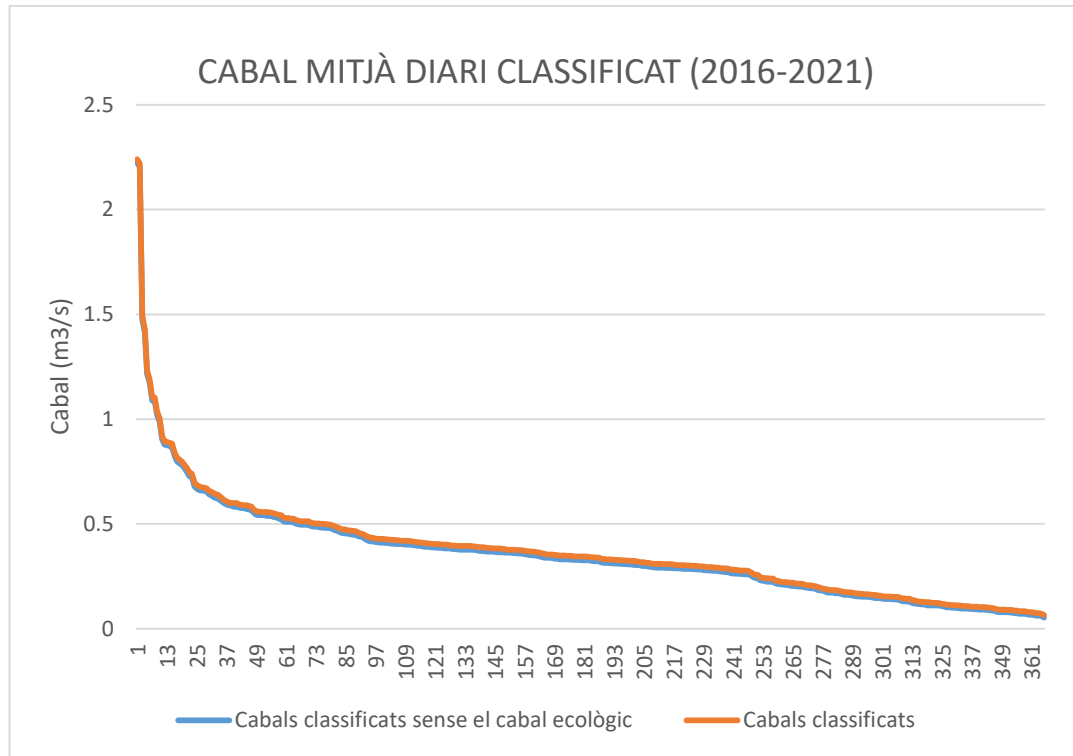
Com es pot observar en l'anterior gràfica del caudal mitjà mensual entre els anys 2016 i 2021, durant el mes de gener de 2020 el valor del cabal presenta una diferència significativa a la resta de valors, això va ser degut al temporal Glòria succeït entre el 20 i 23 de gener de 2020. Per al càlcul del cabal no es tindrà en compte aquest valor perquè es considera un cas extraordinari.

Per al càlcul del cabal de treball de l'equipament es prenen els registres de caudal diaris des de 2014 fins a 2021 i es calcula la mitja.



Gràfica 3. Cabal mitjà entre els anys 2016 i 2021. Font: pròpia.

Es classifiquen aquests cabals de major a menor cabal, d'aquesta manera s'obté una corba. Seguidament s'extreu el cabal ecològic de la corba de cabals classificats i s'obté una nova corba i es selecciona un cabal que circula en dins de l'interval de 80 a 100 dies.



Gràfica 4. Cabals classificats entre els anys 2016 i 2021. Font: pròpia.

Segons els resultats obtinguts el cabal d'equipament de la turbina és de **0,45 m³/s**.

9.2. Determinació del salt net

Aquest paràmetre és fonamental per al disseny de la minicentral ja que es tractarà d'aprofitar el salt net que permet la topografia del terreny. Aquest salt es descompondre en petits de salts que donen una idea del salt que s'aprofitarà i de aquella que es perdrà, cal determinar doncs els paràmetres que intervenen en el salt net de l'embassament. A continuació, es mostra un esquema on es mostren aquests paràmetres:

