

Resum

En aquest projecte s'estudien els sistemes d'impulsió d'aigua per abastament humà més característics de les comunitats rurals aïllades de països en vies de desenvolupament. Aquests han de donar resposta a les necessitats d'aigua d'aquestes poblacions, que sovint es troben incomunicades, no disposen d'accés a la xarxa elèctrica i tenen pocs recursos econòmics i tècnics.

A partir de les bibliografies existents es fa una selecció i explicació detallada dels sistemes considerats més vàlids. Posteriorment es realitza un estudi dels criteris de disseny, econòmics i tècnics, que envolten aquestes tecnologies. A partir d'aquests criteris, per tal de facilitar la tasca dels agents que treballen en aquest tipus de projectes d'abastament, es desenvolupa un protocol de selecció de sistemes segons diferents requeriments de cabal i pressió.

Finalment, per conèixer la repercussió que tindrà cada tecnologia en la comunitat receptora, s'estudia la implementació d'una avaluació d'impactes externs. Juntament amb un grup assessor d'Enginyeria Sense Fronteres es determinen possibles impactes i s'avalua com aquests afectarien a les comunitats rurals de l'Argentina.

Amb el protocol de criteris de disseny i l'avaluació d'impactes externs queda definida una proposta de selecció de sistemes capaç d'oferir una solució que doni resposta a les necessitats d'aigua i sigui respectuosa amb l'entorn social, cultural, mediambiental i tecnològic de les comunitats receptores de la tecnologia.





Sumari

MEMÒRIA

RESUM	1
SUMARI	3
1. PREFACI	7
2. INTRODUCCIÓ	9
3. ANÀLISI DEL MARC D'INTERVENCIÓ.	11
3.1. Problemàtica de l'aigua a comunitats rurals aïllades	11
3.2. L'abastament d'aigua	13
3.3. Marc d'intervenció	14
4. TECNOLOGIES D'IMPULSIÓ D'AIGUA	15
4.1. Característiques d'un sistema d'impulsió	15
4.2. Bombes	16
4.2.1. Introducció	16
4.2.2. Volumètriques	16
4.2.3. Rotodinàmiques	21
4.2.4. Conclusions	25
4.3. Fonts d'energia	26
4.3.1. Introducció	26
4.3.2. Humana	26
4.3.3. Eòlica	27
4.3.4. Fotovoltaica	30
4.3.5. Dièsel	35
4.3.6. Conclusions	36



4.4.	Configuracions de bomba i font d'energia més usuals	36
4.4.1.	Introducció	36
4.4.2.	Bomba manual de diafragma	37
4.4.3.	Bomba manual de pistó tipus Jack	38
4.4.4.	Bomba manual de pistó a succió	40
4.4.5.	Eòlica mecànica amb molí de vent tradicional i bomba de pistó Jack	41
4.4.6.	Eòlica mecànica amb molí de segona generació i bomba de pistó Jack	43
4.4.7.	Eòlica elèctrica amb bomba centrífuga submergible en CC o CA.	45
4.4.8.	Fotovoltaica directe a bomba de pistó Jack	47
4.4.9.	Fotovoltaica directe a bomba centrífuga submergible (en CC o CA)	48
4.4.10.	Fotovoltaica directe a bomba centrífuga de superfície de succió en CA	48
4.4.11.	Motor dièsel engranat directament a una bomba centrífuga superficial	49
4.4.12.	Generador elèctric dièsel alimentant una bomba centrífuga submergible	51
4.4.13.	Conclusions	51
5.	SELECCIÓ D'UN SISTEMA D'IMPULSIÓ	53
5.1.	Introducció	53
5.2.	Criteris tècnics	54
5.2.1.	Introducció	54
5.2.2.	Condicions d'aptitud tècnica	54
5.2.3.	Conclusions	59
5.3.	Criteris econòmics	60
5.3.1.	Introducció	60
5.3.2.	Paràmetres d'estimació econòmica	61
5.3.3.	Conclusions	66
5.4.	Conclusions	67
5.4.1.	Visió global del mètode	67
5.4.2.	Problemes detectats del mètode	69
6.	AVALUACIÓ D'IMPACTES EXTERNS	71
6.1.	Objectiu	71
6.2.	L'avaluació d'impactes externs	71
6.2.1.	Introducció	71
6.2.2.	Mètodes formals d'avaluació d'impactes externs	72
6.2.3.	Funcionament del mètode escollit	72
6.3.	Desenvolupament del mètode aplicat als sistemes d'impulsió	75
6.3.1.	Introducció	75



6.3.2.	Objectius i metodologia de treball	75
6.3.3.	Establiment d'un llistat d'impactes externs estàndard dels sistemes d'impulsió	76
6.3.4.	Guia de valoració de sistemes	79
6.4.	Conclusions del mètode	81
CONCLUSIONS		83
PRESSUPOST		85
AGRAÏMENTS		87
BIBLIOGRAFIA		89
Referències bibliogràfiques		89
Bibliografia complementària		90

ANNEXES

ANNEX A: ACCÉS A L'AIGUA I DESENVOLUPAMENT HUMÀ

A.1. Disponibilitat del recurs hídric i accessibilitat als serveis d'aigua

A.2. Aigua i desenvolupament humà

ANNEX B: CARACTERITZACIÓ D'UN ABASTAMENT D'AIGUA

B.1. Introducció a les fases d'un abastament

B.2. Captació

B.3. Tractament

B.4. Transport, emmagatzematge i distribució

ANNEX C: INDICACIONS PEL DIMENSIONAMENT DE SISTEMES D'IMPULSIÓ

C.1. Càlcul del cabal i de l'alçada requerida de bombament

C.2. Dimensionament del bombament eòlic



C.3. Dimensionament fotovoltaic

C.4. Dimensionament impulsió humana

C.5. Dimensionament dièsel

C.6. Diagrames

ANNEX D: DESENVOLUPAMENT DE L'AVALUACIÓ D'IMPACTES EXTERNS

D.1. Impactes

D.2. Avaluació dels sistemes d'impulsió a les comunitats rurals de santiago del estero



1. Prefaci

L'accés al recurs hídric és una necessitat bàsica de tot ésser viu. Com a tal, des de fa segles la humanitat ha usat diversos sistemes per tal de disposar d'aigua i desenvolupar-se en plenitud. A l'actualitat es coneixen multitud de tecnologies que serveixen per abastar poblacions. Tot i això, l'accés al recurs amb seguretat (en quantitat i qualitat de manera sostinguda) encara és un privilegi en els països en vies de desenvolupament.

Des de l'Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres (ESF) fa més de 5 anys que s'estan portant a terme projectes de cooperació internacional per facilitar l'accés a aquest servei bàsic a les poblacions més desfavorides. En l'experiència d'aquests treballs s'ha vist que malgrat que els avenços tecnològics es succeeixen ràpidament (en telecomunicacions, medicina, transports...) la tecnologia no es troba a l'abast d'aquelles comunitats més necessitades.

Els Enginyers Industrials tenen la possibilitat d'actuar per revertir aquesta situació. La innovació i la investigació tecnològica han d'estar guiades per uns paràmetres i a ells els correspon poder decidir-los. La tecnologia no és neutral i cal definir l'objectiu que persegueixen les línies d'investigació que es duen a terme.

Quan es parla de posar la tecnologia a l'abast de les comunitats vol dir molt més que servir uns instruments concrets i definits. Vol dir desenvolupar tecnologies comptant amb la seva opinió i participació, que respectin el seu entorn social, cultural, mediambiental i tecnològic.

Des d'aquest enfocament es va veure la possibilitat de col·laborar en la tasca d'ESF. Les tecnologies d'impulsió d'aigua per a comunitats rurals només es troben en bibliografies i referències tècniques molt disperses, ja que cada font d'informació exposa la problemàtica des d'un àmbit o experiència concreta. Es fa difícil doncs establir un marc clar de quines són les característiques i possibilitats d'aquestes tecnologies.

Així, per una banda, aquest projecte planteja un anàlisi en profunditat de les tecnologies d'impulsió d'aigua que es troben en comunitats rurals aïllades. Per l'altre, proposa desenvolupar una eina que ajudi a decidir una alternativa de bombament als agents que treballen en projectes d'aquestes característiques.





2. Introducció

L'objectiu general del projecte és desenvolupar una eina per a l'ús de tècnics no experts que ajudi a seleccionar un sistema d'impulsió que doni resposta a les necessitats d'aigua de comunitats rurals aïllades. El sistema escollit ha de ser respectuós amb l'entorn social, cultural, mediambiental i tecnològic de les comunitats receptores de la tecnologia.

Per tal d'aconseguir l'objectiu general, serà necessari assolir els següents objectius particulars:

- Determinar un marc d'intervenció en el que es defineixin les característiques de les comunitats rurals aïllades sense accés al recurs.
- Dissenyar un protocol de selecció de sistemes d'impulsió a partir de criteris tècnics i econòmics.
- Desenvolupar una metodologia que permeti contemplar de manera formal l'impacte a tots els nivells (social, econòmic, mediambiental...) de la incorporació dels sistemes de bombament en una comunitat.

És de l'abast d'aquest projecte :

- Profunditzar en la realitat mundial de l'accés al recurs hídric i en especial la que fa referència a les comunitats rurals aïllades.
- Descriure els tipus de bombes i fonts d'energia que conformen els sistemes d'impulsió d'aigua per abastament humà.
- Analitzar els sistemes d'impulsió més habituals que estan funcionant a comunitats rurals aïllades.
- Establir uns criteris tècnics i econòmics de selecció a partir de les bibliografies existents.
- Avaluar l'impacte que diferents sistemes d'impulsió poden tenir en les comunitats d'Argentina en què ESF està treballant.

Queda fora de l'abast d'aquest projecte:

- Totes aquelles alternatives d'impulsió que no s'adaptin al marc d'intervenció del projecte.
- Aquells aspectes que intervenen en els Projectes de Cooperació d'abastament d'aigua que no són necessaris per profunditzar en l'estudi dels sistemes d'impulsió (identificació de la problemàtica, gestió del recurs per part de la comunitat, gestió dels fons econòmics...).





3. Anàlisi del marc d'intervenció.

3.1. Problemàtica de l'aigua a comunitats rurals aïllades

La problemàtica de l'accés a l'aigua per a consum humà és compartida per milions de persones a tot el món. Segons [1] al món hi ha 1100 milions de persones sense un abastament d'aigua millorat. Aquesta població es troba distribuïda tal hi com es reflecteix a la figura 3.1. Els països en vies de desenvolupament són els que acullen més població sense accés al recurs.

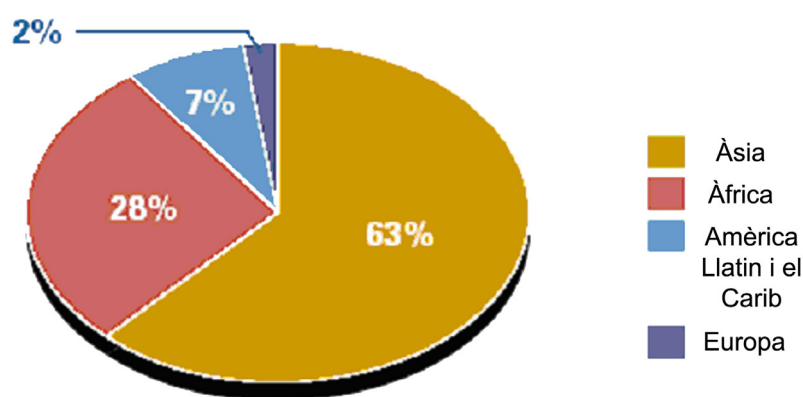


figura 3.1 Distribució dels 1100 milions de persones sense accés al recurs. Font [1]

L'OMS defineix l'accés al recurs com la disponibilitat d'almenys 20 litres per persona al dia d'una aigua que provingui d'una font millorada localitzada a un màxim d'un quilòmetre de la casa de l'usuari. Per diferenciar d'una font millorada d'una que no ho és l'informe aplica el criteri de la Taula 3.1.

Font millorada	Font no millorada
connexió domiciliària	pou no protegit
aixetes públiques	deu no protegit
pous perforats	aigua subministrada per un proveïdor
deu protegit	subministri d'aigua per camió cisterna
recollida d'aigua de pluja	

Taula 3.1 Taula de comparació entre una font millorada i una no millorada. Font [1]

No tenir accés en condicions al recurs té repercussió directe en la salut, l'economia i qualitat de vida de les persones, com es detalla a l'Annex A. És per això que en els objectius del mil·leni [3] promoguts per la ONU i acordats pels seus estats membres, l'increment de la població amb



accés és un dels aspectes més importants. El seguiment sobre el seu compliment [2] és un dels informes més fiables per conèixer el progrés en l'àmbit de l'aigua i el sanejament.

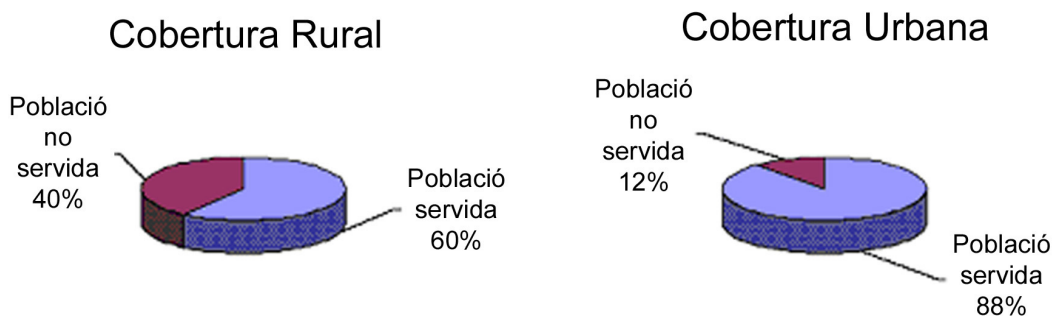


figura 3.2 Diferència entre la cobertura rural i la cobertura urbana. Font [1]

Com mostra la figura 3.2, les poblacions sense cobertura es troben sobretot en zones rurals. Dins de les zones rurals hi trobem les zones rurals aïllades. Aquestes es caracteritzen per:

- Es troben mal comunicades, sense transport i a quilòmetres de centres de població amb serveis.
- No disposen d'accés a la xarxa elèctrica ni telefònica.
- No disposen de prou recursos econòmics ni coneixements tècnics suficients per a implementar un sistema d'abastament.
- Tenen poca població i sovint distribuïda de manera dispersa.

Davant d'aquesta realitat, les adversitats per accedir al recurs que es troben les comunitats que hi viuen són:

- Poca viabilitat econòmica de fer arribar la xarxes de distribució d'aigua, que normalment es concentren a les ciutats on sí que hi són rentables.
- Dificultats tècniques en el disseny, la instal·lació i el manteniment de sistemes d'abastament autònoms.
- Incapacitat de les comunitats rurals d'aconseguir pels propis medis l'accés a una tecnologia d'abastament.
- Baixa prioritats dels governs cap aquestes poblacions. La població beneficiada per la inversió pública quan es fa un abastament en una zona rural és inferior que no pas si aquesta obra es fa en una ciutat. A més les zones rural aïllades tenen una baix pes polític degut a la dispersió de la seva població i el dèficit en comunicacions.

Aquesta seria la realitat en què es troben aquestes poblacions. Encara que aquí s'afronti resoldre la problemàtica des d'un punt de vista tècnic no cal oblidar que algunes de les causes de què aquesta situació es mantingui així són:

- La incapacitat d'aconseguir recursos per part dels governs dels països en vies de



desenvolupament. Degut, entre d'altres coses, a la seva poca capacitat de maniobra davant la pressió dels interessos de les multinacionals, la desigualtat en el sistema actual de comerç internacional i el retorn periòdic del deute extern adquirit.

- Governants corruptes que no actuen en vocació d'autèntic servei vers la població del país.
- Privatitzacions sense control per part de l'estat d'empreses públiques d'aigua. Sense una supervisió de l'estat les empreses d'aigua acaben actuant només allà on esperen trobar benefici econòmic.

3.2. L'abastament d'aigua

Quan es parla d'abastament d'aigua s'entén com un sistema tecnològic que facilita l'accés al recurs hídic. Es pot caracteritzar un abastament d'aigua en diverses fases: captació, transport, emmagatzematge, tractament i distribució.

L'abastament tipus es pot considerar que consisteix en l'habilitació d'una zona de captació, el transport de l'aigua d'un lloc a un altre, la posada en condicions del recurs per assegurar-ne la potabilitat i la posterior distribució entre els diferents espais on els usuaris tenen accés al recurs.

Aquesta segmentació en fases, descrites en detall a l'Annex B, no es correspon sempre amb la realitat. Sovint es troben sistemes que no tenen tractament o que són tan simples en què el transport i la distribució es poden considerar una mateixa cosa (per exemple en el cas d'una bomba d'acció humana). La diferenciació en fases facilita el llenguatge i la comprensió del funcionament d'un abastament però no cal entendre-la com una estructura estricta.

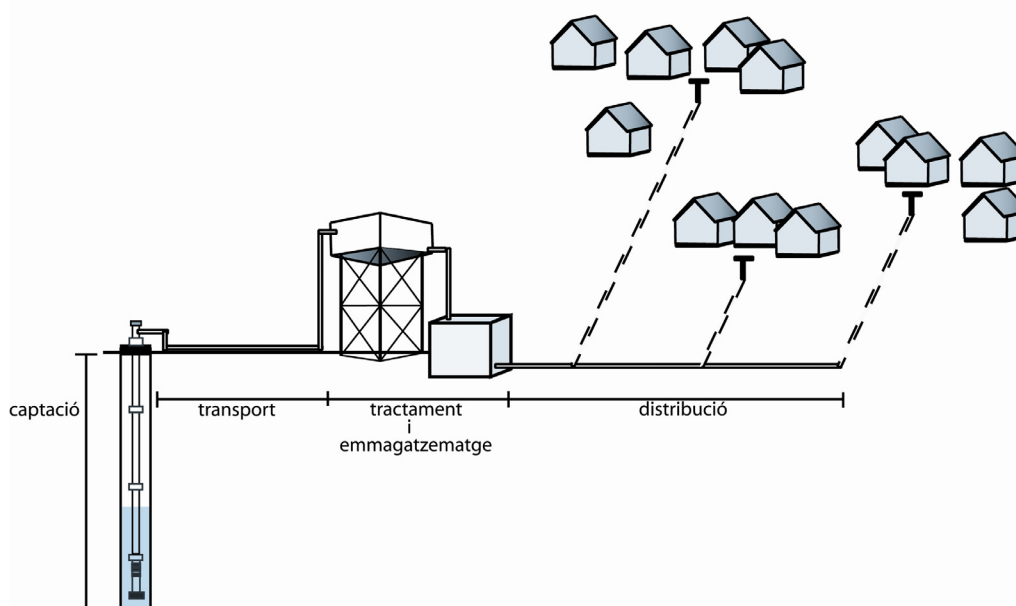


figura 3.3 Fases d'un abastament d'aigua



3.3. Marc d'intervenció

El marc d'intervenció ve definit per la realitat de les comunitats rurals aïllades i la percepció de la tecnologia com una eina que s'ha d'adaptar a les diferents realitats per tal de poder esdevenir veritable font de progrés.