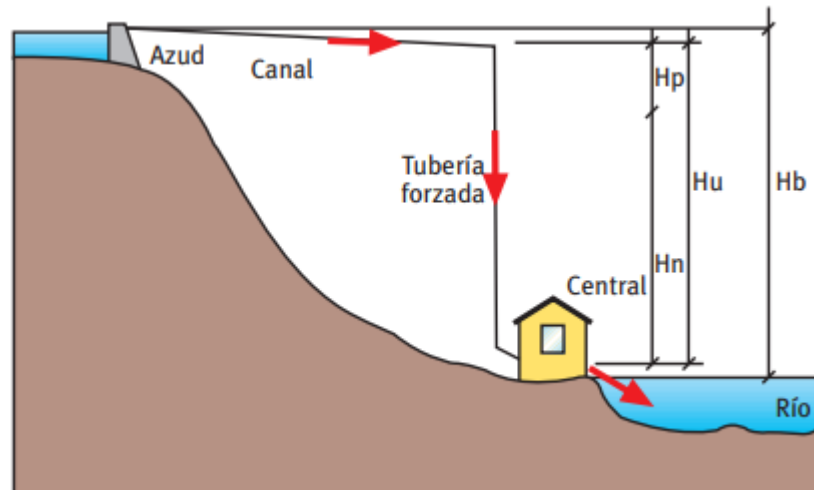


Figura 15. Esquema del salt net. Font: IDAE.

- **Salt brut (H_b):** Alçada compresa entre la cota màxima de l'aigua de l'embassament i el nivell del punt del riu on es descarrega l'aigua turbinada.
- **Salt útil (H_u):** Alçada compresa entre la presa de la conducció forçada i el nivell del desguàs de la turbina.
- **Pèrdues de càrregues (H_p):** Són aquelles produïdes per el fregament de l'aigua amb la superfície de la conducció forçada i altres accessoris. Es pot considerar un ordre del 10% en concepte de pèrdues.
- **Salt net (H_n):** Alçada que la turbina aprofitarà. Aquesta es calcula restant al Salt útil les pèrdues de càrregues.

A continuació, es mostra un plànol de la presa de Vallforners indicant les cotes més significants:

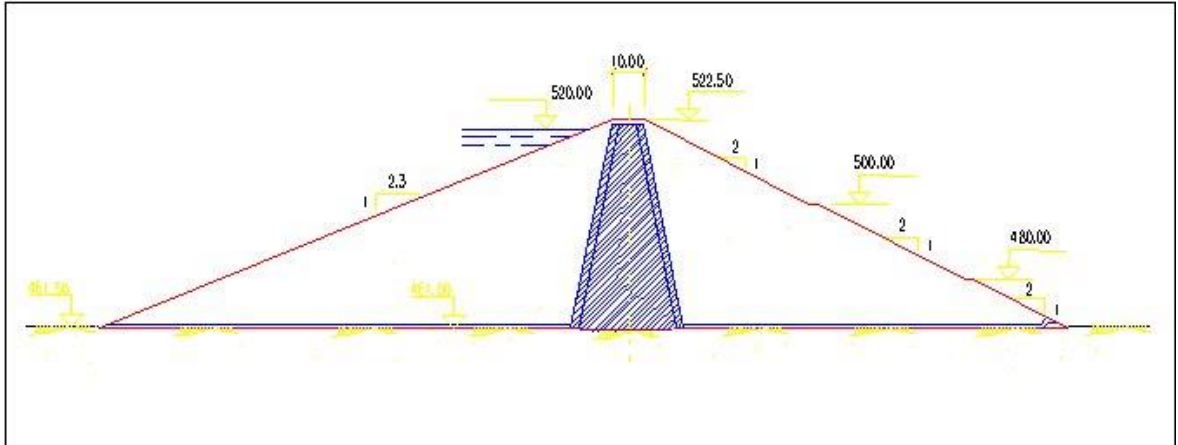


Figura 16. Plànol de l'estructura de la presa de Vallforners. Font: MITECO.

A partir d'aquestes dades i tenint en compte que es pretén instal·lar una minicentral hidroelèctrica a peu de presa es procedeix amb el càlcul de salt que s'aprofitarà.

Degut a que la presa de Vallforners té un únic desguàs amb una capacitat de $8,25 \text{ m}^3/\text{s}$, aquest desguàs hauria d'estar dissenyat tant per evacuar cabals al riu com per buidar els sediments acumulats. Donat que no s'aporten dades de la cota de entrada de l'entrada de la conducció del desguàs, s'estima que existeix un desnivell aproximat de 3,5 m d'alçada entre la entrada i la sortida de la conducció.