A partir d'aquests dos elements, les solucions d'actuació proposades en aquest projecte han de:

- Donar resposta als requeriments d'aigua de poblacions de dimensions mitjanes i petites (familiars).
- Funcionar sense accés a la xarxa elèctrica.
- Poder ser finançades amb petites inversions.
- Poder ser mantingudes econòmicament i tècnicament per les comunitats.
- Tenir en compte que han de ser adequades a l'entorn social, cultural, mediambiental i tecnològic de la comunitat receptora de la tecnologia.



4. Tecnologies d'impulsió d'aigua

4.1. Característiques d'un sistema d'impulsió

Un sistema d'impulsió és necessari en cas que el recurs:

- Sigui de difícil accés o hi hagi dificultat per extreure'n el cabal desitjat (un pou per exemple).
- Es trobi allunyat de la zona de consum i l'orografia no permeti el transport per gravetat.

Sempre que sigui possible és preferible el transport per gravetat ja que és més econòmic i més fàcil de mantenir que no pas el d'impulsió. Aquest últim requereix comprar més elements (necessita bomba, motor...) i disposa de més parts mòbils que es poden espatllar.

El sistema d'impulsió se'l pot contemplar com un element intrínsec a la zona de captació, com un element encarregat del transport o bé com ambdues coses a la vegada.

S'acostuma a caracteritzar amb els següents elements:

- **Bomba.** S'encarrega de donar energia al fluid. La decisió en l'elecció de la bomba determina el rang de cabal i d'alçada d'impulsió.
- **Font d'energia.** S'encarrega de donar energia a la bomba. Algunes d'aquestes fonts d'energia poden ser la fotovoltaica, l'eòlica, la combustió dièsel i la humana.

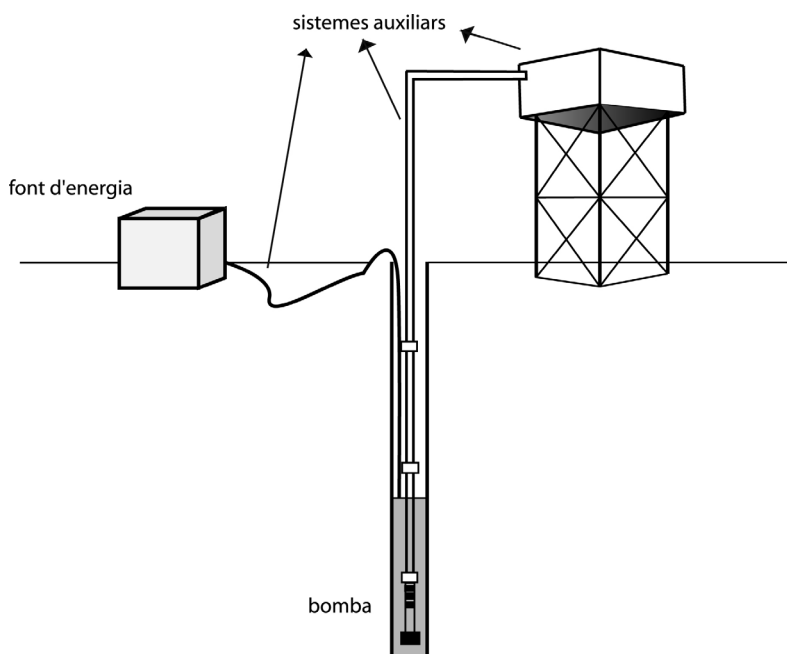


figura 4.1 Representació de les parts d'un sistema d'impulsió



4.2. Bombes

4.2.1. Introducció

Existeixen molts tipus de bomba ja que es troben múltiples aplicacions lligades a la impulsió de fluids. A continuació però **es farà una petita explicació d'aquelles que són més usades per a finalitats associades a l'abastament d'aigua a petites i mitjanes poblacions**. Aquestes, generalitzant, es poden caracteritzar per:

- Requeriments de cabal petits (per abastar 2000 persones s'estimen uns 100 m³/dia).
- Requeriments d'energia moderats. Aquests s'han de poder assumir sense accés a la xarxa elèctrica.

A la Taula 4.1 es mostren les bombes que s'analitzaran. La classificació bàsica diferencia dos grans grups de bombes segons el seu principi de funcionament: les rotodinàmiques i les volumètriques o de desplaçament positiu.

tipus	família	Bombes usades
Volumètriques	alternatives	Diafragma
		Pistó Jack
		Pistó a succió
	rotatives	Helicoïdal
Rotodinàmiques	radials (centrifugues)	Centrífuga submergible
		Centrífuga superficial de succió
	semiaxials	
	Axials	

Taula 4.1 Taula de les bombes més usades en comunitats rurals aïllades

4.2.2. Volumètriques

Característiques

Bombegen aigua a partir del principi d'aïllar un volum d'aigua, traslladar-la i expulsar-la a l'exterior. El cabal d'aquestes impulsat és directament proporcional a la velocitat de gir de la bomba.

Parell d'arrancada

Requereixen alts parells d'arrancada ja que, excepte les rotatives, han de començar a treballar contra tota la pressió de sistema, fins i tot a baixes velocitats. S'entén per tota la pressió del sistema com tota la columna d'aigua que la bomba ha d'aixecar en el primer moviment. En el



cas d'un pou aquesta columna va des del nivell freàtic fins al dipòsit elevat.

Això els fa requerir a vegades sistemes de control per tal d'optimitzar la font d'energia. Adaptant-la segons si la bomba es troba en arrancada o està funcionant en règim estacionari. Per optimitzar l'eficiència d'aquestes bombes el més usual és tenir en compte l'ús de diferents diàmetres de cilindre per a diferents alçades.

Corba característica

En la figura 4.2 es mostra la corba característica típica d'una bomba volumètrica. Es pot apreciar que el cabal gairebé no es veu afectat per l'alçada de bombament.

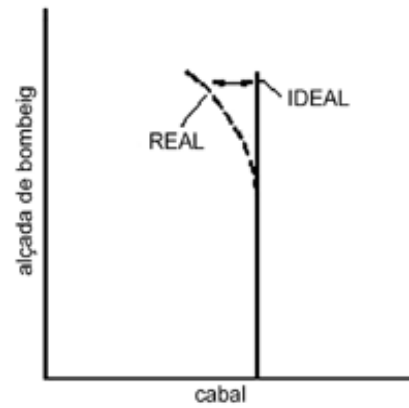


figura 4.2 Corba volumètrica

Rang d'us típic

En general són adequades per a la impulsió de petites i moderades quantitats d'aigua (ideal per menys de 15 m³/dia) a alçades mitges i altes (30-150 metres).

Manteniment

Tenen segellaments o superfícies de volum variable que poden espatllar-se o desajustar-se, per això la majoria requereixen un manteniment regular per a substituir o reparar peces gastades. Aquestes bombes també tendeixen a ser poc tolerants amb l'aigua bruta ja que aquesta pot accelerar l'erosió dels segellaments.

4.2.2.1. Bombes alternatives

Característiques

El funcionament d'una bomba alternativa depèn de l'omplerta i el buidat successiu de receptacles de volum fix, tenint un cicle de bombeig pulsatori.

Com que el procés d'omplerta i buidat successiu requereix fricció degut al lliscament entre les parets estacionàries del receptacle i les parts mòbils, aquestes bombes (excepte les de diafragma com es veurà més endavant) no són apropiades per moure líquids que continguin sorres o matèries en suspensió.

Treballen a una relativa baixa velocitat de rotació, de tal manera que quan han de ser mogudes per motors elèctrics necessiten transmissions d'engrenatges o politges entre el motor i la bomba per a reduir la velocitat.



4.2.2.1.1 Bomba de diafragma

Característiques

Es situen en el fons del pou. Dins del cos cilíndric de la bomba, un diafragma flexible s'estira cap a un cantó o cap a l'altre, prenent l'aigua dins la cavitat a través d'una vàlvula d'entrada i forçant-la cap a fora a través d'una vàlvula de sortida en cada cicle. La bomba cilíndrica està connectada a una mànega flexible que condueix l'aigua a la superfície.

El moviment del diafragma és efectuat per un circuit hidràulic separat que consisteix en un cilindre i un pistó en el suport de la bomba i una mànega flexible plena d'aigua. És aquest sistema hidràulic secundari el que és activat (per un motor, de manera manual...) per tal de bombejar l'aigua. A la figura 4.3 es mostra un esquema del seu funcionament.

Àmbit d'us

Es poden utilitzar per a moure quantitats petites d'aigua des de pous o dipòsits profunds. A més degut a la petita dimensió d'aquestes bombes, poden ser submergides en pous estrets de fins a 10 cm de diàmetre.

Es poden motoritzar i acostumen a usar motors en CC. Segons les dades dels fabricants, si es motoritza aquestes bombes poden impulsar l'aigua fins a 70 metres d'elevació vertical i cabals de 800 a 5000 litres per dia. A més algunes de les bombes de diafragma del mercat es poden submergir fins a 30 metres.

No obstant, cada fabricant garanteix una profunditat màxima per les seves bombes que no ha de ser excedida, ja que una de les causes més comunes d'avaría és l'entrada d'aigua a la coberta del motor. A causa d'aquesta limitació, algunes bombes amb límits baixos d'immersió poden no ser convenientes per a pous amb un gran descens de nivell freàtic.

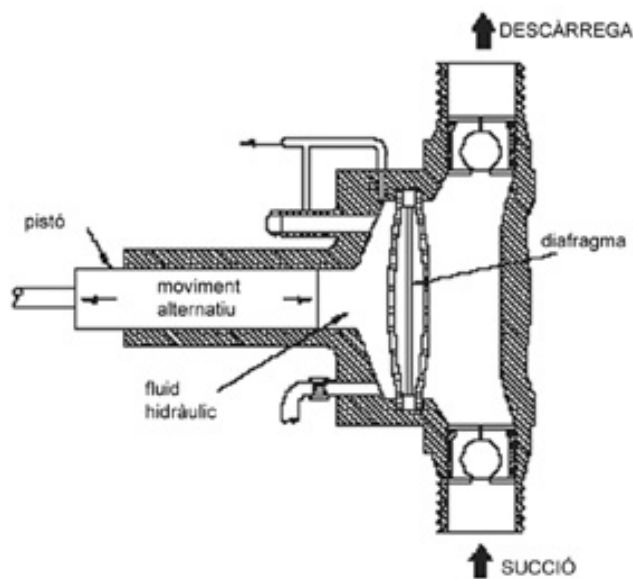


figura 4.3 Secció de bomba de diafragma



4.2.2.1.2 Bomba de pistó tipus Jack.

Característiques

En aquestes bombes el pistó es col·loca en un cilindre **per sota del nivell de l'aigua**. El moviment alternatiu en el suport de la bomba és transferit al pistó per una sèrie de barres connectades dins de la canonada principal. En la carrera ascendent, l'èmbol eleva l'aigua per la canonada principal i un nou volum d'aigua entra dins del cilindre a través d'una vàlvula situada a l'inferior del cilindre. En la carrera descendent, la vàlvula inferior es tanca, i l'aigua travessa el pistó a través d'una vàlvula per a poder ser impulsada en la carrera ascendent següent.

Àmbit d'us

Són usades generalment per aplicacions de cabals petits i mitjos en pous de mitjana i elevada alçada. En aquest cas a més també són interessants ja que les seves dimensions li permeten treballar en pous petits de fins a 10 centímetres de diàmetre.

Són típiques en les aerobombes i les bombes manuals. No obstant també les trobem en situacions en què estan accionades per motors elèctrics, tant en CA com en CC. En les aplicacions amb energia renovable funcionen sovint però en l'opció CC. Cal remarcar que per fer-la funcionar l'energia elèctrica només es requereix en una part del cicle.

4.2.2.1.3 Bomba de pistó a succió

Característiques

Una bomba de pistó a succió, a diferència de la bomba de pistó tipus Jack, té el cilindre i l'èmbol localitzats a sobre el nivell de l'aigua, normalment dins el mateix suport de la bomba. A la figura 4.4 es mostra un esquema del seu funcionament.

Algunes abans de començar a bombejar se les ha d'encebar ja que han de tenir aigua per sota l'èmbol per tal de poder funcionar correctament.

Àmbit d'us

La profunditat operativa d'aquest tipus de bomba està limitada per la pressió baromètrica i

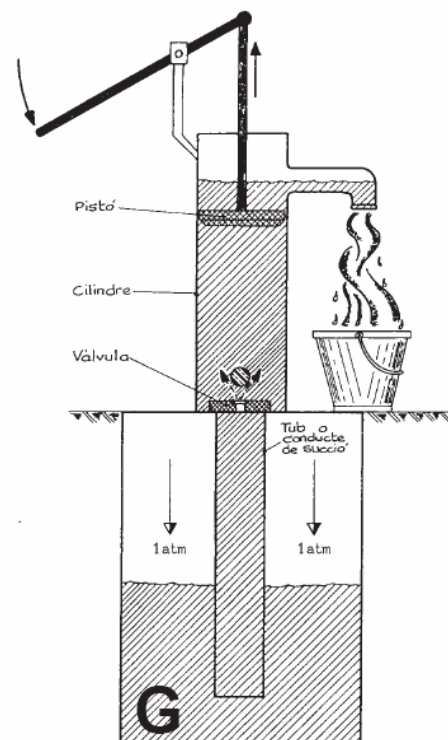


figura 4.4 Bomba a succió



l'efectivitat del segellament del pistó. Normalment es diu que té una capacitat de succió d'un màxim de 7 metres si es troba al nivell del mar i menys si la bomba està situada a cotes més altes.

Es poden motoritzar però no és gaire comú ja que es troben configuracions molt més pràctiques per el mateix rang d'alçades i cabals.

4.2.2.2. Bombes rotatives

Característiques

Aquestes bombes, a diferència de les alternatives, no tenen vàlvules. El moviment del líquid és efectuat per l'acció combinada d'elements giratoris. Tenen una descàrrega gairebé uniforme, això els permet treballar a grans velocitats sense el perill que es presentin pulsacions.

4.2.2.2.1 Bomba helicoïdal

Característiques

El seu ús és poc comú en el bombament d'aigua (és típica en oleoductes i en aplicacions amb fluids d'elevada viscositat) però ha augmentat la seva quota de mercat des de la seva introducció com a bomba solar. Aquesta es mostra en la figura 4.5 on es pot observar el rotor helicoïdal dins d'un estàtor flexible especialment format. Es forma una cavitat helicoïdal entre tots dos i la rotació del rotor trasllada l'aigua atrapat en ella, forçant-la a progressar cap amunt.

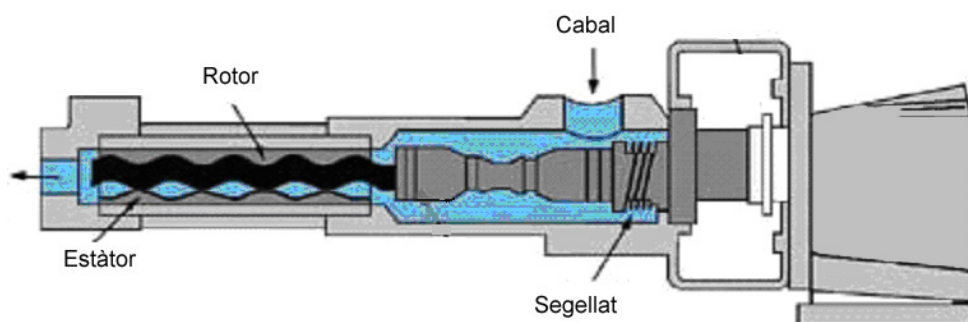


figura 4.5. Secció d'una bomba helicoïdal

Aquest disseny té els avantatges d'una bomba de desplaçament positiu (és a dir, eficàcia a alçades elevades) amb les bones característiques de la càrrega elèctrica d'una bomba centrífuga (parell d'arrencada baix).



Àmbit d'us

L'avantatge principal de las bombes helicoïdals sobre les centrífugues és la seva capacitat de bombejar aigua a altes o baixes velocitats, alterant només la quantitat de cabal extret però no a l'alçada.

4.2.3. Rotodinàmiques

Característiques

Les bombes rotodinàmiques utilitzen un rodets o rotor que gira per a propulsar l'aigua. Molt sovint per augmentar l'alçada d'aquestes bombes es posen diversos rodets en sèrie, formant el que se'n diuen bombes multietapa.

En general són de volum més reduït que les volumètriques, en el cas concret de les centrífugues aquestes requereixen aproximadament 1/8 del volum de la bomba de pistó equivalent.

Segons la direcció de sortida de l'aigua respecte l'eix de gir del rodets (i per tan depenent també del disseny dels rodets) es poden classificar aquestes bombes en 3 tipus: axials, radials i semiaxials.

Parell d'arrancada

A diferència de les bombes volumètriques les bombes rotodinàmiques tenen un parell d'arrancada baix. Això les fa més aptes per aplicacions en què la font d'energia pateix variacions, ja que algunes bombes volumètriques que actuen a prop del llindar del parell d'arrancada s'engeguen i s'aturen moltes vegades en disminuir l'energia.

Corba característica

Com es veu a la figura 4.6 l'alçada i el cabal estan fortament lligats amb la capacitat de donar potència del motor

Rang d'us típic

Poden arribar a un gran rang d'alçades i cabals usant diversos tipus de rodets. El seu rang típic

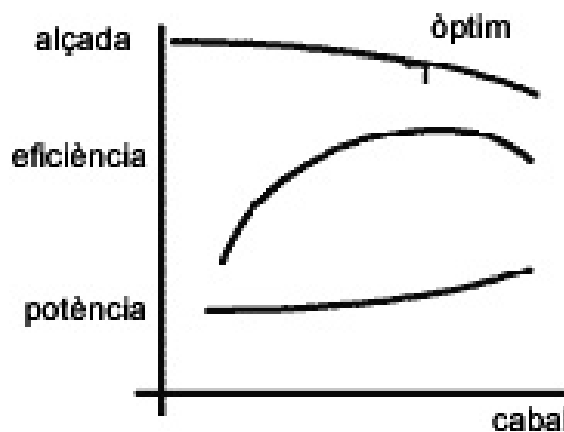


figura 4.6 Corbes característiques de les bombes rotodinàmiques



d'ús però són cabals elevats a baixes i mitges alçades.

Manteniment

Com que les bombes rotatives no tenen segellaments o superfícies de volum variable que es puguin espatllar o desajustar requereixen un manteniment relativament baix i són bastant tolerants a l'aigua bruta.

4.2.3.1. Bombes Axials

Característiques

Les bombes de flux axial a vegades s'anomenen també bombes de propulsió perquè el mecanisme que usen és semblant al d'un propulsor en una canonada. Impulsen l'aigua en el mateix sentit que l'eix del rodets. Aquests rodets (figura 4.7) són capaços d'impulsar cabals molt

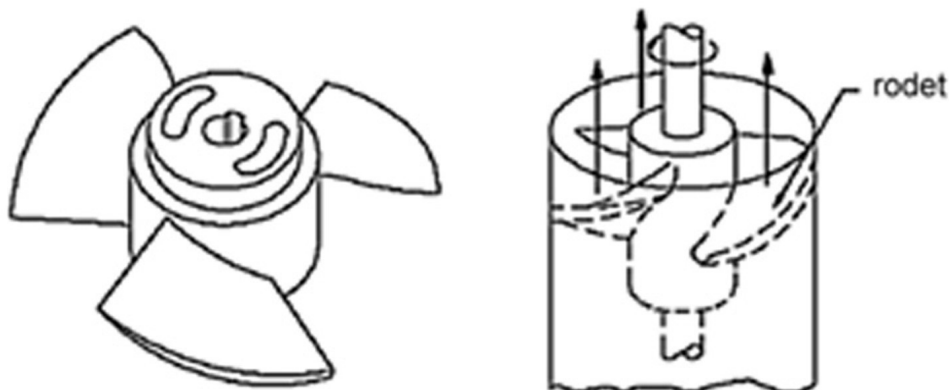


figura 4.7 Rodets axial

elevats però a alçades baixes i són normalment usats per a la irrigació. Les bombes de flux axial es dissenyen generalment doncs per cabals grans i alçades baixes.

Aquestes bombes no entraran dins del nostre estudi ja que gairebé no tenen capacitat d'elevació d'aigua i els cabals d'aigua que són capaços de moure són molts més grans que els requerits a comunitats rurals aïllades.

4.2.3.2. Bombes radials o centrífugues

Característiques

L'aigua entra per "l'ull" de l'impulsor, on la força centrífuga la fa moure en direcció a la voluta. Part de la velocitat transmesa a l'aigua es transforma en pressió que força l'aigua a sortir pel tub de descàrrega. Se'n pot veure un esquema a la figura 4.8.



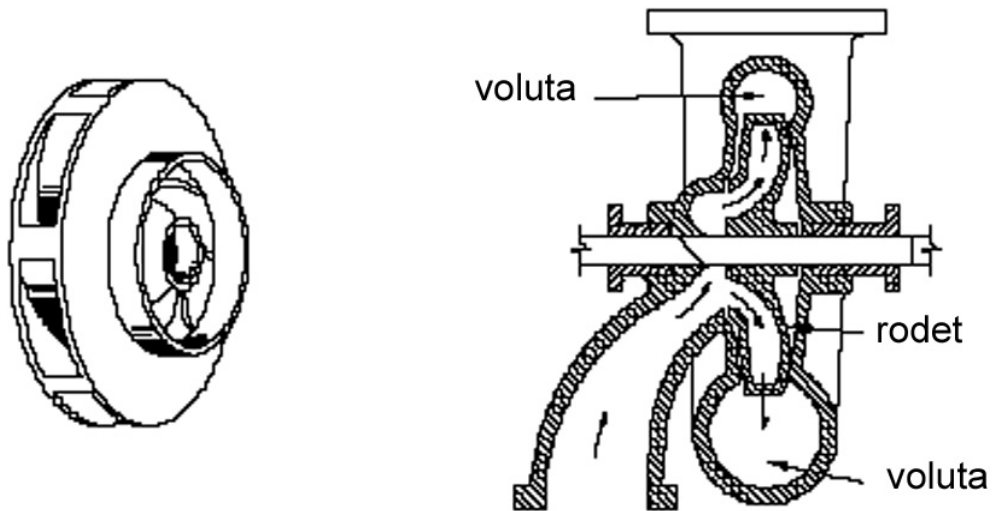


figura 4.8 Rodet Radial

4.2.3.2.1 Centrifuga submergible

Característiques

Aquestes bombes estan dissenyades per encabir el motor i la bomba en una mateixa unitat que està especialment dissenyada per a ser submergida. Generalment s'utilitza una bomba multietapa la qual es col·loca sobre un motor i sota d'una vàlvula d'antiretorn que condueix a la canonada principal. A la figura 4.9 se'n pot veure un petit esquema de les seves parts.

Àmbit d'us

Aquestes bombes submergibles s'utilitzen en tot tipus de pous. A més són prou estretes per a poder ser submergides en pous estrets (de fins a 10 centímetres).

Les bombes submergibles sempre funcionen amb un motor elèctric. Estan disponibles amb tot tipus de motors, tant en CC com en CA. Els motors sense escombreta i CC es segellen típicament amb una coberta de capa d'oli juntament amb l'electrònica d'energia requerida per al motor sense escombreta. Els motors de CA són típicament de disseny mullat i no necessiten ser segellats perquè l'aigua s'utilitza per a refrescar i lubricar el motor.

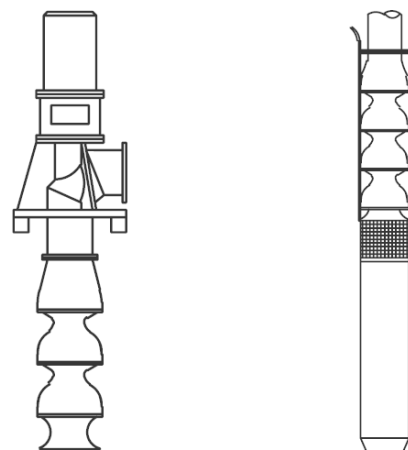


figura 4.9 Bomba submergible



4.2.3.2.2 Centrifuga superficial de succió

Característiques

Consisteix en una unitat que uneix la bomba i el motor i està muntada sobre la superfície. Del cos de la bomba en surt una canonada de succió connectada amb la font d'aigua. L'alçada de succió d'una bomba centrífuga superficial simple es limita a 6 metres (en zones a amb cota del nivell del mar).

Àmbit d'us

Les bombes centrífugues (figura 4.10) s'utilitzen ben sovint si la font d'aigua és una font superficial, tal com un llac, un corrent, un canal o un pou poc profund. Un pou superficial, en comparació amb un pou profund, és aquell al qual el nivell d'aigua és prou alt per a permetre que el buit de la bomba pugui succionar l'aigua.

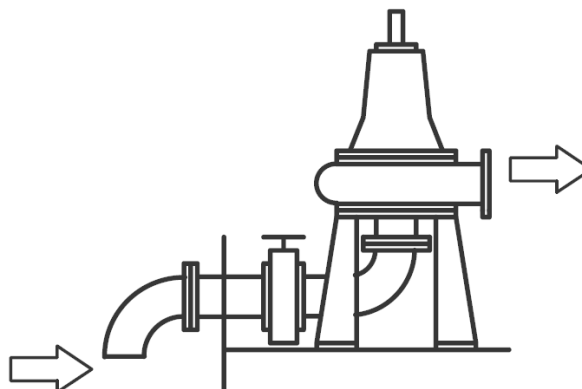


figura 4.10 bomba centrífuga a succió

Són indicades per a cabals alts i poden arribar a alçades considerables (un cop superats els primers metres de succió).

Sempre funcionen motoritzades ja sigui amb motors elèctrics (CC o CA) o directament engranades a un motor de combustió interna.

4.2.3.3. Bombes semiaxials

Característiques

Com es mostra a la figura 4.11 aquestes bombes tenen els àleps del rodet de tal manera que es troben a mig camí entre axials i radials. Són capaces de donar més cabal que les radials i menys que les axials. Lògicament poden propulsar l'aigua a major alçada les axials però a menys que les radials.

Les mateixes construccions per les bombes radials comentades en l'apartat anterior són també vàlides per les bombes semiaxials. La seva aplicació s'usa per tal d'adaptar cada bomba a unes necessitats majors de cabal i de menys alçada.



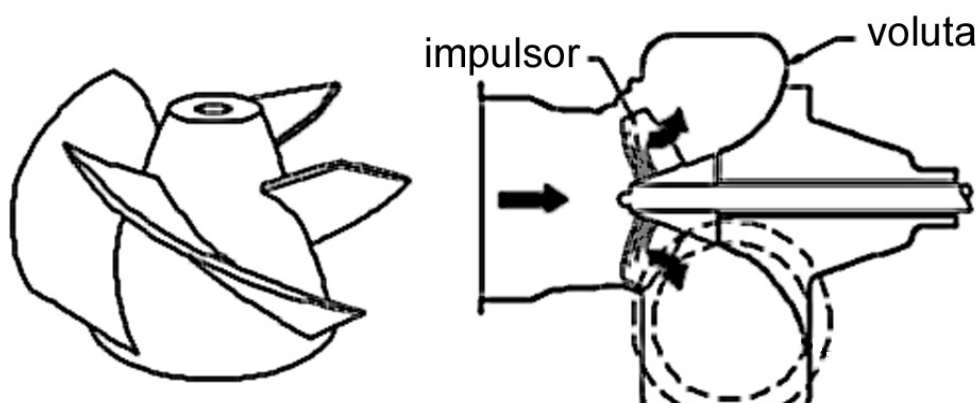


figura 4.11 Rodets semiaxials

4.2.4. Conclusions

A mode de conclusions es mostra la Taula 4.2 en què s'analitza els punts forts i febles i el rang genèric d'ús de tots els tipus de bombes que s'acaben de veure. Cal comentar que els cabals són comparables en magnitud entre volumètriques i rotodinàmiques degut a què les bombes rotodinàmiques estan operant a la part baixa de les seves possibilitats de bombament de cabal i alçada.

Tipus	Bomba	Àmbit d'ús	Punts forts	Punts febles
Volumètriques	Diafragma	Baixos cabals i alçades elevades	Es poden submergir en pous. Econòmicament atractives	Manteniment elevat. Cal tenir en compte el cost del recanvi del diafragma.
	Pistó Jack	Baixos cabals i alçades elevades i mitges	Poden bombejar a alçades elevades	Manteniment elevat i difícil. Dificultat de muntatge. Preu elevat.
	Pistó a succió	Cabals petits i mitjos a alçades inferiors de 7 metres	El manteniment és més fàcil perquè té tots els elements a l'exterior	Té un marge d'aplicació petit degut al seu petit rang d'alçades de bombament.
	Helicoïdal	Cabals mitjos a mitges alçades.	Parell d'arrencada reduït. Molt adaptada per a sistemes fotovoltaics.	El manteniment és important, el seu desajust pot provocar un descens de l'eficàcia molt gran.
Rotodinàmiques	Centrífuga submergible	Cabals mitjos a alçades mitges i elevades	Es poden submergir en pous. Gran rang d'ús. Manteniment fàcil. Fàcil instal·lació.	Només pot funcionar amb energia elèctrica.
	Centrífuga Superficial de Succió	Cabals mitjos i elevats a baixes alçades	Poden funcionar elèctricament o engranades amb un motor dièsel. Fàcil instal·lació.	Baix rang d'àmbit d'ús

Taula 4.2 Taula comparativa de les diferents bombes



4.3. Fonts d'energia

4.3.1. Introducció

La font d'energia més usual proporcionada a les bombes és l'energia elèctrica subministrada per una xarxa elèctrica ja que:

- És la opció més econòmica
- És l'opció més senzilla pel que fa a disseny, instal·lació i manteniment.

La majoria de bibliografies com ara [4] i [9] recomanen **descartar l'energia de la xarxa a partir de 0,5 Km** de distància des del punt de servei fins a la xarxa. Les comunitats aïllades en general es troben a molta més distància per tant, com ja s'havia anticipat en el marc d'actuació, no es comptarà amb aquesta font d'energia pel disseny dels sistemes d'impulsió.

Un cop descartada la xarxa elèctrica les fonts d'energia més habituals són: l'energia humana, l'energia eòlica, l'energia fotovoltaica i l'energia del combustible dièsel (motors de combustió interna).

4.3.2. Humana

4.3.2.1. Principis de funcionament

El principi de funcionament és bastant simple. L'ésser humà realitza un treball físic per tal de fer moure el mecanisme de la bomba i fer pujar l'aigua. Aquestes bombes accionades de manera directa per l'home, per l'energia humana, s'anomenen també bombes manuals. Gairebé mai es fa referència a la font d'energia en el cas que la bomba sigui d'accionament humà, només es fa menció a la bomba. Els motius poden ser la senzillesa d'aquesta font d'energia i sobretot el fet que el que s'adquireix i és més fàcil de visualitzar és la bomba (la font d'energia es posa per part de cada usuari).

En aquestes bombes manuals hi ha pròpiament la tecnologia i el disseny que permeten aconseguir un bon rati entre l'esforç humà i el cabal d'aigua bombejat.

Els requisits bàsics de les bombes d'accionament humà són:

- Que les pugui moure una persona (preferiblement una persona sense gaire força ja que sovint són usades per nens/es)
- Que estiguin dissenyades seguint els criteris VLOM (Village Level Operation and Manteniment). El VLOM (ANNEX C) és un criteri internacional que vol establir els principis de disseny per tenir en compte la bona integració i sostenibilitat de les bombes manuals.



4.3.3. Eòlica

4.3.3.1. El recurs eòlic

El vent es crea quan els corrents convectius creats pels raigs del sol formen la circulació global d'aire a través de la superfície de la terra. Quan la radiació solar arriba a terra i escalfa la seva superfície la reflexió escalfa l'aire circumdant. L'aire calent, que és menys dens que l'aire fresc, ascendeix i l'aire fresc descendeix. En aquest procés, l'aire fresc s'escalfa quan arriba a la superfície de la terra i s'alça de nou a l'atmosfera; l'aire calent alçat es refresca i cau de nou a la terra.

De manera semblant, hi ha vent que es crea entre el mar i la terra degut a la diferència de temperatura entre la terra i l'aigua. Les brises de la muntanya a la vall són també vents locals causats per variacions de la calor.

4.3.3.2. Principis de funcionament

Hi ha dos principis físics primaris pels quals es pot extreure potència del vent: l'aprofitament de la força de sustentació i l'aprofitament de la força d'arrossegament. La diferència entre ambdós és il·lustrada per la diferència entre fer servir una vela tipus paracaigudes que s'infla de vent per empènyer el vaixell i la d'una vela tipus windsurf, triangular, que desvia el vent per aprofitar-lo com a força impulsora.

Les característiques bàsiques que defineixen l'arrossegament i la sustentació són:

arrossegament	sustentació
Fa la força en la direcció del vent	Fa la força de manera perpendicular al vent
Les geometries usuales no generen cap altra força que no sigui la d'arrossegament	La generació d'elevació causa sempre certa quantitat de forces d'arrossegament
Són poc eficients	Els dispositius d'elevació són generalment més eficients que els dispositius d'arrossegament i a més la sustentació produïda pot ser més de trenta vegades major que els dispositius d'arrossegament.

Taula 4.3 Característiques de les forces d'arrossegament i les de sustentació

A partir d'aquests dos principis de conversió podem transformar el vent en energia mecànica i, en el cas d'un aerogenerador, posteriorment transformar-la en energia elèctrica.

Les màquines eòliques poden ser dissenyades per rotar de manera horitzontal o vertical.



Disseny amb l'eix vertical

Treballen aprofitant les **forces d'arrossegament**. Un dels seus avantatges és que accepten el vent en qualsevol direcció.

Fan servir pales planes, corbades, o cavitats en forma de copa per fer girar el rotor. Els anemòmetres de cassoletes, els Panemones i els Savonius (o S-rotor) són típics dispositius d'arrossegament. Produeixen un parell d'arrancada més alt perquè gran part de l'àrea del rotor està coberta per pales. Són adequats per bombejar aigua a baixos cabals. En la seva construcció es requereix més material que en els que actuen per forces de sustentació.

En el passat recent s'ha fet molta recerca en les màquines d'eix vertical pel bombament, especialment pel que fa als rotors Savonius (creades pel finès Sigurd Savonius el 1924).

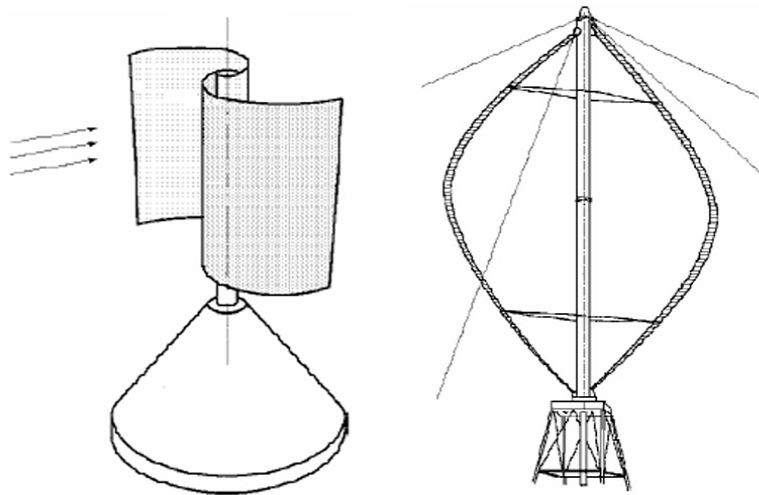


figura 4.12 Rotors verticals: Savonius i Darrieus

Tanmateix això no ha servit per desenvolupar aplicacions pràctiques. Principalment degut a l'alt cost per unitat d'aigua bombejada (és una màquina pesada amb una eficiència baixa, menys del 15% de la potència del vent).



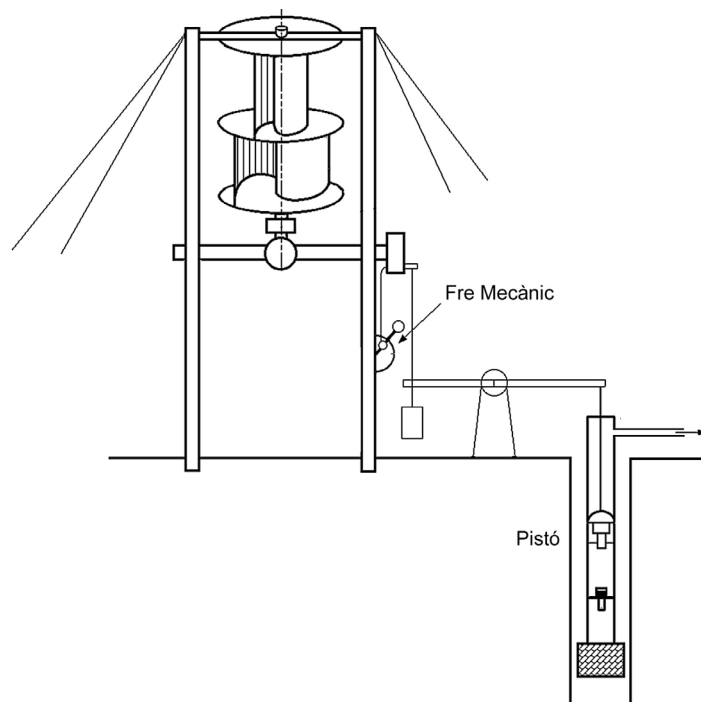


figura 4.13 Bombament d'aigua amb un rotor Savonius

Disseny amb l'eix horitzontal

Es basen en el **principi de sustentació** i usen superfícies aerodinàmiques per a propulsar el rotor. Funcionen amb les pales del molí muntades a un angle petit per a fer desviar el flux i produir una força més gran perpendicular a la direcció del vent. La màxima energia possible capturada del vent en els dispositius per elevació es del 59% (límit de Betz). Això els fa més atractius que els dispositius d'arrossegament per a generar electricitat a gran escala

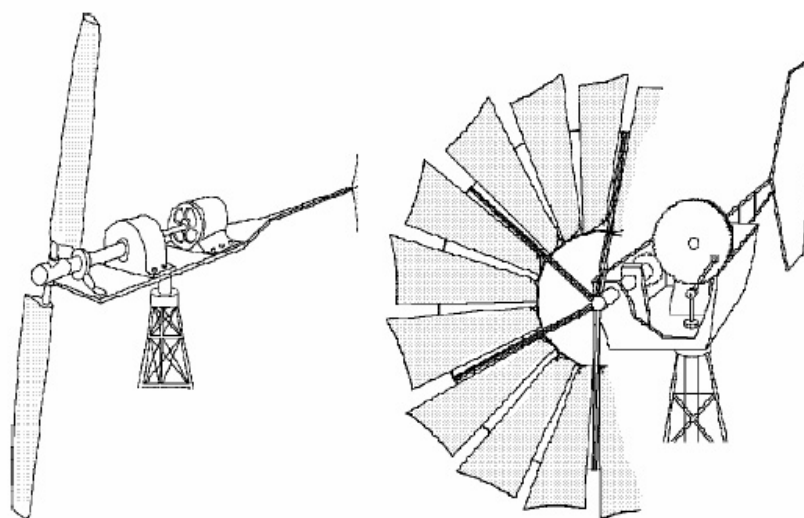


figura 4.14 Rotors horitzontals: bipala i multipala.