Presa de Vallforners:

- **Salt brut (Hb):** $Hb = 464 - 461 = 3 \text{ m}$
- **Salt útil (Hu):** $Hu = 464 - 461,5 = 2,5 \text{ m}$
- **Pèrdues de càrregues (Hp):** $Hp = 0,1 \cdot Hb = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ m}$
- **Salt net (Hn):** $Hn = Hu - Hp = 2,5 - 0,3 = 2,2 \text{ m}$

9.3. Determinació de la potència

Una vegada s'ha determinat el cabal i la potència que ofereix l'embassament es pot calcular la potència teòrica (Watts) amb la següent fórmula:

$$P_{\text{Teòrica}} = Q \cdot H \cdot g$$

On:

P = potencia teòrica expressada en kW.

g = acceleració de la gravetat expressada en m/s^2 .

Q = cabal d'aigua expressada en m^3/s .

H = salto o desnivell expressat en m.

Substituint les variables amb les dades obtingudes s'obté:

$$P_{Teòrica} = Q \cdot H \cdot 9,81$$

$$P_{Teòrica} = 0,45 \cdot 2,3 \cdot 9,81 = 9,71 \text{ kW}$$

Donat que la turbina té una eficiència es calcula la potencia mecànica obtinguda amb la següent formula:

$$P_{Elèc.} = P_{Teòrica} \cdot \eta_{Gen}$$

$$P_{Elèc.} = 9,71 \text{ kW} \cdot 0,76 = 7,38 \text{ kW}$$

$$\eta_{Gen} = \eta_{turbina} \cdot \eta_{generador} \cdot \eta_{transformador}$$

$$\eta_{Gen} = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,76$$

On:

$\eta_{Elèc.}$: rendiment elèctric, es el producte dels rendiments que intervenen en el procés de generació d'energia elèctrica.

$\eta_{turbina}$: rendiment de la turbina, en aquest cas és una turbina de flux creuat (80% d'eficiència)

$\eta_{generador}$: rendiment del generador, en aquest cas és tracta d'un generador asíncron (95% d'eficiència aproximada)

$\eta_{transformador}$: rendiment del transformador, en aquest cas es considera ideal degut a que no cal variar la tensió de la electricitat generada al ser una potencia petita.

10. Dimensionament de l'equip electromecànic

Una vegada determinada els paràmetres útils es procedeix al dimensionament dels component de l'electromecànic que consta d'una turbina, un alternador i un transformador.

10.1. Selecció de la turbina

Dins del mercat existeixen diferents tipus de turbines oferint una amplia gamma de funcionalitats segons el cabal que es pretén turbinar. A continuació es valoraran el més adients per al cas d'estudi:

- **Turbina Pelton:** És aquella turbina hidràulica de impuls utilitzada principalment en centrals hidroelèctriques amb gran alçada vertical. El disseny de la turbina és resultat de la transformació de la roda d'aigua tradicional. Posseeix una eficiència entorn al 92%.



Figura 17. Turbina de tipus Pelton. Font: solar-energia.net

- **Turbina Turgo:** és una turbina de tipus impuls, és a dir, l'aigua no canvia de pressió quan passa a través dels àleps de la turbina i l'aigua surt amb molt poca energia. El rang d'actuació es situa entre la Francis i la Pelton, és a dir, per a salts grans i mitjans. Posseeix una eficiència de més del 90%.



Figura 18. Turbina de tipus Turgo. Font: WKV AG.

- **Turbina Francis:** És aquella turbina hidràulica utilitzada principalment en centrals hidroelèctriques amb alçada de caiguda considerable. Aquest tipus de turbina és el més comú en plantes de generació d'energia i que funcionen sobre la massa del flux de l'aigua. Posseeix una eficiència al voltant del 90%.



Figura 19. Turbina de tipus Francis. Font: solar-energia.net

- **Turbina Kaplan:** és un tipus de turbina hidràulica que utilitza petits gradients fins a unes poques desenes de metres i funciona amb una gran quantitat de cabal considerable. Té forma d'hèlix i permet un rendiment alt suportant el 20/30% del flux nominal. Posseeix una eficiència al voltant del 90%.



Figura 20. Turbina de tipus Kaplan. Font: Zeco hydropower.

- **Turbina de flux creuat:** o també coneguda com a turbina Ossberger o Banki.Michell, és una turbina hidràulica que té la singularitat de tenir un flux axial o radial en la que el fluid a travessa els àleps de forma diagonal. Té una eficiència alta per a baixes altures amb cabals elevats. Posseeix una eficiència al voltant del 80%.

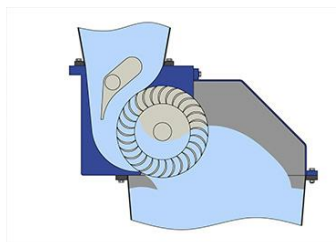
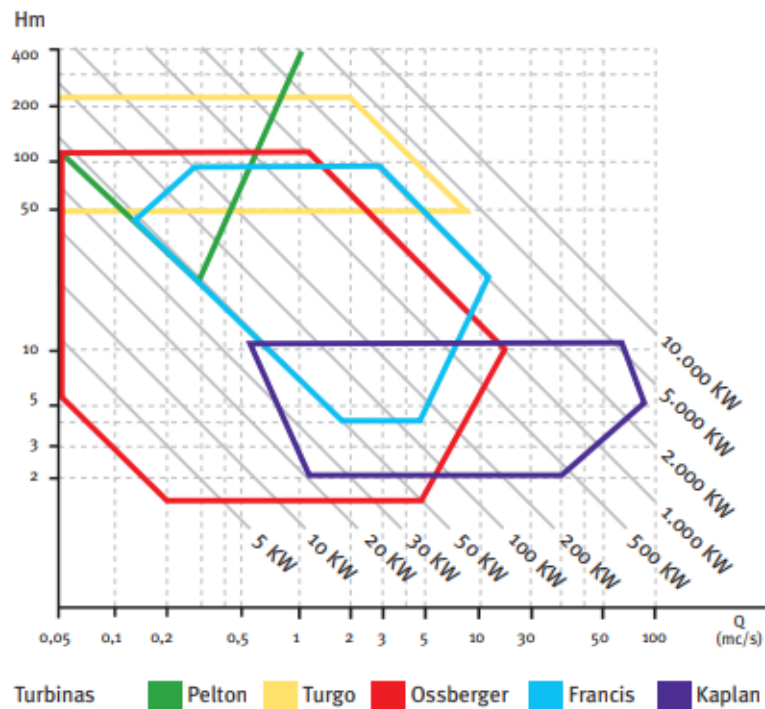


Figura 21. Turbina de flux creuat. Font: Ossberger.de

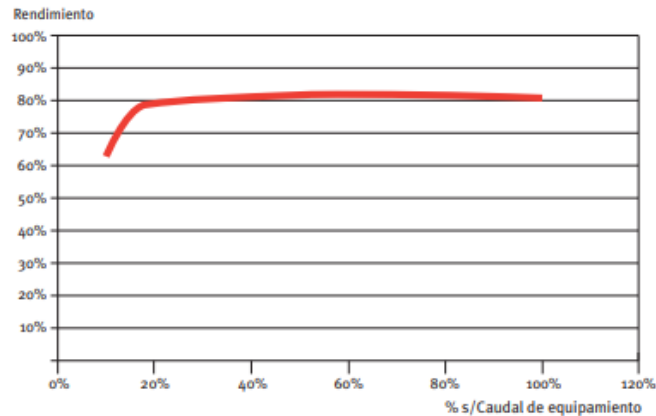
A continuació es mostra una gràfica amb el camp d'utilització de cada tipus de turbina en funció del salt net i del cabal de treball:



Gràfica 5. Camp d'utilització dels diferents tipus de turbines. Font: IDAE.

Amb els resultats obtinguts es considera que el tipus de turbina més adient per als paràmetres de la minicentral que es pretén dissenyar és el del tipus Ossberger. A més de treballar amb l'alçada i el cabal calculats també ofereix altres avantatges:

- Simplicitat constructiva
- Cost reduït
- Alta eficiència encara que el cabal no sigui constant.
- Manteniment menys costós (el rotor es neteja de residus degut a que el fluid a travessa els àleps de forma diagonal).



Gràfica 6. Rendiment de la turbina de flux creuat (Ossberger). Font: IDAE.

10.2. Selecció del generador elèctric

Es tracta d'una màquina que es capaç de transformar l'energia mecànica, lumínica o química en enèrgica elèctrica aprofitant el fenomen descobert per Faraday – Lenz. Aquesta transformació consisteix en l'aplicació d'un camp magnètic sobre els conductors d'una bobina, el moviment relatiu entre els conductor i el camp magnètic produeix una força electromotriu.

El generador es constitueix de dos parts diferenciades:

- **Rotor:** o també coneguda com a inductor mòbil, és el component mòbil d'una màquina que gira sobre un eix generant un flux magnètic..
- **Estatore:** o també coneguda com a induït fixe, és el component fixe d'una màquina que és excitat i genera electricitat.