Són els més usats i estesos degut al seu major desenvolupament, que els fa menys costosos, més fiables i més eficients.

4.3.3.3. Configuracions possibles

Degut a les seves millors prestacions econòmiques i tècniques **els elements que s'estudiaran en detall com a possibles fonts motrius de bombes d'aigua seran els sistemes amb l'eix horitzontal**. Com s'observa a la Taula 4.4 es poden dividir en dues categories segons si fan servir únicament l'energia mecànica o la transformen en energia elèctrica.

Eòlica Mecànica.	Eòlica Elèctrica
Molí de vent tradicional (Americà)	Grans Eòliques.
Aerobombes lleugeres o de segona generació	Sistemes de bombament eòlic-elèctric.
Aerobombes informals o artesanals	

Taula 4.4 Diferents tipus de màquines d'eix horitzontal

Pel que fa a l'eòlica mecànica:

El molí americà i les aerobombes de segona generació són els models més estesos i els que es troben disponibles a més països. S'entén per aerobombes artesanals com aquelles que són fabricades per constructors locals, amb baixa comercialització i sense industrialització de la construcció, seguint criteris i materials constructius propis. També són una bona alternativa però les seves característiques tan locals fa que hi hagi una manca de d'informació disponible sobre el seu funcionament, per això no s'analitzaran.

Pel que fa l'eòlica elèctrica:

Les gran eòliques són aquelles centrades en la producció d'energia elèctrica per a la seva introducció a la xarxa elèctrica. Es tracta de grans infraestructures que s'escapen de la gestió comunitària a nivell local. L'alternativa de cara al bombament es centrarà en els sistemes de bombament eòlic-elèctric.

4.3.4. Fotovoltaica

4.3.4.1. El recurs solar

El sol és una font inesgotable d'energia creada per les reaccions nuclears que succeeixen en el seu centre i corona. A causa de la gran massa amb què compta, es pot assegurar que el seu temps de vida és "infinit" comparat amb el temps de vida de l'home sobre el planeta terra. Una gran part d'aquesta energia arriba a la Terra en forma de radiació electromagnètica, anomenada



normalment energia solar, la qual esta formada bàsicament per llum i calor.

La potència de la radiació solar que es rep en un instant donat sobre una superfície determinada es coneix com a irradiància i es mesura en unitats de W/m^2 . Atès que la distància Terra-Sol és relativament fixa, el valor de la irradiància fora de l'atmosfera terrestre, anomenada constant solar, és d' $1,353 W/m^2$. L'atmosfera terrestre està constituïda per gasos, núvols, vapor d'aigua, partícules contaminants i sòlids en suspensió, que constitueixen el que es coneix comunament com a massa d'aire. A mesura que la llum solar travessa aquesta massa pateix processos d'absorció, reflexió i refracció, i en conseqüència, la irradiància s'atenua disminuint el seu valor respecte al de fora l'atmosfera. Sota condicions d'atmosfera neta, sense cap procés òptic i estant el sol en el zenit, la irradiància màxima que un captador podria rebre és de **$1,000 W/m^2$** , com a valor de mitjana normalitzada.

4.3.4.2. Principis de funcionament

L'efecte fotovoltaic

L'energia captada del sol es pot aprofitar com a font tèrmica o com a font elèctrica. Aquesta última possibilitat és deguda a l'efecte fotovoltaic. En el cas del bombament d'aigua l'energia que es necessita és electricitat, l'element usat doncs per a l'aprofitament solar seran els mòduls fotovoltaics.

Quan en un dispositiu s'observa una diferència de voltatge degut a l'absorció de la llum solar, es diu que s'està duent a terme l'efecte fotovoltaic. L'efecte fotovoltaic es pot dur a terme en materials sòlids, líquids o gasosos; però és en sòlids, especialment en els materials semiconductors (típicament Silici), on s'ha trobat eficiències acceptables de conversió d'energia lluminosa a elèctrica.

A la unitat mínima on es duu a terme l'efecte fotovoltaic se l'anomena cel·la solar. El baix voltatge produït per una cel·la solar no és suficient per a totes les aplicacions on es vol usar. Per a què es pugui generar una potència útil, les cel·les s'agrupen en el que es denomina mòdul solar o fotovoltaic. Aquest conjunt de cel·les han d'estar convenientment connectades, de tal forma que reuneixin les condicions òptimes per a la seva integració en sistemes de generació d'energia, sent compatibles amb les necessitats i els equips estàndards existents en el mercat. Les cel·les es poden connectar en sèrie o en paral·lel.

Comercialment, les cel·les solars es connecten en sèrie, s'agrupen, es laminen i s'empaqueten entre fulls de plàstic i vidre, formant la unitat del mòdul solar. El mòdul té un marc (usualment d'alumini) que li dóna rigidesa i facilitat en el maneig i transport. A més, en aquest es troben les caixes de connexions elèctriques per a connectar el cablejat exterior. El nombre de cel·les que contenen els mòduls depèn de l'aplicació per a la que es necessita. És costum configurar el



nombre de cel·les connectades en sèrie per a tenir mòduls que serveixin per a carregar acumuladors (o bateries) de 12 Volts.

El comportament elèctric dels mòduls està donat per les corbes de corrent contra voltatge (corba I vs V) o potència contra voltatge (corba P vs. V) que els caracteritza. La corba de potència es genera multiplicant el corrent i el voltatge en cada punt de la corba I vs. V. En la figura 4.15 es mostren corbes I vs. V i P vs. V per a un mòdul fotovoltaic típic.

Sota condicions estàndards de prova cada model de mòdul té una corba I vs V característica (o P vs V).

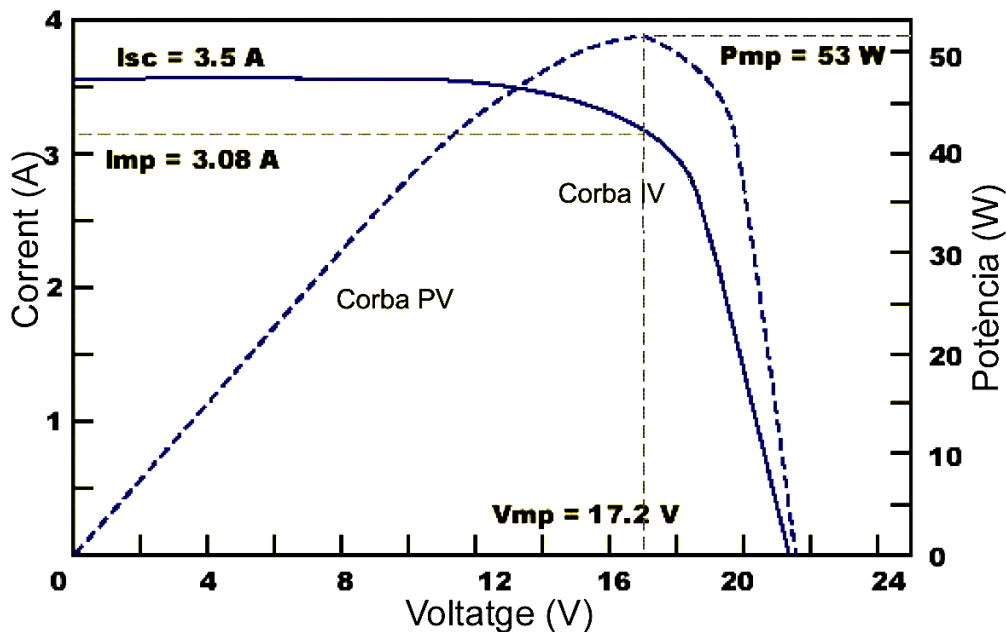


figura 4.15 Corba I vs V y P vs V per a un mòdul fotovoltaic típic a $1,000 \text{ W/m}^2$ y 25°C

En la corba de potència contra voltatge, hi ha un valor de voltatge, el V_p per el qual la potència és màxima. La potència màxima del mòdul és simbolitzada amb PP i representa la capacitat nominal de generació o **potència pic** del mòdul. Amb el seu valor s'avalua l'eficiència de conversió del mòdul.

La potència pic queda definida per una parella de valors de corrent i voltatge, I_p i V_p , que defineixen una resistència de càrrega R_L . Quan una càrrega elèctrica amb resistència R_L es connecta al mòdul, la transferència d'energia del mòdul a la càrrega és màxima, i es diu que I_p i V_p corresponen al corrent i voltatge d'operació de la càrrega elèctrica. No obstant, en aplicacions reals no sempre succeeix que la resistència de la càrrega elèctrica és R_L . En aquest cas es té un desacoblament en la corba de potència i la transferència no és màxima, el mòdul opera lluny del punt de màxima potència i la potència entregada es redueix



significativament; en conseqüència es tindran pèrdues d'energia.

Altres paràmetres d'importància són: el corrent de curt circuit, (I_{cc}): (I_{sc} en la figura), que és el corrent màxim generat pel mòdul per a zero potència; i el voltatge de circuit obert (V_{ca}), màxim voltatge produït pel mòdul. La potència màxima o grandària dels mòduls comercials varia entre 25 i 300 Watts. El voltatge V_p de la majoria dels mòduls fluctua entre els 15 Volts (30 cel·les en sèrie) i 17.5 Volts (36 cel·les en sèrie). Cada mòdul té en la seva part posterior una placa del fabricant amb el model i les especificacions elèctriques.

4.3.4.3. Configuracions possibles

Per al bombament d'aigua amb energia fotovoltaica trobem dos tipus de muntatge:

Sistemes solars de bombament amb bateria

Els sistemes de bombament amb bateria consisteixen en els panells (PV), el regulador del control de la càrrega de la bateries, les bateries, el regulador de la bomba, l'interruptor de pressió i la bomba en CC. El corrent elèctric produït pels panells de PV durant les hores de llum del dia carrega les bateries, i les bateries alternativament proveeixen energia a la bomba per a proveir l'aigua necessària. L'ús de bateries assegura el bombament en un període llarg de temps proporcionant un voltatge constant al motor de CC de la bomba. Així, durant la nit i els períodes de la poca llum el sistema pot continuar funcionant.

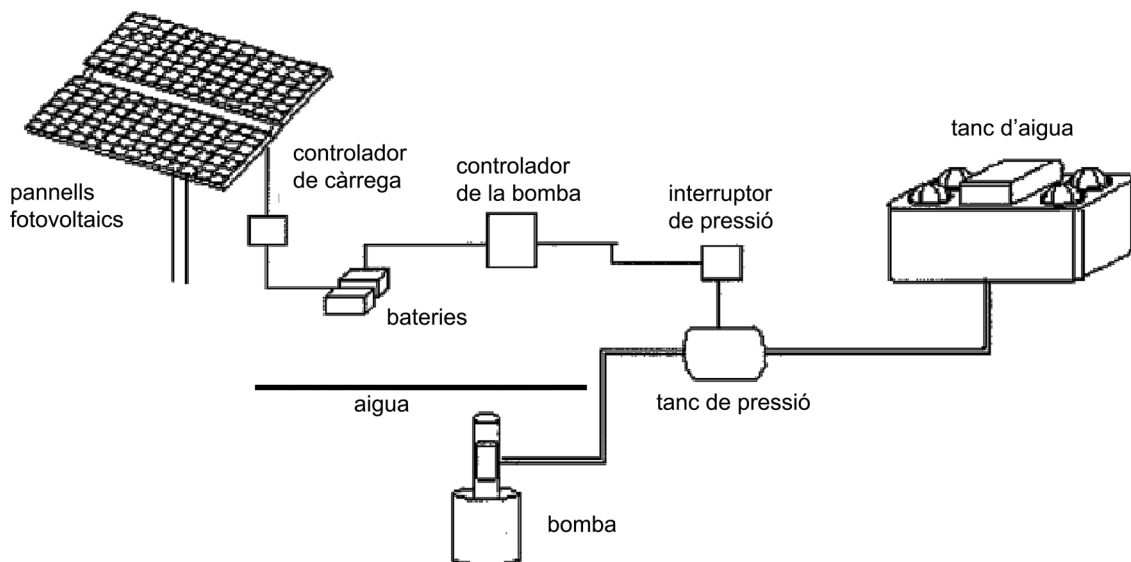


figura 4.16 Esquema d'un bombament fotovoltaic amb bateria

Amb aquest sistema els pous amb un rati lent de recarrega poden ser buidats no només durant



les hores de sol sinó durant més hores i repartir més uniformement la càrrega de la bomba. Altres usos dependents de les bateries són els que tenen limitat l'emmagatzematge de l'aigua.

L'ús de bateries té els seus inconvenients. Poden reduir l'eficàcia del sistema total perquè el voltatge de funcionament és dictat per les bateries i no pels panells del PV. Depenent de la seva temperatura i com es carreguin de bé les bateries, el voltatge proveït per les bateries pot ser d'un a quatre volts més baix que el voltatge produït pels panells durant les millors condicions de la llum del sol. Aquesta eficàcia reduïda es pot minimitzar amb l'ús d'un regulador apropiat per la bomba.

Sistemes solars de bombament directe

En sistemes de bombament directe, l'electricitat dels mòduls del PV s'envia directament a la bomba, que al seu torn bombeja aigua a través d'una canonada. Aquest sistema està dissenyat per a bombejar aigua només durant el dia. El cabal bombejat és totalment dependent de la quantitat de llum del sol que incideix en els panells i el tipus de bomba. Com que la intensitat del sol i l'angle d'incidència canvien durant el dia la quantitat d'aigua bombejada també ho fa. Per exemple, durant els períodes òptims de la llum del sol la bomba funciona en prop del 100 % d'eficàcia amb un flux màxim d'aigua. No obstant, durant primera hora del matí i a última de la vesprada, l'eficàcia de la bomba pot ser d'un 25 % o fins i tot menys. En dies ennuvolats, l'eficàcia de la bomba caurà encara més. Per a compensar aquests cabals variables es fa necessari un bon acoblament entre la bomba i els mòduls PV.

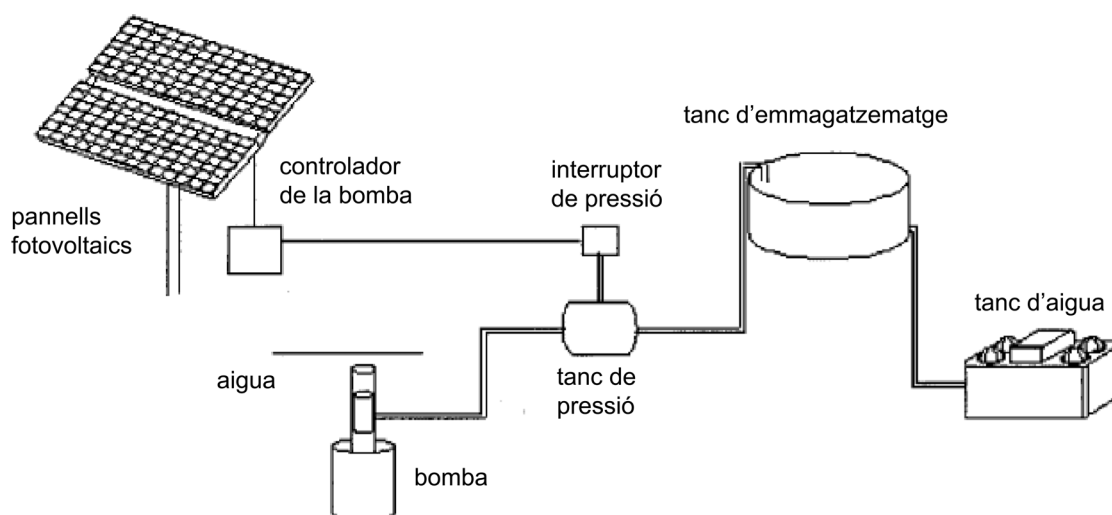


figura 4.17 Esquema d'un bombament fotovoltaic directe

En els sistemes de bombament directe es dimensionen tancs per a emmagatzemar aigua addicional en dies assolellats per així tenir-ne disponible els dies ennuvolats i durant la nit. La



capacitat d'emmagatzematge del tanc acostuma a oscil·lar entre 2 i 5 dies d'un consum normal. Dependrà del clima i del tipus d'ús de l'aigua.

4.3.5. Dièsel

4.3.5.1. El recurs dièsel

Quan es parla del recurs dièsel es pot generalitzar la seva energia a la de la majoria dels hidrocarburs, ja que encara que amb algunes petites diferències, tots poden fer funcionar un motor de combustió interna. En aquest estudi es concreta en el dièsel ja que es un exemple representatiu de tots ells i un dels més usats en aplicacions en què el motor es troba estàtic.

El diesel, com a derivat del petroli, és considerat com un recurs no renovable ja que la seva formació és extremadament lenta, sobretot comparant-la amb el seu consum. A més, la seva combustió agreuja l'efecte hivernacle, el calentament de la Terra i produeix partícules nocives per la salut.

4.3.5.2. Principis de funcionament

Els generadors dièsel s'utilitzen sovint com a font d'energia immòbil. Els motors dièsel es diferencien dels motors de gasolina en què no tenen bugies per a encendre la mescla del combustible i funcionen a pressions molt més altes. A més necessiten menys manteniment que i són més eficients.

Es poden trobar en diferents tamanys (tenen d'1-6 cilindres i alguns fins i tot més), velocitats (revolucions per minut), i cicles de 2 temps o 4 temps. En general, els motors de quatre temps a poca velocitat duren més, i els motors de 2 temps produeixen més energia per quilogram de pes del motor.

Amb un bon manteniment són fonts d'energia fiables. És important però seleccionar un model per al que el manteniment i les peces de reposat estiguin localment disponibles.

4.3.5.3. Configuracions possibles

Per al bombament d'aigua trobem dos tipus de muntatges amb motor dièsel:

- **Sistemes dièsel amb engranatge directe:** L'eix del motor dièsel fa girar l'eix d'una bomba de manera directa. Ambdós s'han de trobar fora de l'aigua.
- **Sistema de generador elèctric dièsel que alimenta una bomba:** L'eix del motor dièsel fa moure un generador que transforma l'energia mecànica en energia elèctrica. Aquesta energia elèctrica és la que es transmet a la bomba.



4.3.6. Conclusions

A mode de conclusions a la Taula 4.5 es mostren els punts forts i febles que porta associat cada tipus d'energia. Aquesta taula es basa en bona part amb les valoracions que fa en [15] una de les organitzacions més importants de cooperació internacional de caire tecnològic, Intermediate Technology Development Group (ITDG).

energia	punts forts	punts febles
humana	Es possible la manufacturació local. Fàcil manteniment Baix cost	Pèrdua de producció humana Sovint fan un ús ineficient dels pous Només es poden aconseguir baixos cabals
eòlica	Operen de manera autònoma Fàcils de mantenir Llarga vida Bona fiabilitat	Requereixen tancs d'emmagatzemat pels períodes de baix vent Alts requeriments de disseny i de planificació Difícils d'instal·lar
fotovoltaica	Operen de manera autònoma Baix manteniment Llarga vida útil Bona fiabilitat	Necessiten una alta inversió Requereixen tancs d'emmagatzemat pels períodes de núvols Les reparacions sovint necessiten tècnics especialitzats
dièsel	Ràpid i fàcil d'instal·lar Baixa inversió inicial Àmpliament usats Son transportables	Requereixen combustible. Alts costos de manteniment Curta vida útil Fan soroll i fum.