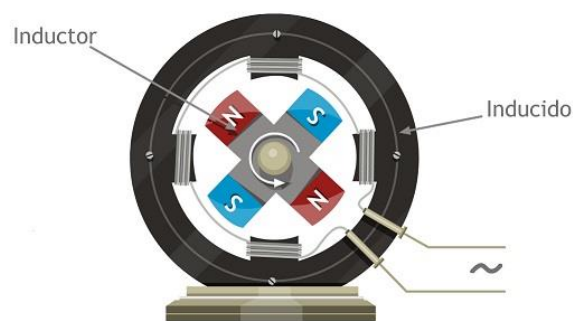


Figura 22. Esquema del rotor i estator. Font: rinconeducativo.org

Es pot diferencia dos tipus de tipus de generadors:

- **Generador síncron:** és aquella màquina capaç de produir energia elèctrica amb una velocitat de sincronisme constant. Esta caracteritzat per la següent fórmula:

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

On:

Ns: velocitat de sincronisme (r.p.m.)

f= freqüència

p= nombre de parell de pols del generador

- **Generador asíncron:** o també coneguda com a generador de inducció, a diferencia del síncron, aquest generador gira a una velocitat lleugerament inferior a la velocitat de sincronisme i no necessita un sistema d'excitació extern. Aquest generador generalment s'utilitza en la indústria eòlica i en centrals hidroelèctriques de petites potencies. Té avantatges respecte l'altre tipus com pot ser la simplicitat i robustesa de la seva construcció, això comporta un baix cost en la adquisició.

$$n_s \neq n$$

On:

n: velocitat del rotor (r.p.m.)

Donat les característiques de la minicentral que es pretén implementar, el generador asíncron és el més adient per aquest tipus d'usos i, per tant, serà el tipus escollit. El rendiment nominal d'un generador asíncron és del 95% en condicions nominals. A més a més, el principal avantatge de la generació de corrent alterna és que és apropiat per projectes d'electrificació de comunitats aïllades.

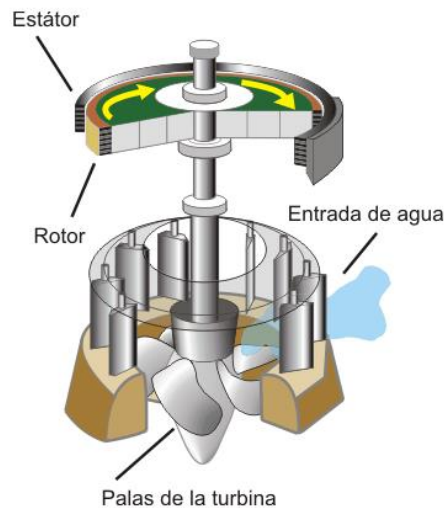


Figura 23. Acoblament de l'alternador a l'eix de la turbina. Font: energyeducation.ca

10.3. Selecció del transformador i línia

En aquest cas, com que es tracta de generació d'una petita quantitat de kW (<10 kW) no serà necessari elevar la tensió mitjançant un transformador.

A més a més, la tensió de l'energia generada per l'alternador és la mateixa tensió de servei ($V_L=400V$). Tampoc serà necessari un inversor donat que la corrent ja és alterna i per tant és la adequada per alimentar la instal·lació proposada.

La línia de corrent de sortida de l'alternador serà trifàsica i s'anomena Línia General d'Alimentació(LGA) i anirà connectada a la Quadre General de Protecció i Control (QGPC).

11. Proposta d'aplicació de l'energia generada

La zona on es genera l'energia hidràulica és una zona muntanyosa en la qual hi ha dificultat d'accés a la xarxa elèctrica, és per aquest motiu que es pretén aprofitar aquesta energia general per crear una micro-xarxa.

11.1. Plantejament

S'ha detectat la oportunitat d'implementar l'enllumenat del camí que hi ha des de l'aparcament de Vallforners fins a l'embassament. A més de millorar la il·luminació d'aquest camí també es millora l'accessibilitat al veïnat de les masies de Sant Salvador ja que s'accedeix des d'aquest mateix camí.



Figura 24. Aparcament municipal de Vallforners. Font: DIBA

Aquest pàrquing municipal està situat a 600 m de l'embassament de Vallforners, és visitat per excursionistes i esportistes. Té un horari d'obertura al públic de 8:00h a les 20:00h i el preu d'estacionament és de 3€/dia.

La il·luminació d'aquest paratge permetria l'ampliació de l'horari de l'obertura al públic, això comportaria un increment del turisme al pantà i dels ingressos de l'aparcament. Cal esmentar que aquests ingressos estan destinats a fer el manteniment de tot l'entorn del camí fluvial segons el l'actual alcalde de Cànoves i Samalús, Josep Cuch i Codina.

11.2. Regulació de la proposta

Cal, doncs, comprovar la viabilitat d'aquesta proposta, i es consulta el Text Refòs del Pla Especial de Protecció del Medi Natural i del Paisatge del Parc Montseny.

En l'article 125 del Text Refós s'estableixen les normatives per al sistema de subministrament d'energia elèctrica. Segons el primer punt d'aquest article, únicament s'admeten línies de distribució directe a edificis i instal·lacions. La proposta de la instal·lació d'un sistema d'il·luminació del camí de Vallforners és viable segons la normativa.

Per portar a terme aquesta proposta el disseny s'ha de ajustar als criteris establerts en el segon punt de l'article 125. A continuació s'esmentaran aquells criteris que afectin a la proposta i s'explicarà la mesura que es prendrà:

- **Aprofitar al màxim la xarxa elèctrica existent.** En aquest cas no es contempla aquest aprofitament degut a que no s'ha detectat cap xarxa existent a prop de la zona de projecte. L
- **Intentar sempre l'alternativa de subministrament amb línia de baixa tensió.** La tensió de l'energia produïda és de baixa tensió en tot moment.
- **En els subministraments allunyats –més d'1 km— de la xarxa de distribució existent, s'haurà de considerar l'alternativa de sistemes autònoms de producció d'energia a partir de fons renovables.** No serà necessari l'ús de sistemes autònoms degut a que la instal·lació d'enllumenat no supera per gaire l'esmentat 1 km de distancia amb el punt d'origen del xarxa subministradora.
- **Els trams més propers a l'edifici o instal·lació que es consideri, hauran de transcórrer soterrats i, amb caràcter general, els nous projectes hauran d'incorporar el soterrament de la major part possible de la línia.** Les línies aniran soterrades per tal d'evitar l'impacte visual d'aquestes.
- **Es reduiran al màxim els trams de mitja tensió mitjançant la màxima llargada possible dels trams de baixa tensió (de 1.000 a 1.200 metres).** Els trams de la instal·lació no superen aquesta distancia i, per tant, tots els trams seran perfectament de baixa tensió.
- **Les esteses soterrades s'efectuaran preferentment de forma contigua a les vies de comunicació.** Precisament es pretén il·luminar la via de comunicació més propera a la instal·lació.

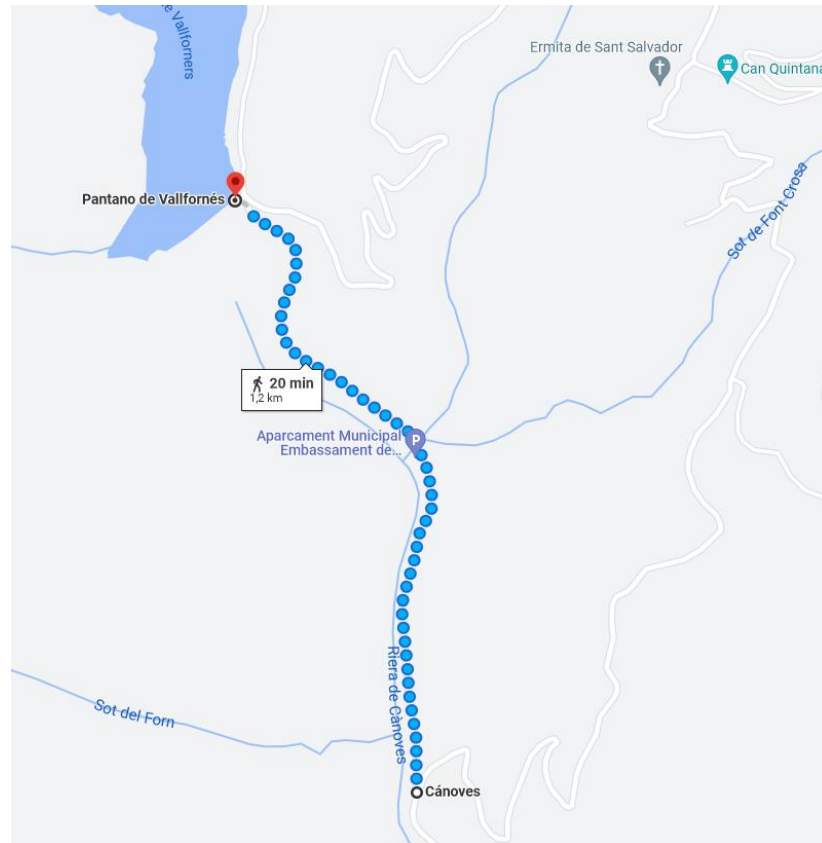


Figura 25. Recorregut del camí a il·luminar. Font: Google Maps

11.3. Planificació

A continuació es definirà les obres a realitzar per l'enllumenat del camí de Vallforners destinada a la millora de l'accessibilitat del pantà i de les masies de Sant Salvador.