Taula 4.5 Punts forts i febles de les energies de bombament

4.4. Configuracions de bomba i font d'energia més usuals

4.4.1. Introducció

Les possibilitats a l'hora de dissenyar un sistema d'impulsió són enormes. Malgrat tot, la realitat imposa que certes **configuracions no responen bé o simplement no es troben disponibles en el mercat**. Per això s'ha cregut convenient **estudiar en profunditat els elements bomba i font d'energia com un sistema compacte**. L'estudi del sistema d'impulsió com un bloc permet donar una idea de com és el seu funcionament i resposta d'una manera més real que no es pot aconseguir estudiant el sistema per parts.

A continuació es mostra aquells sistemes que a partir de la bibliografia disponible i de l'experiència d'ESF en projectes d'abastament **s'han contrastat com alternatives més vàlides**. A la Taula 4.6 es mostra de quins elements estan compostades aquestes configuracions.



	<i>característiques</i>	<i>bomba</i>	<i>configuració</i>
humana	Bomba manual	diafragma	Bomba manual de diafragma
	Bomba manual	pistó jack	Bomba manual de pistó tipus Jack
	Bomba manual	pistó succió	Bomba manual de pistó a succió
eòlica	mecànica	pistó jack	Eòlica mecànica amb molí de vent tradicional i bomba de pistó Jack
	mecànica	pistó jack	Eòlica mecànica amb molí de segona generació i bomba de pistó Jack
	Elèctrica (aerogenerador)	submergible	Eòlica elèctrica amb bomba centrífuga submergible
fotovoltaica	Directe (sense bateria)	Centrífuga submergible	Fotovoltaica directe a bomba centrífuga submergible
	Directe (sense bateria)	pistó jack	Fotovoltaica directe a bomba de pistó Jack
	Directe (sense bateria)	centrífuga superficial a succió	Fotovoltaica directe a centrífuga superficial a succió
dièsel	Mecànica (directa)	centrífuga superficial a succió	Motor dièsel engranat directament a una bomba centrífuga superficial
	Elèctric (amb generador)	submergible	Generador elèctric dièsel alimentant una bomba centrífuga submergible

Taula 4.6 Configuracions més usuals de sistemes bomba-energia

De cada sistema s'intentarà explicar quin és el seu funcionament, quin és el seu àmbit d'ús i les seves característiques de manteniment. Tot i que moltes vegades sigui difícil degut a la pròpia naturalesa de cada sistema, s'intentarà mantenir el màxim de paral·lelismes en les informacions de cada un d'ells.

4.4.2. Bomba manual de diafragma

Descripció del sistema

Sobre una plataforma sòlida i habilitada s'hi instal·la una bomba de diafragma. El diafragma es mou forçat pel circuit hidràulic separat que generalment s'acciona empenyent cap avall un pedal amb el peu.

Àmbit d'ús

Operen en un rang de profunditat de 10–70 m i treuen un cabal de 0.50 litres/s a 10 m, 0.32 litres/s a 30 m i 0.24 litres/s a 45 m. Cal destacar que és possible instal·lar diverses bombes en un sol pou o perforació.



Fiabilitat/ Manteniment

Prémer el pedal pot requerir un esforç considerable (tan gran com el pes del cos de l'usuari) i la bomba s'ha de construir per a poder suportar això. El principi de la bomba és atractiu perquè permet utilitzar mànegues flexibles fines, fent que la bomba sigui fàcil d'instal·lar o treure sense la necessitat d'eines o d'equips especials.

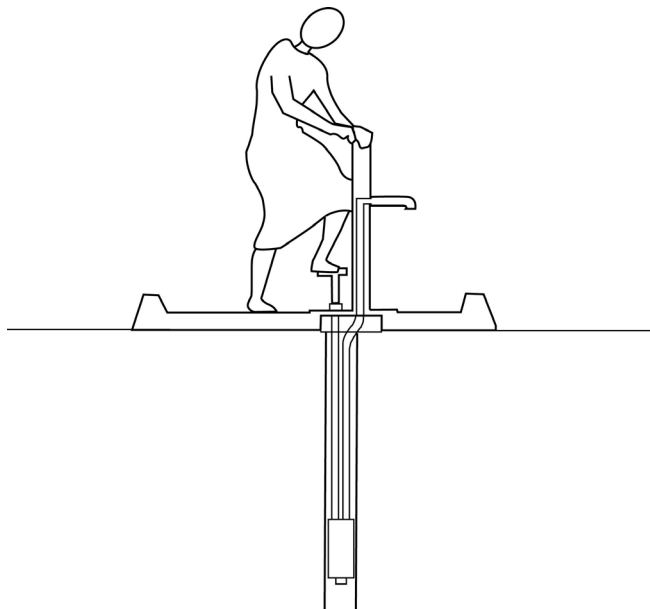


figura 4.18 Representació d'una bomba manual de diafragma

Cada dia, la part superior de la bomba i la plataforma han de ser netejats, i les femelles i els pernells collats. Cada mes, el pistó d'impulsió, els anells i la caixa de la guia necessiten ser comprovats i substituïts en cas de necessitat. Almenys una vegada a l'any les peces de la bomba de sota el pou han de ser comprovades i netejades amb aigua neta. A més, els segellats de l'èmbol del cilindre són de baix cost i es poden substituir fàcilment pel lampista encarregat de la bomba.

Tot i això, substituir el diafragma de la bomba és una activitat de manteniment complexa. S'ha de fer en un interval de dos a cinc anys (alguns diafragmes vénen

amb una garantia de tres anys). Aquesta activitat requereix un mecànic especialitzat amb formació per a substituir diafragmes.

4.4.3. Bomba manual de pistó tipus Jack

Descripció del sistema

La bomba manual de pistó Jack s'instal·la sobre una plataforma habilitada. L'usuari realitza el moviment alternatiu a la barra situada en el suport de la bomba i aquest és transferit al pistó per una sèrie de barres de bombament connectades dins de la canonada d'impulsió.

L'alçada de bombament és limitada només per l'esforç necessitat per a elevar l'aigua a la superfície. Avui en dia, la majoria dels cilindres de bomba tenen una tapa oberta. Això permet al pistó i a la vàlvula inferior ser extrets per a la seva reparació mentre que la canonada i el cilindre d'impulsió romanen en lloc. Les barres de la bomba tenen connectors especials que permeten ser muntats o desmuntats sense eines, o amb només eines molt simples.

Àmbit d'ús



Operen en un rang de profunditat de 15 a 45 m però poden arribar a més 100. Els cabals bombejats van de 0.25-0.36 litres/s a 25 m a 0.18-0.28 litres/s a 45 m de profunditat.

Fiabilitat/Manteniment

La bomba funciona movent la maneta cap amunt i cap avall, o rotant la maneta d'una roda volant. Això últim permet el seu ús a adults i a nens i nenes ja que la força a fer a la maneta generalment està dins d'uns límits acceptables (depenent de la marca de fàbrica i de les altures d'elevació).

El manteniment preventiu consisteix generalment a comprovar el funcionament de la bomba i a netejar la part superficial de la bomba i els seus voltants. Cada setmana la bomba s'ha d'engreixinar, i una vegada al mes totes les parts de la bomba que estan a la superfície han de ser comprovades.

Les reparacions petites inclouen substituir els coixinets, els segellatges i les volanderes, i redreçar les barres de bombament doblegades, etc.

Una vegada a l'any, la bomba sencera s'ha de desmuntar per a un revisió, les peces netejades amb aigua neta, i el suport de la bomba pintat. Les barres de bombament que mostrin corrosió han de ser substituïdes. En condicions normals, una barra d'acer galvanitzada de la bomba necessita ser substituïda cada cinc o sis anys. Les canonades d'impulsió fetes de ferro galvanitzat s'han de llevar i comprovar, i les canonades rovellades substituïdes.

Les reparacions importants són substituir l'èmbol, la vàlvula de peu, el cilindre, les barres de la bomba, la canonada d'impulsió, etc.

Amb les bombes de cilindre obert, totes les activitats del manteniment preventiu es poden realitzar normalment pel lampista de la comunitat. Amb les bombes del cilindre tapat, no obstant, pot ser necessari un equip d'elevació especial per a treure la canonada d'impulsió i el cilindre i poder així mantenir la part inferior.

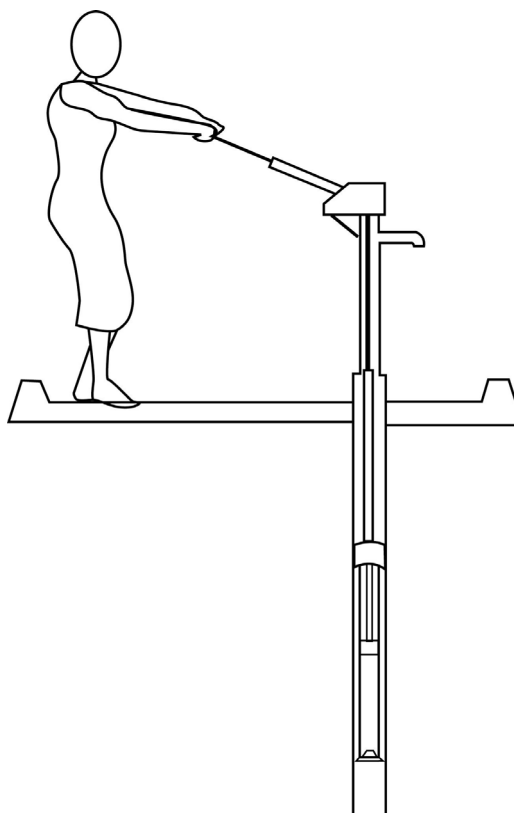


figura 4.19 Representació d'una bomba manual de pistó tipus Jack



4.4.4. Bomba manual de pistó a succió

Descripció del sistema

La bomba manual de pistó a succió s'instal·la sobre una plataforma habilitada. Les parts de la bomba de succió (cilindre i èmbol) es troben a sobre el nivell de l'aigua, enclavats en el suport situat sobre el terra.

El bombament és fa movent la maneta cap amunt i avall.

Àmbit d'ús

Opera en un rang de profunditats que arriba fins als 7 metres aportant un cabal d'entre 0,4-0,6 litres/s. Així doncs, ha d'estar en zones on l'aigua subterrània es trobi a menys de 7 metres de profunditat.

La majoria de les bombes de mà a succió es poden fer funcionar fàcilment per homes, dones i nens.

Fiabilitat/Manteniment

Les bombes de succió són relativament fàcils de mantenir ja que la majoria o totes les peces mòbils estan sobre el nivell del terra. El manteniment es pot fer normalment per un lampista de la comunitat o pels usuaris mateixos, usant eines simples, i peces de recanvi i materials bàsics (no obstant, alguns models de varies marques de fàbrica no es poden mantenir totalment a nivell local). Les habilitats bàsiques necessàries pel manteniment preventiu (ex. el greixatge dels mecanismes, el desmuntar el suport de la bomba, la substitució de peces de recanvi, etc.) pot ser ensenyat de manera ràpida als usuaris locals.

El manteniment preventiu consisteix en el greixatge dels coixinets cada setmana, examinant l'interior del suport de la bomba una vegada al mes, i la inspecció de la bomba sencera aturant-la una vegada a l'any. La majoria d'aquest treball es pot fer per una o dues persones, però es pot necessitar més gent quan les peces de la bomba han de ser extretes del pou.

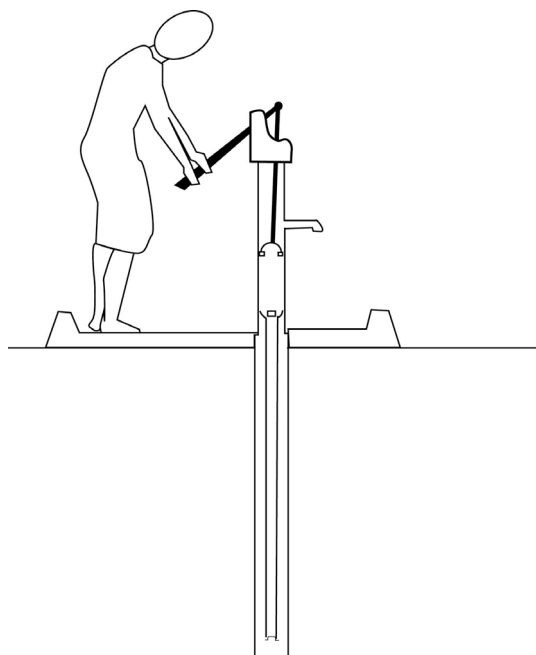


figura 4.20 Representació d'un bomba manual de pistó a succió



4.4.5. Eòlica mecànica amb molí de vent tradicional i bomba de pistó Jack

Descripció del sistema

Aquest sistema és conegut mundialment amb el nom de molí americà. Aquest molí capta la potència mitjançant un rotor d'entre 12 i 24 pales que mou a través d'una barra vertical una bomba de pistó tipus Jack que es troba en el pou de sota seu. L'acoblament entre el rotor i la barra es fa normalment pel mecanisme biela manovella amb reducció a través d'engranatges. La utilització d'aquesta caixa reductora fa l'aparell més adequat per treballar a altes profunditats perquè això permet augmentar el parell i per tant la força sobre la barra. Els engranatges es troben dins una caixa on giren en un bany d'oli lubricant. En alguns casos la bomba té possibilitat també d'activació manual. Disposen a més d'una veleta d'orientació per tal d'encarar-se en la direcció correcta del vent.

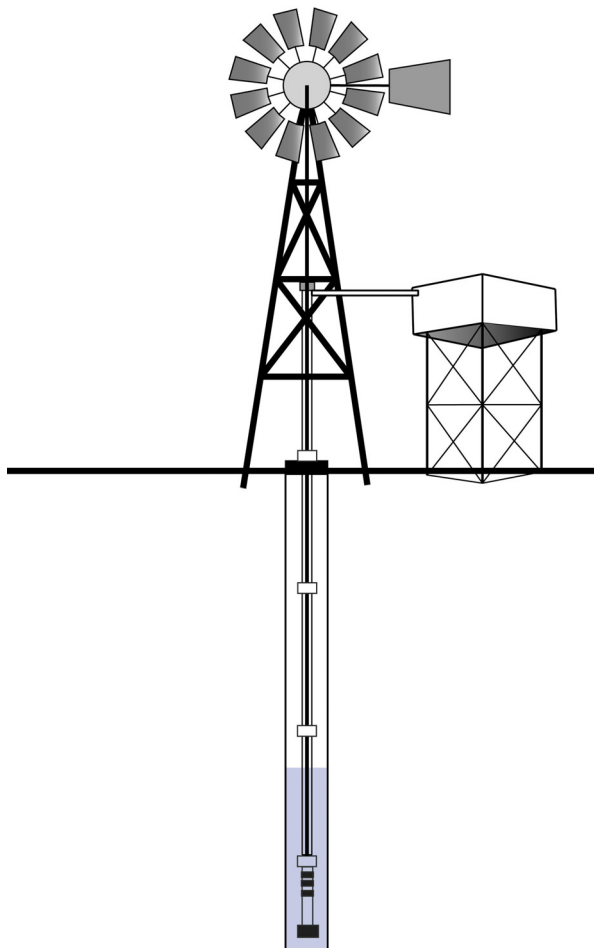


figura 4.21 Representació d'un molí de vent tradicional

L'eficiència d'aquest sistema normalment és molt baixa degut al pobre disseny aerodinàmic del rotor i a l'incorrecte acoblament entre el parell entregat pel rotor eòlic i el requerit per la bomba.

Per a què la bomba comenci a bombejar el vent necessita tenir prou força com per aixecar la barra de la bomba, el pistó, l'aigua del pistó i superar la fricció.

La quantitat d'aigua bombejada per la bomba per a una donada alçada depèn del diàmetre de la bomba i de la velocitat del vent. Com més gran és el diàmetre de la bomba més cabal pot bombejar. El tamany de la bomba determina però la velocitat d'inici de gir per un vent donat i una alçada determinada. Bombes grans necessiten parells d'arrencada majors.

L'eficiència global mitjana, definida com la raó entre la energia hidràulica neta i l'energia disponible del vent, es troba situada normalment entre el 2% i el 5% i quan opera a les condicions de disseny es troba entre un 4%–8%.



Els molins americans es basen en un rotor, la transmissió, la bomba, la torre i el sistema de seguretat. Algunes característiques d'aquests elements:

- El diàmetre del rotor d'aquests molins és d'entre 2 i 5 metres, podent arribar excepcionalment als 10. Normalment les pales són fulles d'acer corbades (entre 12 i 24) però alguns cops també es fan servir veles. Tenen un rati de velocitat de punta de pala (el quocient entre la velocitat de la punta de la pala i la velocitat del vent) proper a 1.
- La transmissió, com es mostra a la figura 4.22, és la que s'encarrega de transformar la rotació horitzontal en alternativa vertical. La velocitat del rotor a més és major que la recomanable per al pistó (40 cicles/minut) és per això que es fa necessària una caixa reductora. Això a més permet augmentar el parell d'arrancada. La típica transmissió és 3,29:1 i té una eficiència d'entre el 70% i el 90%.
- Normalment s'usen torres de gelosia, amb un perfil angular de 4 potes (a vegades 3) i mesuren entre 6 i 18 metres d'alçada, essent la més comú de 10 metres. Aquestes torres de construcció mallada, poden venir soldades de fàbrica com a seccions completes o empeltades en el mateix lloc de la instal·lació.
- Compten amb sistemes de seguretat per prevenir les fortes ràfegues de vent així com un fre manual.

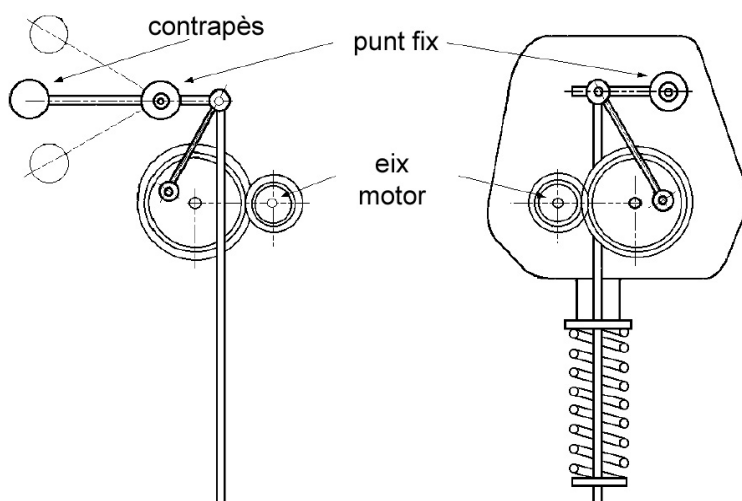


figura 4.22 Transmissió d'un molí tradicional

Àmbit d'ús

La seva localització està limitada als llocs on es troba la captació de l'aigua, és a dir, on es troba el pou. Això fa que normalment molts siguin inviabilitats ja que s'haurien de situar en terrenys baixos (les valls) on en general no hi ha un bon règim de vents. Per això les grans esplanades són uns dels llocs on s'hi acostumen a trobar més.