11.3.1. Estat actual de l'àmbit

La proximitat del pantà i l'aparcament municipal fa que sigui necessari tenir un camí habilitat per tal que es pugui realitzar amb seguretat. A l'actualitat aquest trajecte es realitza per un camí sense enllumenat.



Figura 26. Camí i aparcament municipal de Vallforneres. Font: Caminosycaminatas

11.3.2. Descripció de les obres

Els treballs de la proposta s'emplacen dins de la via pública del municipi de Cànoves i Samalús. Degut a que les actuacions es duran a terme en sòl de domini públic no serà necessari la expropiació de terrenys ni sol·licituds de servitud de pas.

L'obra es durà a terme des de l'embassament de Vallforneres fins el creuament del camí que dona accés a les masies de Sant Salvador, un recorregut total de 1,2 km. En aquesta zona s'instal·larà l'enllumenat públic i la centraleta serà el punt d'origen d'alimentació del sistema d'enllumenat creat.

Els conductors aniran soterrats i s'haurà de realitzar obres de moviment de terres, concretament s'obriran rases de 50x70 cm per al pas dels nous conductors. Aquests conductors recorreran preferentment de forma contigua a les vies de comunicació. S'instal·larà un passa tub de DN90 amb cable multipolar XLPE de Cu 0,6/1 kV de 6 i 10 mm² de secció amb cable de terra 1x35mm² [Vegeu els detalls a l'annex 1: Dimensionament dels conductors] .

S'instal·laran un total de 48 fanals a llarg del camí i separats 25 m entre sí. Es tracta d'un fanal de 4m de alçària i de 1,1m de sortint. El fanal proposat és del model HALLEY BRIDGELUX amb 40 W de potencia.



Figura 27. Fanal HALLET BRIDGELUX. Font: factorled.com

11.3.3. Normativa aplicable de l'enllumenat públic

S'ha tingut en compte la normativa de la ITC-BT-09: INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR per al dimensionament de la instal·lació. A continuació, els punts més importants de la normativa:

- Les línies d'alimentació de les làmpades estaran dimensionades per suportar fins a 1,8 vegades la potencia en watts de les làmpades.
- El valor del factor de potencia de cada punt de llum ha de ser de valor 0,9 o superior.
- La màxima caiguda de tensió entre l'origen de la instal·lació i qualsevol punt de la instal·lació ha de ser igual o menor que 3%.
- Les línies d'alimentació partiran des de un quadre de protecció i control.
- Els cables seran multipolars o unipolars de coure i tensió assignada de 0,6/1 kV amb una secció mínima de 6 mm².
- Els conductors aniran soterrats a una profunditat de 0,4 m. amb un tub no inferior a 60 mm.
- S'instal·larà una posta a terra cada 5 suports de làmpades, entre el primer i el últim.

12. Anàlisi de l'impacte ambiental

Un del apartats més importants d'aquest projecte és l'avaluació de l'impacte ambiental de la instal·lació d'una minicentral que es desitja implantar ja que es pretén comptabilitzar aquesta activitat amb la preservació del medi natural i del paisatge on es situa l'objecte d'estudi.

L'objectiu d'aquest anàlisi és prevenir, mitigar i restaurar els danys que es podrien produir al medi ambient, en aquest cas a la Reserva de la Biosfera Parc Natural del Montseny.

12.1. Estat actual del ecosistema del pantà de Vallforners i el curs fluvial

És tracta d'un embassament situat en el tram alt de la Conca del Besós. L'ús de l'embassament és destina al regadiu de cultius i és caracteritzat per tenir fortes oscil·lacions en el nivell d'aigua durant les estacions. Per les característiques de la regió hidrogràfica (clima mediterrani humit) on es pretén dur a terme l'actuació, la presència d'un embassament és considerada favorable ja que permet controlar les grans avingudes dels hiverns plujosos i alliberar el cabal ecològic durant l'època d'estiatge.

S'ha realitzat un *Estudi de la distribució de la fauna amfíbia i aquàtica de les rieres del Parc Natural del Montseny* en 25 trams de rieres i torrents de capçalera del parc per tal d'avaluar la seva biodiversitat. Segons la observació realitzada en el tram de la Riera de Vallforners que va des de per sobre de l'embassament fins abans de la Coma Fosca (800m) s'han trobat les següents 4 espècies amfibies i 3 espècies de peixos :

- *Salamandra comú (Salamandra salamandra)*
- Tòtil o gripau llevadora/paridor (*Alytes obstetricans*)
- Gripau comú (*Bufo bufo*)
- Granota comuna (*Rana perezi*)
- Carpa (*Cyprinus carpio*)
- Perca americana (*Micropterus salmoides*)
- Truita comuna (*Salmo trutta*)

Malgrat l'ecosistema del Montseny no sigui molt abundós en espècies, aquestes poques espècies tenen un alt interès biogeogràfic. Un dels factors principals que expliquen la falta de espècies de peixos és l'escàs cabal i el seu caràcter discontinu (preses, rescloses, etc.). Per aquest motiu es

considera molt important que és lliuri de manera constant un cabal ecològic adient des de la pressa de Vallforners.