La seva principal característica pel que fa a la velocitat del vent és que poden instal·lar-se a



llocs amb baixes velocitats de vent mitjà (entre 2 i 5 m/s) ja que estan dissenyats per començar a girar a baixes velocitats de vent (2,5-4,5 m/s). Una bomba ajustada a un molí normalment està calculada per funcionar amb uns tres quarts de la velocitat mitjana del lloc. Això permet que la bomba treballi amb freqüència suficient per abastar d'aigua les temporades poc ventoses.

La tecnologia que empren aquests molins no es fàcil de reproduir a països amb baix desenvolupament industrial ja que hi ha bona part de mecanismes complexos que són elaborats per mètodes de fossa, com ara la coberta que protegeix els engranatges i el mecanisme del rotor.

Fiabilitat/Manteniment

La baixa velocitat de treball fa la màquina més fiable ja que pateix un menor desgast per fricció dels elements de la bomba i disminueix els trencaments per fatiga.

Aquests sistemes requereixen un manteniment mínim. Bàsicament cal revisar periòdicament els engranatges que giren habitualment en un bany d'oli lubricant ja que sovint la pols i la sorra penetren al mecanisme de transmissió. Cal també cada 6-12 mesos canviar el segellatge de la bomba, que disminueix ràpidament si treballa amb aigua salobre.

S'estima que tenen un vida útil de més de 20 anys, en molts casos fins i tot s'estableix en uns 50 anys.

4.4.6. Eòlica mecànica amb molí de segona generació i bomba de pistó Jack

Descripció del sistema

Aquestes aerobombes va sorgir per superar les limitacions que encara persisteixen en el molí americà. Van ser desenvolupades després de 1975 per diversos fabricants i organitzacions com I.T.Power.

Els objectius d'aquest nou disseny eren:

- Disminuir costos
- Disminució del pes de l'estructura
- Oferir la possibilitat de fer fabricació i manteniment local.
- Incrementar l'eficiència

El resultat ha estat un molí que fa servir només de 6-8 pales amb perfil aerodinàmic. La disminució de pales fa disminuir substancialment el seu cost. Treballen amb una bomba de pistó Jack però sense usar caixa reductora, és a dir amb una connexió directe. Això fa que treballi a major velocitat, la qual cosa fa augmentar la càrrega i disminuir-ne la vida útil, però simplifica molt el mecanisme. L'absència de caixes reductores i materials de fossa facilita a més



la incorporació de materials disponibles del mercat.

Estan dissenyats per produir un fort parell a velocitats de vent baixes i per proporcionar control de la velocitat del rotor per forts vents. I és que l'objectiu principal d'aquest disseny és reduir el parell d'arrancada. Això és possible a causa del contrapès que hi ha unit a la biga d'actuació de la bomba i la incorporació de la possibilitat que la bomba faci dues curses variables, una curta i una llarga. Aquest baix parell és el que permet que hi hagi pocs àleps.

Aquest molins de nova generació es basen en un rotor, la bomba, la torre i el sistema de seguretat. Algunes característiques d'aquests elements:

- Els rotors dels molins de segona generació en comparació als tradicionals tenen menys pales, normalment 6, 8 o 12 i sovint subjectades només pels radis. Operen a un rati de velocitat de punta de pala més alt, entre 1,5 i 2.
- La disminució de materials els fa de més baix pes. Normalment es fan amb materials estàndards disponibles en el mercat (absència d'elements de fundició i de caixes reductores).
- Compten amb sistemes de seguretat per prevenir les fortes ràfegues de vent així com un fre manual.

Àmbit d'ús

El seu àmbit d'ús és el mateix que el molí tradicional. A diferència d'aquests però les aerobombes modernes són el doble d'eficients però són poc resistents als forts temporals i són millors per a zones de vents suaus.

Fiabilitat i manteniment

La velocitat de treball de la bomba fa que pateixi desgast i trencaments per fatiga. Per contra la incorporació de materials disponibles del mercat en la seva construcció fa que la majoria d'elements de recanvi es poden trobar i substituir fàcilment en el mercat local.

Tot i que requereixen un manteniment mínim, en necessiten més que els americans degut a la seva menor robustesa. Cada 6-12 mesos cal canviar el segellatge de la bomba, que disminueix

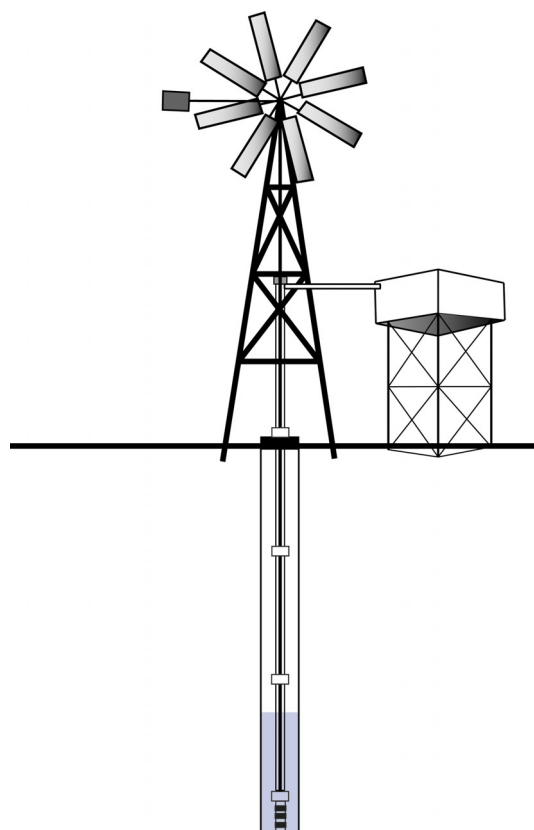


figura 4.23 Representació d'un molí de segona generació



ràpidament si treballa amb aigua salobre.

S'estima que tenen una vida útil de 10 anys.

4.4.7. Eòlica elèctrica amb bomba centrífuga submergible en CC o CA.

Descripció del sistema

La principal característica d'una eòlica elèctrica és que té una turbina aerogeneradora capaç de transformar l'energia mecànica del rotor en electricitat. El desenvolupament de les turbines elèctriques delvent que podien generar electricitat va començar en els últims anys 20. Aquestes turbines es van dissenyar per a produir des de pocs watts (per a carregar bateries) fins a alguns megawatts.

L'energia elèctrica generada en la turbina passa per un sistema de control extern i va directe a la bomba. Com que ens trobem davant d'un sistema sense bateries la quantitat d'aigua bombejada és totalment dependent de la quantitat de velocitat del vent.

L'absència de molt pocs elements electrònics transformadors és possible gràcies a què les turbines elèctriques de vent actuals permeten produir electricitat en CC o CA.

Tenen major eficiència de bombament (10%-12%) que els molins de vent tradicionals, en algunes ocasions són fins a dues vegades més eficients. A més, degut a la possibilitat d'usar rotors de major diàmetre, permeten incrementar el volum d'aigua bombejada i augmentar les càrregues.

Aquests sistemes es componen de rotor, aerogenerador, torre, sistema de seguretat i un sistema de control elèctric que optimitza el rendiment de la bomba i

l'aerogenerador. Algunes característiques d'aquests elements:

- Els rotors normalment poden ser d'1, 2 o 3 pales. Amb una sola pala es pot capturar l'energia del vent eficientment, però dues pales s'utilitzen més sovint per a millorar l'equilibri dinàmic. No obstant, les turbines de dues pales experimenten un desequilibri dinàmic quan la màquina del vent canvia la direcció, així que les turbines

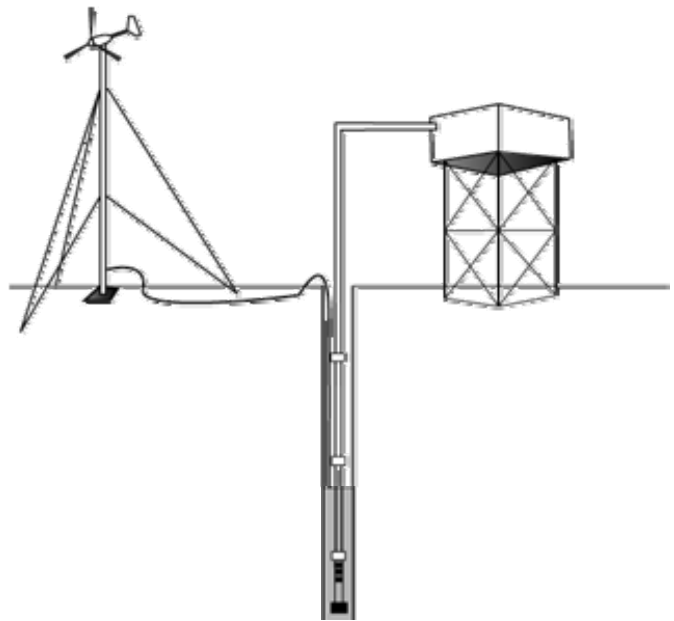


figura 4.24 Representació d'un sistema de bombament eòlico-elèctric



de tres pales són les millors per a una major estabilitat dinàmica.

- El sistema de control extern depèn del tipus de connexió elèctrica aerogenerador/bomba: del tipus de corrent que entrega l'aerogenerador (CA o CC) i del corrent a què treballa l'electrobomba. El cas més comú comercialment és el sistema que empra corrent altern, tant en l'aerogenerador com en l'electrobomba, i el sistema de control només controla la freqüència que imposa l'aerogenerador, a fi d'evitar que l'electrobomba treballi amb baixa velocitat de rotació i, per tant, amb baixa eficiència. Generalment, els controladors limiten aquesta a un mínim d'un 30% de la freqüència nominal.
- Normalment es treballa amb bombes centrífugues submergibles, això permet simplificar la connexió de les turbines de vent amb les bombes d'aigua variant la càrrega elèctricament en lloc de mecànicament (similar a variar la carrera del pistó en els molins de vent).
- Els sistemes d'aerogeneradors sovint estan construïts en torres tubulars (en especial si ens trobem davant de grans turbines) i acostumen a ser més altes que els molins mecànics.

Àmbit d'ús

És adequat per vents mig-alts. Es considera que necessita una velocitat de vent mitjana major que 4 m/s. A més en el bombament d'aigua se'ls considera en competència amb els molins de vent mecànics quan la velocitat mitja es troba entre 5-6 m/s. En aquest cas doncs el règim de vent de la localització és molt més exigent.

Les turbines petites (d'uns 1,5 kilowatts de sortida) requereixen una velocitat de vent mitja de 4-5 m/s per començar a bombejar. Per a les turbines mitges i grans, les velocitats del vent necessiten ser molt més altes per a poder activar el rotor. Per les turbines de vent amb menys d'1 kilowatt de potència de disseny, el rotor pot començar a girar a velocitats de vent més baixes (3-5 m/s).

Una avantatge de les turbines de vent és que poden estar localitzades on es troben els vents més forts i després units al pou amb un cable.

Fiabilitat i Manteniment

Són sistemes bastant fiables però en cas d'avaria el retràs en aconseguir peces noves pot ser considerable. A més la principal problemàtica per a la instal·lació i el manteniment d'aquests sistemes és que es necessita personal especialitzat. Té però menys peces mòbils que els molins de vent tradicionals i això manté els costos de manteniment baixos.



4.4.8. Fotovoltaica directe a bomba de pistó Jack

Descripció del sistema

Els mòduls es connecten directament al regulador de la bomba, sense bateria, i d'allà directament a la bomba de CC. El motor es troba a la superfície i té un contrapès que ajuda a exercir la força cíclica que transmet a la bomba. Alguns dissenys usen diferents ratis d'engrenatge per diferents parts del cicle per optimitzar la cursa del pistó. Els elements que es troben sobre terra acostumen a ser pesats i robustos i la instal·lació és cara.

Els components que es troben en aquest bombament directe són l'array fotovoltaic, el regulador de la bomba i la bomba de pistó Jack en CC.

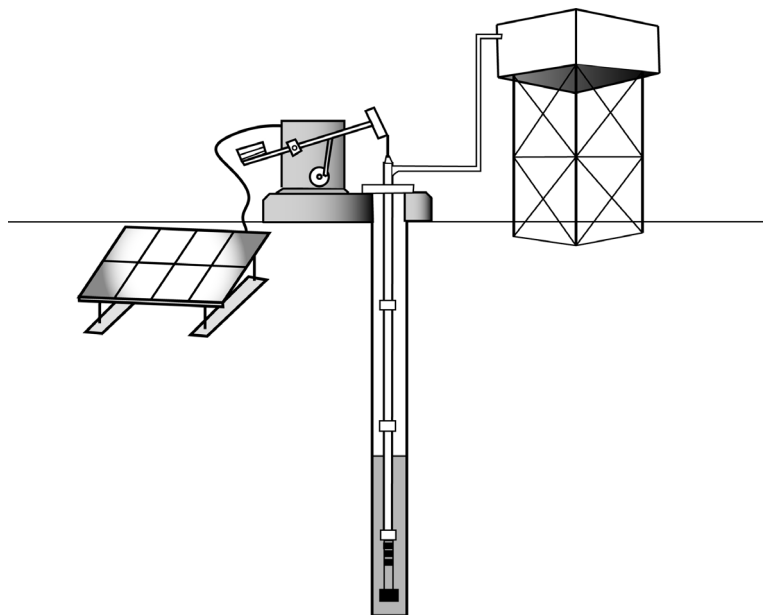


figura 4.25 Representació de bombament fotovoltaic amb bomba de pistó Jack

Àmbit d'ús

Quan es requereixen bombes de pistó tipus jack en una configuració solar és que generalment ens trobem davant d'aplicacions de cabals petits en pous de molta profunditat.

Fiabilitat/Manteniment

La pols s'ha de treure de les plaques dels mòduls de manera regular. A més, els cables, l'estructura del pànel i les cobertes pels components electrònics poden necessitar reparacions puntuals. Gran part del material electrònic està fabricat per a funcionar almenys entre 15 i 20 anys, encara que els convertidors CA/CC i les bombes poden necessitar un manteniment més freqüent.

Gran part del manteniment doncs es pot fer a nivell local, fent especial atenció al paper de la vigilància ja que són aparells fàcils d'endur i que poden ser robats. No obstant, cal que a nivell regional hi hagi prou tècnics especialitzats per si succeeix qualsevol desperfecte imprevist. Aquest sistema és molt fàcil d'instal·lar a nivell de recursos humans però requereix coneixements específics elevats.

Com s'ha vist en els apartats anteriors les bombes Jack són un exemple típic de les bombes

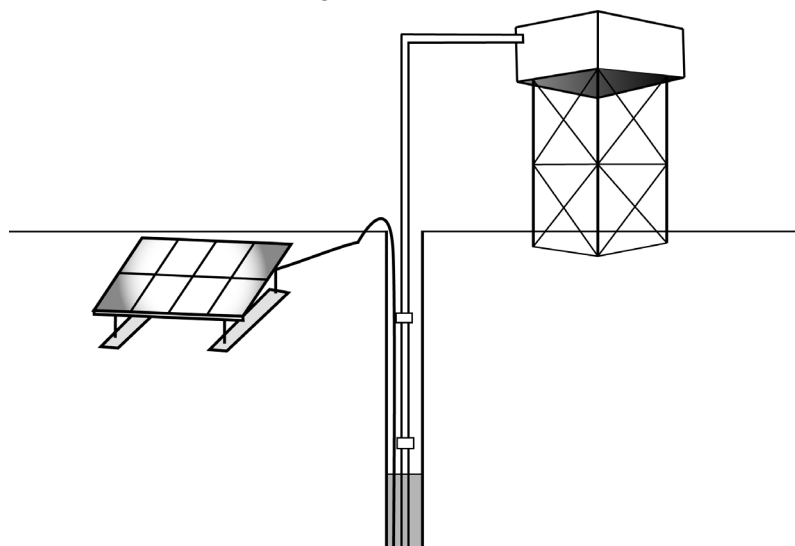


volumètriques que requereixen un manteniment regular ja que el segellament és essencial per conservar la capacitat de la bomba d'impulsar l'aigua. El seu manteniment és semblant al de la bomba de pistó que s'ha vist en els molins tradicionals.

4.4.9. Fotovoltaica directe a bomba centrífuga submergible (en CC o CA)

Descripció del sistema

Aquest és el tipus de configuració fotovoltaica més comú en l'abastament d'aigua. Els mòduls es connecten al regulador de la bomba, sense bateria, i directament al motor de CC o CA, que es troba incorporat a la bomba submergible. En el cas de les bombes de CA també serà necessari un inversor. Així, els components que es troben en aquest bombament directe són el pannel fotovoltaic, el regulador de la bomba, un inversor (si la bomba és en CA) i la bomba submergible.



Àmbit d'ús

Aquesta configuració, com en els casos habituals d'una bomba submergida, es fa servir per cabals mitjos i alçades de mitja alçada.

L'equip més usat acostuma a ser una bomba en CA amb un inversor i un pannel fotovoltaic de menys de 1500 W_p.

figura 4.26 Representació de bombament fotovoltaic amb bomba centrífuga submergible

Fiabilitat / Manteniment

El manteniment del sistema fotovoltaic i de la bomba submergible són els habituals i ja s'han comentat en les anteriors configuracions en què apareix el seu ús respectiu.

4.4.10. Fotovoltaica directe a bomba centrífuga de superfície de succió en CA

Descripció del sistema

Actualment aquesta configuració es troba sobretot en sistemes de rec. Els mòduls es connecten directament al regulador de la bomba, sense bateria, i directament a la bomba de CC. El motor es troba a la superfície i engranat directament a la bomba de succió..



La bomba de succió consisteix en una unitat que uneix la bomba i el motor i està muntada sobre la font d'aigua amb una canonada de succió connectada a la font d'aigua. Cal recordar que l'alçada de succió d'una bomba centrífuga superficial simple es limita a 7 metres en el nivell del mar.

Resumint, els components que trobem en aquest bombament directe són l'array fotovoltaic, el regulador de la bomba, un inversor i la bomba de superfície en CA.

Àmbit d'ús

L'àmbit d'ús és el característic de les bombes centrífugues de succió: fonts d'aigua superficial com ara un llac, un corrent, un canal o un pou poc profund.

Són indicades per a cabals alts i poden arribar a alçades considerables, malgrat només puguin succionar un màxim de 6 metres.

Aquestes bombes no són molt convenientes en llocs on hi hagi perill de glaçades, en aquests casos caldrà fer un petit habitacle a la bomba suficientment arrecerat i aïllat.

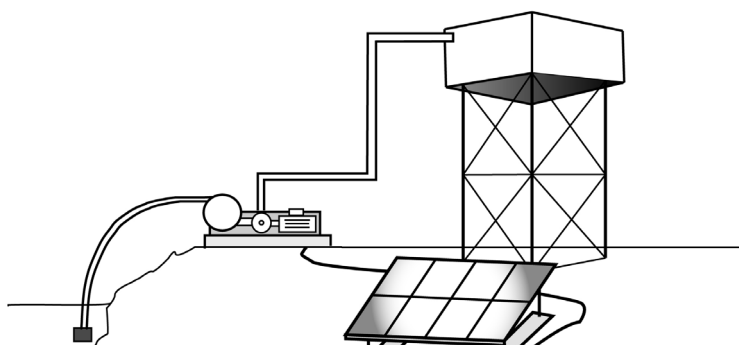


figura 4.27 Representació de bombament fotovoltaic amb bomba centrífuga a succió

Fiabilitat/Manteniment

El manteniment del sistema fotovoltaic són els habituals i ja s'ha comentat en les anteriors configuracions.