12.2. Impacte ambiental de la nova instal·lació

La minicentral que es pretén instal·lar es troba a peu de presa de l'embassament de Vallforners, situada al final de la muntanyola aixecada artificialment durant la construcció de l'embassament.

El cabal utilitzat per l'equip electromecànic serà continu i lliurarà en tot moment el cabal ecològic i permetrà la conciliació de l'aprofitament de salt existent i la biodiversitat fluvial. A més a més, no seran afectades ni la llera ni el curs de l'aigua respectant les normes del Text Refós del Pla Especial de Protecció del Parc del Montseny.

La infraestructura de la minicentral serà pintada amb un color semblant a la del entorn per tal de disminuir l'impacte visual del paisatge.

Conclusions

A nivell personal, considero que aquest projecte ha estat un repte ja que s'ha après el funcionament de l'energia hidràulica, una tecnologia oblidada degut a que es considerava una tecnologia assentada i es preveia pocs avenços en el futur.

En referència als objectius del projecte proposat, s'ha plantejat la possibilitat d'aprofitar l'energia hidràulica a partir d'un dels embassaments ja existents de l'entorn del Parc Natural i Reserva de la Biosfera del Montseny. La normativa del Parc és essencial ja que es tracta d'un espai protegit, en quant a l'aprofitament d'un salt està permès només si l'energia obtinguda és emprada per al subministrament d'energia per a instal·lacions o edificis aïllats.

S'ha escollit l'embassament de Vallforners després d'un seguit de criteris per a la selecció, es tracta d'una presa d'escullera amb dos abocadors, un sobreexidor i un desguàs. El salt net s'ha determinat en funció de les característiques i la disposició del desguàs mentre que els cabals s'han obtingut gracies a les dades proporcionades per l'estació aforament més proper a la presa. A partir d'aquests paràmetres i per les característiques del salt que es pretenia aprofitar s'han determinat els components de l'equip electromecànic de la centralita.

Com a proposta de futur s'ha plantejat la opció de la instal·lació de l'enllumenat del camí del pàrquing municipal de Vallforners fins a l'embassament. Aquesta proposta fomentaria el turisme a l'embassament així com milloraria l'accessibilitat del visitants i dels habitants de les masies de Sant Salvador.

S'ha comprovat que el projecte és viable a nivell tècnic i que és respectuós amb el medi ambient, i segons el pressupost, el cost final per dur a terme el projecte és factible.

Finalment, per concloure aquest projecte s'ha demostrat que encara és possible aprofitar l'energia hidràulica a escales més petites (mini-hidràulica) i que tenen un impacte ambiental reduït sent compatible amb nombroses aplicacions, sobretot en zones amb difícil accés a la xarxa elèctrica.

Bibliografia

Energía hidráulica (2007), Autor: Eduardo Soria

Manual de Energías Renovables (2006). IDAE

Máquinas electricas, Autor: Fraile Mora

Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió

Energías renovables. Lo que hay que saber (2013), Autor: José Roldán Viloria

Energías renovables (2009), Autor: Antonio Creus Solé

www.ree.es (RED ELECTRICA DE ESPAÑA). (Pàgina última vegada consultada: 29/04/2022)

Farrerons Vidal, O.; Ferrer-Boix, C. L'Estanyol de Santa Fe. Passat, present i futur d'una obra d'enginyeria hidràulica al Parc Natural Reserva de la Biosfera del Montseny. A: III Jornada de Recerca EGD-UPC. "Recerca i Tecnologia en Enginyeria Gràfica i Disseny a la Universitat Politècnica de Catalunya (Volum 2)". OmniaScience, 2021, p. 93-104. <http://hdl.handle.net/2117/344815>

Ordeix Rigó, M.; Maluquer-Margalef, J.; Camprodon Subirach, J. Estudi de la distribució de la fauna amfíbia i aquàtica de les rieres del Parc Natural del Montseny. Triops, Grup d'Estudis Ambientals.

<https://www.idae.es> (Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía). (Pàgina última vegada consultada: 29/04/2022)

<https://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm> (CONFEDERACIÓN DE CONSUMIDORES Y USUARIOS). (Pàgina última vegada consultada: 29/04/2022)