El manteniment de la bomba centrífuga és de més fàcil operació i manteniment ja que es pot accedir als components de manera senzilla. El lampista de la comunitat pot realitzar la majoria del manteniment d'aquesta bomba.

4.4.11. Motor dièsel engranat directament a una bomba centrífuga superficial

Descripció del sistema

El motor i la bomba es troben com un sistema compacte en què l'eix del motor dièsel està engranat directament a la bomba centrífuga de superfície. Són bombes que poden ser de molt alta potència.



Àmbit d'ús

Té l'àmbit habitual de les bombes centrífugues (veure apartats anteriors). En aquest cas destacar que engranades directament amb un motor dièsel poden arribar a bombejar cabals alts i aconseguir alçades considerables, malgrat es mantingui el fet de només succionar un màxim de 6 metres.

Fiabilitat/Manteniment

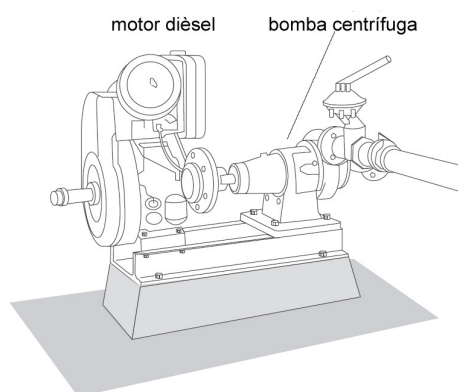


figura 4.28 Motobomba

Un motor dièsel ha de funcionar a càrrec d'una persona formada. A més cada motor té les seves pròpies instruccions de funcionament. Abans d'encendre el motor, els nivells d'aigua de refrigeració, de combustible i d'oli han de ser comprovats i omplerts si es troben baixos. Durant l'operació, el vigilant ha de comprovar el nivell de combustible, la pressió de l'oli i que estigui funcionant la bomba. Algunes peces mòbils poden necessitar ser lubricades manualment. La velocitat del motor també ha de ser comprovada, perquè si és massa baixa el motor tindrà un baix rendiment i el carbó s'acumula ràpidament en ell. Això fa augmentar la freqüència amb la qual el motor necessita ser mantingut.

El motor té un manteniment preventiu segons el nombre

d'hores que ha funcionat. Cada 50 hores, l'embragatge (si n'hi ha) ha de ser engreixat. Cada 250 hores, els filtres han de ser netejats o canviats, l'oli canviat, i les femelles i el tub d'escapament comprovats.

Els motors dièsel requereixen molt manteniment simple i si això es fa bé poden tenir una llarga vida útil. Així doncs la formació i la supervisió són importants. Les tasques i reparacions més complicades de manteniment han de ser fetes per un mecànic ben

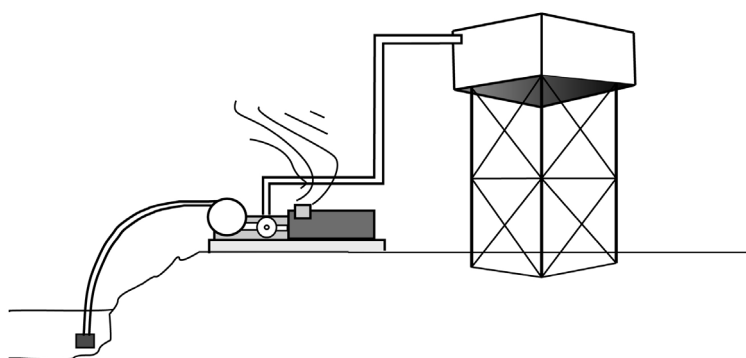


figura 4.29 Representació de bombament dièsel amb bomba centrífuga a succió



ensenyat amb accés a les peces de recanvi .

4.4.12. Generador elèctric dièsel alimentant una bomba centrífuga submergible

Descripció del sistema

El motor i el generador elèctric es troben com un sistema compacte. L'energia produïda en CA és traslladada al fons del pou on s'hi troba la bomba submergible.

Àmbit d'ús

Aquestes bombes submergibles s'utilitzen per a moure volums moderats i grans d'aigua des de pous baixos fins a moderats i profunds.

En aquest cas les bombes sempre treballen a CA i com que estan alimentades pel generador dièsel (capaç de donar molta potència) poden arribar a càrregues i alçades molt elevades.

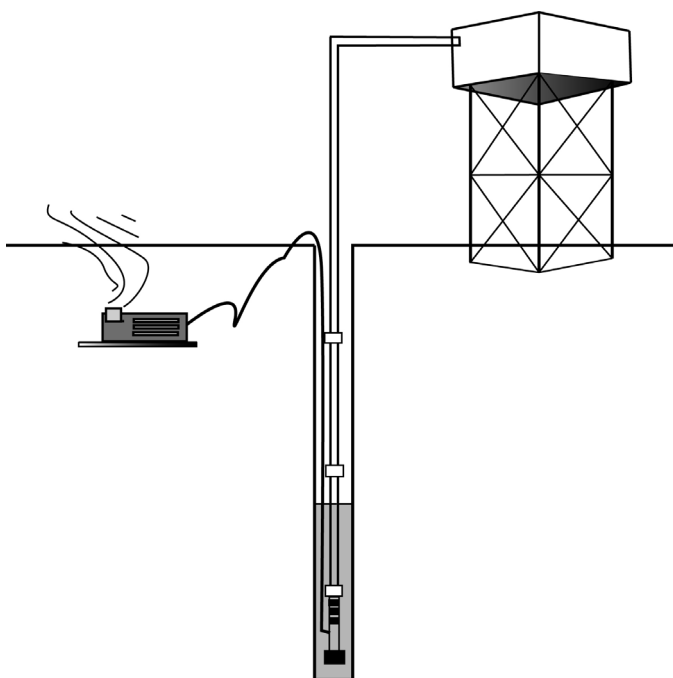


figura 4.30 Representació d'un generador elèctric dièsel amb bomba centrífuga submergible

Fiabilitat/Manteniment

El manteniment del motor dièsel i la bomba submergible tenen les mateixes consideracions fetes que en les configuració anterior en què apareix el seu ús respectiu.

4.4.13. Conclusions

És complicat treure conclusions a nivell comparatiu de tots aquests sistemes sense repetir algunes de les conclusions comentades en els anteriors punts, ja que en bona part aquestes configuracions conserven els punts forts i febles que tenen la seva bomba i la seva font d'energia.

Es pot concloure **que malgrat la dispersió bibliogràfica en aquest àmbit tecnològic, s'ha ordenat els coneixements i s'ha contemplat moltes possibles configuracions a partir de l'ús de diferents bombes i fonts d'energia. A més, s'ha determinat que almenys hi ha 11 sistemes d'impulsió capaços de donar resposta a les necessitats d'aigua de les comunitats rurals aïllades.**





5. Selecció d'un sistema d'impulsió

5.1. Introducció

Tot el coneixement sobre sistemes d'impulsió no serveix de gaire si no sabem per a quines situacions cal usar-ne un o l'altre. En aquest capítol és vol **sintetitzar totes les informacions sobre mètodes de selecció de sistemes trobats a les bibliografies consultades**. El referent de solució d'actuació seran les configuracions de bomba-font d'energia que s'han contemplat en el capítol 4 com a més vàlides i usades en l'actualitat.

Existeixen diverses propostes en les bibliografies consultades a l'hora de recomanar camins per a escollir una tecnologia concreta. Sovint però els estudis no inclouen tot el rang de possibilitats de bombament. Es troben referències de com escollir un sistema eòlic, un sistema fotovoltaic, manual... però es difícil trobar un marc de propostes d'actuació que abasti tots els camps existents. En alguns casos en què aquest sí que existeix, acostuma a estar enfocat de manera simplista, obviant diferents propostes que també poden ser vàlides.

El punt de partida és el coneixement de quins requeriments d'aigua s'ha de donar resposta. Aquests requeriments es poden caracteritzar a partir de la necessitat de cabal diària Q i de l'alçada de bombament H (incloent-hi les pèrdues). L'estimació d'aquests paràmetres dependrà de la dotació per càpita de disseny i de les característiques del transport en la captació, tal hi com es detalla a l'Annex C.

La proposta habitual de tria de sistemes es basa en dos camps:

- **Criteris tècnics:** comprèn totes aquelles decisions que fan referència a trobar una solució capaç de donar resposta als requeriments tècnics demanats (cabal diari, alçada a bombejar, millor ubicació...).
- **Criteris econòmics:** comprèn l'anàlisi econòmic quantitatiu de les possibles solucions tècniques (cost de la inversió inicial, període de retorn, cost del manteniment...).

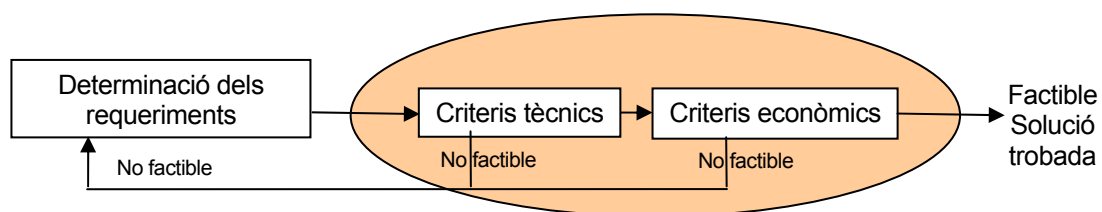


figura 5.1 Visió global del mètode de selecció de sistemes



A partir de la síntesi de les bibliografies existents s'espera desenvolupar **una eina que permeti seleccionar un sistema de manera prèvia al càlcul acurat de components tècnics i econòmics**. El seu ús va enfocat a l'ajuda d'aquelles persones que necessiten uns primers criteris per a enfocar una primera proposta de solució. Les informacions necessàries que es requereixin doncs no podran ser catàlegs tècnics ni pressupostos detallats ja que no complirien la rapidesa demanada. Les fonts d'informació usades seran estimacions globals, sovint extretes de l'experiència de projectes semblants.

5.2. Criteris tècnics

5.2.1. Introducció

Per a poder avaluar la viabilitat tècnica de manera global caldrà tenir informació de les energies disponibles de l'entorn:

- velocitat mitjana del vent (\bar{v})
- irradiància diària (G)
- possibilitat d'abastament de combustible.

A l'Annex C es detallen algunes formes d'obtenir aquestes dades i com es dimensionaria cada tipus de sistema en cas que es volgués implementar. En primera instància però aquests coneixements no ens seran necessaris, malgrat el seu coneixement és molt recomanable.

Per poder establir els criteris tècnics cal definir en quines condicions una tecnologia és apte per a donar solució als requeriments demanats. Com sempre que es marca una frontera de disseny aquesta és una decisió fins a cert punt arbitrària, no obstant conèixer-les ens ajuda a entendre millor les possibilitats de cada alternativa.

5.2.2. Condicions d'aptitud tècnica

El resultat esperat d'aquestes condicions d'aptitud tècnica és delimitar la capacitat que tenen els sistemes per donar resposta als requeriments.

Hi haurà dos passos principals que ens encaminaran en la decisió tècnica:

- **Determinació del Producte Volum Càrrega (PVC):** ens acotará el tipus de font d'energia.
- **Determinació de l'alçada i el cabal:** ens determinarà el tipus de bomba a usar.

El **Producte Volum Càrrega (PVC)** és el producte del cabal per l'alçada de bombament ($m^3 \cdot m/\text{dia}$ o a vegades m^4/dia). Aquesta magnitud ens ofereix una estimació de l'energia requerida. Es farà servir perquè, malgrat tenir poc rigor científic, és una de les unitats més usades, sobretot en la bibliografia d'origen nord-americà.



La primera decisió a prendre ens encaminarà cap a quina font d'energia és apte per complir els requeriments demanats. Per tal de facilitar la posterior consulta s'estudiaran les condicions segons la font d'energia.

5.2.2.1. Humana (bombes manuals)

Les bombes manuals són ideals per a famílies aïllades, bàsicament perquè només són capaces d'assumir un PVC baix. Tot i això, a zones amb una dotació per càpita molt baixa poden arribar a servir a 1000 persones. L'informe del banc mundial [5] en limita la seva càrrega a **250 m⁴/dia**.

Les bombes manuals operen millor a profunditats baixes (menys de 15 metres) i la dificultat i esforç físic creix a profunditats més altes. La proposta més usual, refermada per [6] recomana:

- **Bomba manual de diafragma:** 10 - 70 m.
- **Bomba manual de pistó a succió:** 0 - 6 m.
- **Bomba manual de pistó tipus Jack:** 15 - 100 m (tot i que no es recomana passar dels 45 metres).

De tota manera, si la decisió s'encamina clarament cap a la bomba manual, val la pena consultar la principal referència existent, que és l'estudi sobre bombes manuals del banc mundial [7]. Aquí s'hi pot trobar les principals bombes existents estudiades al detall i amb una proposta de mètode de selecció.

5.2.2.2. Eòlica

L'eòlica acostuma a ser la primera opció en les regions ventoses (com ara a prop de llacs i grans esplanades). En llocs amb velocitats mitjanes de vent inferiors a 2 m/s ja no es planteja la ubicació d'aquests aparells.

El **bombament eòlic mecànic** està dissenyat per començar a bombejar a baixes velocitats (2,5 - 3,5 m/s) i molts d'ells aconseguen el rendiment màxim entre 6-9 m/s, a partir de 10 m/s el rendiment baixa. Acostumem a trobar-los en tres tipus:

Tipus d'aerobomba	Velocitat d'arrancada
lleugers	2-3 m/s
mitjans	3-4 m/s
pesats	4-5 m/s.

Taula 5.1 Tipus d'aerobomba

Les **turbines elèctriques** requereixen altes velocitats de vent per començar a bombejar. Les turbines petites (sobre els 1,5 kW de potència nominal) requereixen una velocitat mitjana de vent de 4-5 m/s per començar a bombejar. Per turbines mitjanes i pesades, el vent ha de ser



molt més fort per poder començar a fer girar el rotor. Per petites turbines inferiors a 1 kW de potència nominal el rotor pot començar a girar a velocitats més petites (3–5 m/s).

En la figura 5.2 (amb una distribució de Weibull de $k=2$) s'analitzen alguns dels sistemes eòlics més comuns, tan mecànics (els models Aeromotor, els Dempster i els Dutch Delta) com elèctrics (model Bergey d'1,5 kW per diferents alçades). Veiem que el rang de PVC és molt variable segons la velocitat del vent. En el gràfic s'observa que en els models estudiats el PVC màxim dels molins mecànics es troba entre **400 i 900 $m^3 \cdot m/dia$** i el dels elèctrics (de fins a 1,5 kW) per **sota de 2200 $m^3 \cdot m/dia$** .

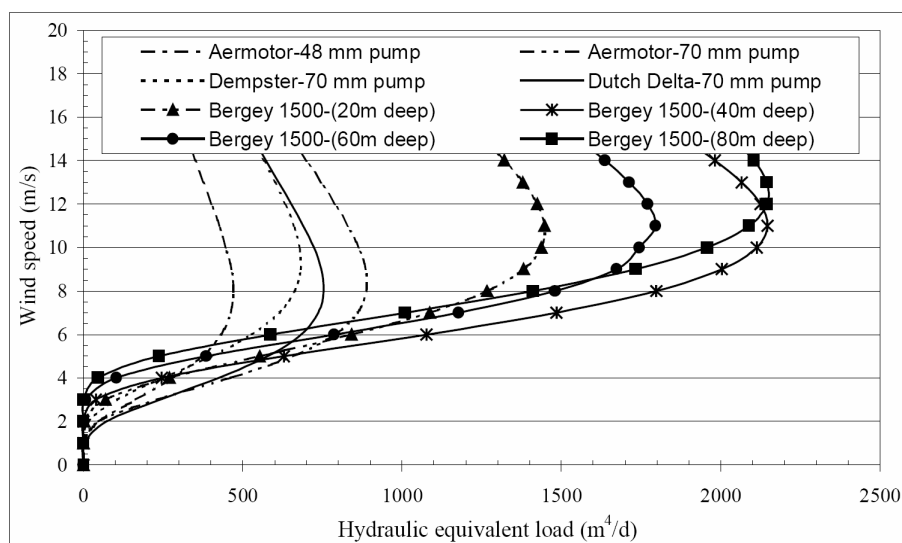


figura 5.2 Variació del PVC segons la velocitat del vent en diferents màquines eòliques. Font [7]

Aquests valors però no volen dir que no es puguin obtenir PVC majors ja si s'augmenta l'àrea del rotor la potència de la màquina augmenta de manera proporcional i això proporciona un gran rang de cabals i alçades. No obstant, està bé tenir en compte aquestes dades per tenir un ordre de magnitud.

A [5] es recomana que amb una velocitat de menys de 6 m/s es descarti l'opció del bombament elèctric. En la figura 5.3 s'observa quin és el rang d'ús del bombament eòlic amb la velocitat del vent de 6 m/s i també a quin rang d'alçades i cabals es recomana cada tipus de bomba.



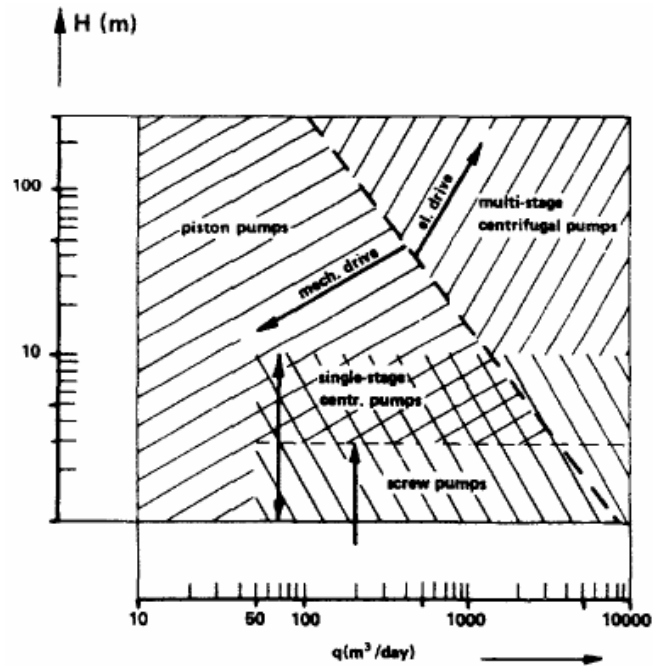


figura 5.3 Indicacions de sistemes èolics per una velocitat de vent de 6 m/s. Font [5]

L'opció d'èolica elèctrica però és factible tècnicament a velocitats de vent inferiors, tot i que s'acostuma a descartar pel seu elevat cost. En la figura 5.4 s'observa com queda definit el rang d'actuació segons els requeriments demanats.

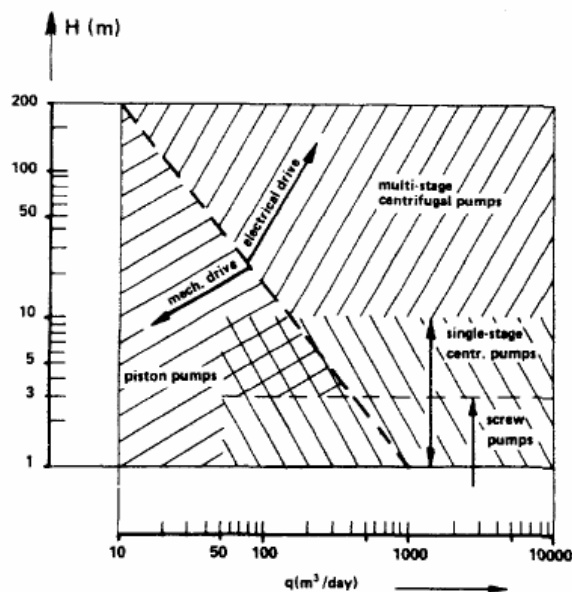


figura 5.4 Indicacions de sistemes èolics per una velocitat de vent de 3 m/s. Font [5]

5.2.2.3. Fotovoltaica

El sistema fotovoltaic és sobretot adequat per a regions assolellades (zones tropicals, àrides, i semiàrides), on l'energia solar és abundant. A [4] s'indica que és necessita com a mínim una



radiació més gran que 3 KW·h/dia per fer factible aquest sistema. També recomana:

- l'ús de bombes en corrent altern (CA) per a càrregues de fins a 1500 m³·m/dia
- l'ús de bombes en corrent continu (CC) per aplicacions de menys de 600 m³·m/dia.

La figura 5.5, compartida pels criteris de [13], ens indica quin tipus de bomba solar usar segons els requeriments demanats. És necessari l'ús d'aquest gràfic i no d'altres genèrics perquè en ell es reflexa la realitat particular de les bombes solars, que degut a les característiques de la seva alimentació són capaces de bombejar menys cabal i a menys alçada que les genèriques del mercat. Això no vol dir però que la majoria de bombes de mercat no puguin funcionar amb energia fotovoltaica, però sí que no serà el més habitual.

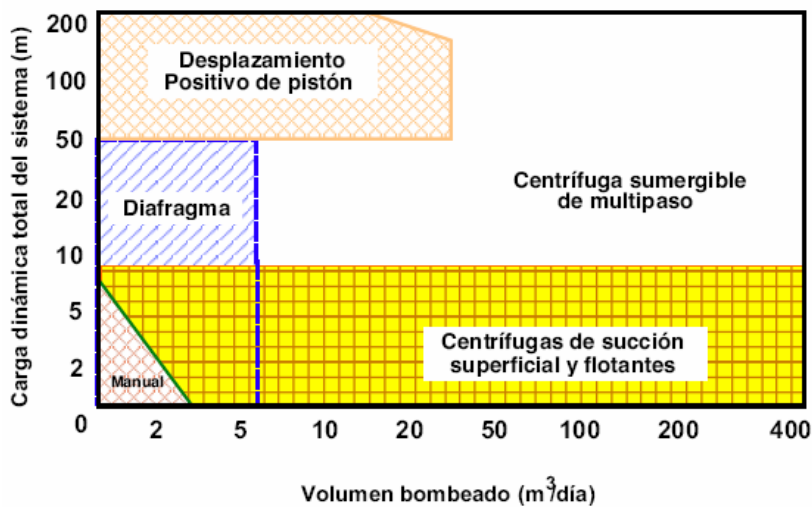


figura 5.5 Intervalos comuns on s'aplica diferents tipus de bombes solars. Font 0

En la figura 5.6 i la figura 5.7 es mostren gràfics lleugerament diferents on s'hi inclouen els altres tipus de bomba no comentats en aquest estudi però que poden resultar d'interès per a casos molt concrets.

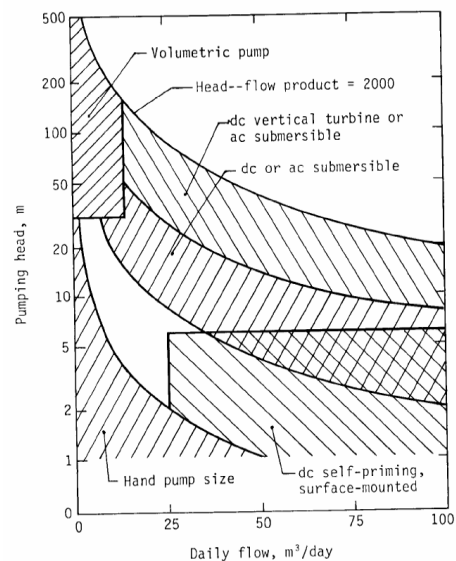


figura 5.6 Bombes solars Font [11]



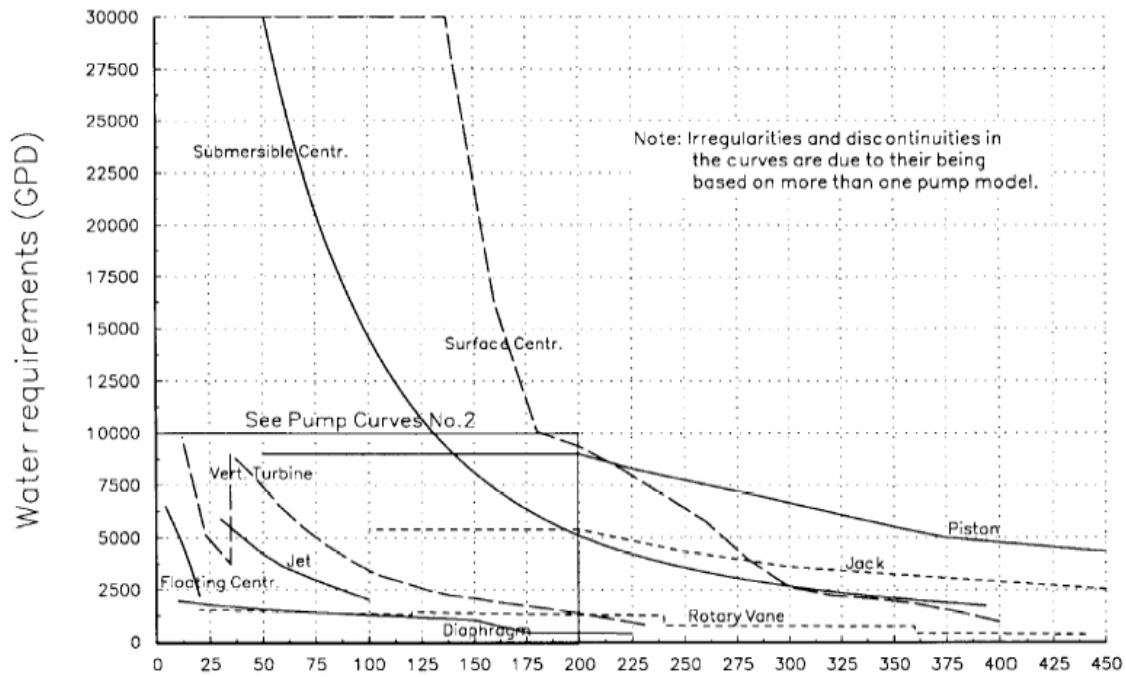


figura 5.7 Bombes solars. Font [14]

5.2.2.4. Dièsel

Els sistemes dièsel tenen un rang enorme de possibilitats de complir els requeriments ja que són els sistemes capaços de donar més PVC. La seva aplicació s'acostuma a reservar a consums grans ja que el seu ús diari (combustible, reparacions) suposa una inversió important.

A l'hora de triar la bomba es seguirà el següent criteri:

- Bomba centrífuga a succió directament engranada al motor en cas que l'alçada de succió sigui inferior a 6 metres.
- Bomba connectada al generador elèctric dièsel en cas que l'alçada de bombeig requereixi una bomba submergible.

5.2.3. Conclusions

Totes aquestes informacions i dades són de difícil anàlisi sense una comparació entre elles. Per a poder fer un anàlisi que serveixi a l'hora de prendre decisions s'estructurarà un sistema de decisió en forma d'esquema de blocs.

Per a l'elaboració del mateix s'extrauran les condicions d'aptitud més usuals de tots els sistemes, anomenades a l'apartat anterior, i es farà referència a alguns dels gràfics de bombes mostrats.



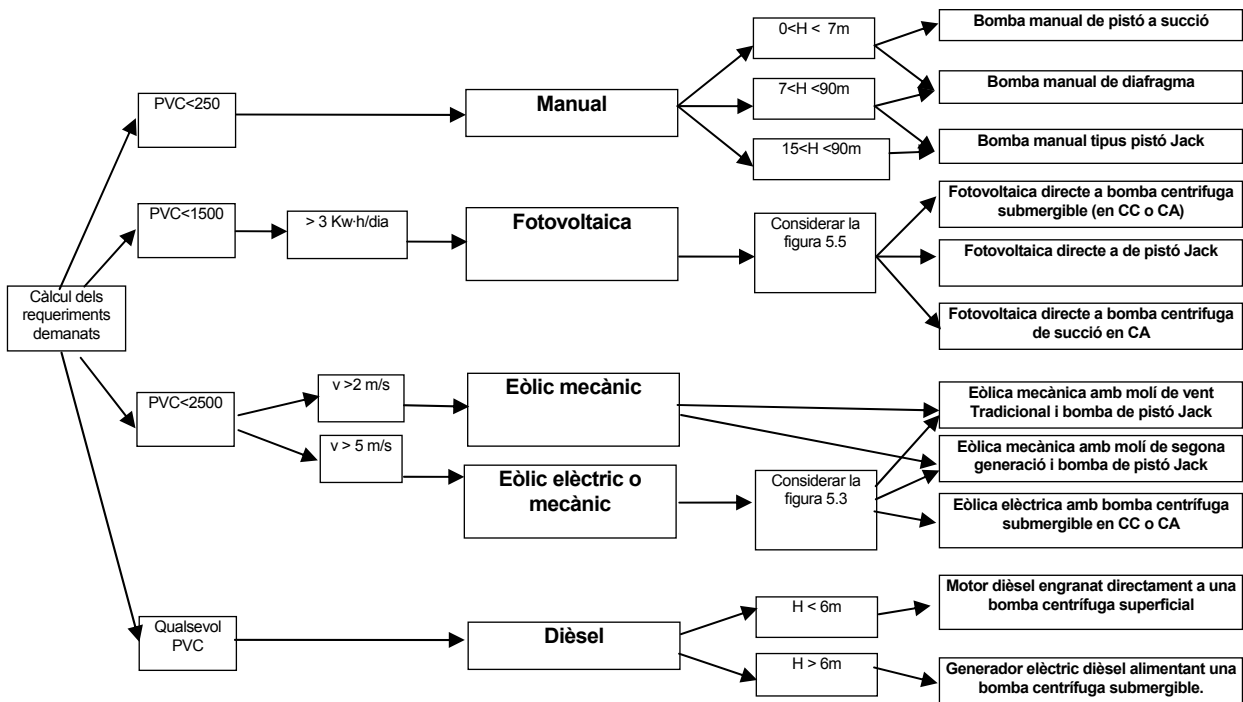


figura 5.8 Esquema de blocs síntesi de les condicions d'aptitud tècnica.

5.3. Criteris econòmics

5.3.1. Introducció

En aquest apartat s'haurà de tenir en compte dues coses:

- Quin sistema ens resulta més rentable.
- Quin sistema ens permet assumir el seu cost d'adquisició.

Caldrà plantejar-se ambdues coses però el finançament del cost d'adquisició serà la que ens en farà descartar alguna alternativa directament.

En el cas d'haver-se decidit ja per molt poques opcions caldrà fer un estudi en profunditat. S'haurà de demanar pressupost del cost de la inversió inicial i estimar les despeses anuals i l'amortització. A partir d'aquestes dades caldrà analitzar quina presenta millors avantatges amb els paràmetres característics de comparació d'inversions: cost del cycle de vida, VAN, rati de quota de retorn, benefici net, comparacions anual de costs, període de retorn...

Sovint però la decisió és entre diverses opcions i es fa necessari saber en una primera instància quins costs i rendiments comportarà cada solució. En aquesta situació el més pràctic és comparar els balanços que han comportat d'altres projectes semblants. Per fer això es prendran com a referència les dades de l'estudi realitzat per l'Agència de l'Energia Renovable dels EUA



[8] i les dades de l'estudi realitzat per l'OMS [6].

5.3.2. Paràmetres d'estimació econòmica

De manera semblant a les condicions d'aptitud tècnica, aquests paràmetres tenen la funció de marcar uns certs valors que reflecteixin de manera general la realitat econòmica de cada sistema.

Es faran servir sobretot dos paràmetres:

- **Cost inicial en \$ del sistema.** A [6] es fa un estudi que reflexa el cost inicial en dòlars americans que pot comportar instal·lar cada solució. Aquest valor és el que ens ajudarà a fer un balanç sobre la viabilitat de poder finançar el sistema.
- **Cost de l'aigua en \$/m³.** A [8] es fa una anàlisi econòmica en profunditat de diversos sistemes. Parteix de diferents configuracions d'impulsió disponibles al mercat (bàsicament les més usades i representatives) i en calcula el cost de vida. El cost de vida és el cost total que suposa el sistema: des de la inversió inicial, passant pel personal de manteniment i el cost dels recanvis de les peces fins que el sistema es dona per inservible. Posteriorment analitza el cabal que extreu en diferents circumstàncies i en fa un reflex en \$/m³.

Ambdós paràmetres ens ajudaran a seleccionar l'opció més interessant. No obstant els valors s'han de prendre com a ordres de magnitud. La fluctuació dels preus, l'avanç de la tecnologia (sobretot dels aerogeneradors i de les aplicacions fotovoltaïques) i el gran rang de fabricants locals a diferents països fa que l'ideal sigui estudiar el mercat de cada zona amb atenció per conèixer com està la situació de fabricants, preus i productes.

A més d'aquestes dos paràmetres també s'inclouran dins d'aquests paràmetres, si és necessari, una **recomanació tècnico-econòmica**. Tot i que hi ha molts sistemes tècnicament viables molts cops el preu els fa descartar pel seu alt cost. Una certa valoració en aquest sentit ja s'ha realitzat en els criteris tècnics, en aquest cas el que es vol és acotar més per aclarir que el problema és econòmic i no tècnic, deixant la porta oberta en cas de no trobar més solució.

5.3.2.1. Humana (bombes manuals)

El **cost d'adquisició** de les bombes amb pistó de succió oscil·la entre 100 i 900 US\$, i les més usades a nivell de comunitat acostumen a costar uns 175 US\$. Les bombes de diafragma típiques acostumen a costar uns 860 US\$ i estan fetes per funcionar a uns 30 m. Les bombes manuals de pistó submergit Jack costen entre uns 300-500\$. A la figura 5.9 es compara el cost de les bombes manuals amb d'altres bombes i tecnologies. S'observa que tot i donar un servei pitjor el seu cost és ostensiblement més baix que d'altres sistemes.



Comparación indicativa de los costos de las bombas		
Bombas manuales	Bomba de succión (Nepal No. 6)	0.3
	Tara	0.9
	Nira	1.4
	India Mark II	1.0
	India Mark III	1.3
	Afridev	1.4
	Mark II Extra Deep Well	1.7
	Volanta	10.0
Bombas motorizadas	Bomba eléctrica de chorro	2 a 10
	Ariete hidráulico	3 a 15
	Eléctrica sumergible	8 a 10
	Bomba de émbolo diesel	10 a 25
	Bomba de molino de viento	15 a 100
	Solar (Fotovoltaica)	50 a 175
	El dato de referencia de 1.0 es la bomba manual India Mark II con columna montante de 30 m a 175 dólares (precio FOB Bombay) en 1996. Aunque los precios están sujetos a cambios constantes, las relaciones indicativas permanecen más o menos iguales.	

figura 5.9 Comparació del cost de les bombes manuals respecte a d'altres sistemes. Font [10]

En termes **de \$/m³ no s'ha trobat informació**. Tot i això degut a la seva baixa inversió i al seu manteniment barat s'entén que en competència amb altres tecnologies el seu preu és ostensiblement inferior. En general el factor econòmic no serà el que ens impedeixi escollir bombes manuals davant d'un altre sistema.

Per a poder tenir una idea aproximada del cost de l'aigua es poden fer uns calculs aproximats a partir de les dades que es disposen. Aquesta informació, a diferència de les altres, no està contrastada per cap organisme reconegut com l'OMS ni l'Agència de l'Energia dels EUA, el seu significat s'ha de prendre amb cautela.

Dades aproximades de la Bomba Indian Mark:

- C_i Cost inicial 175\$
- $C_{\text{manteniment}}$ Manteniment anual 75\$
- N_{vida} Vida útil 5 anys
- PVC 150 m³·m/dia
- A Amortització 40\$/any

Calculem el cabal per una alçada de 30 m:

$$Q = \frac{150m^3 \cdot m}{30m} = 5m^3 / dia = 1825m^3 / any \quad \text{equació 5.1}$$

Es pot fer una aproximació del factor C_{aigua} (\$/m³).

$$C_{\text{aigua}} = \frac{C_i + (C_{\text{manteniment}} + A) \cdot N_{\text{vida}}}{Q \cdot N_{\text{vida}}} = \frac{175\$ + (75\$ / any + 40\$ / any) \cdot 5 \cdot any}{1825m^3 / any \cdot 5 \cdot any} = 0,08\$ / m^3 \quad \text{equació 5.2}$$



5.3.2.2. Eòlica

El cost inicial d'un sistema eòlic ve determinat sobretot per l'àrea del rotor, que és la principal despesa. Un rotor multipala (mecànic) acostuma a costar uns US\$ 200–700 per m². Els preus poden ser més elevats si parlem d'aerobombes sofisticades però també poden moure's per la banda baixa si busquem aerobombes de segona generació amb rotors i estructures més lleugeres que no requereixin peces de fonsa. En el cas de les aerobombes elèctriques el preu per aerogeneradors petits (menys de 1,5 kW) es pot aproximar a uns 2600 \$ per kW.

Per a calcular de manera aproximada el cost caldrà tenir una idea del rotor necessari i de la potència requerida. A l'Annex C se'n detalla el càlcul, a continuació però es mostra les equacions bàsiques per aquests càlculs a partir del cabal requerit i la velocitat del vent mitjana.

Pel càlcul del rotor:

$$D = \sqrt{\frac{C \cdot H \cdot q}{(\bar{v})^3 \cdot FPE}} \quad \text{equació 5.3}$$

on:

q = cabal bombejat (m³/dia)

H = alçada de bombament (m)

FPE = Factor Patró d'Energia (Annex C)

\bar{v} = velocitat mitjana de vent (m/s)

i el coeficient C és:

$$C = \frac{4 \cdot \rho_w \cdot g}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot \eta \cdot \pi} \quad \text{equació 5.4}$$

on:

$\rho_{aigua} = 1000 \text{ Kg/m}^3$

g = 9,81 m/s²

$\rho_{aire} = 1,225 \text{ Kg/m}^3$

n = 8% per mecànica i 12 % per elèctrica

S'acostuma a usar un coeficient de C= 3,01 per calcular rotors mecànics (multipala) i C= 2 per aerogeneradors. En el cas dels aerogeneradors necessitarem saber l'energia elèctrica demanada al generador:

$$P_e = \frac{P_h}{\eta} = \frac{\rho_w \cdot g \cdot H \cdot q}{0.12} \quad \text{equació 5.5}$$

Per a l'establiment del cost inicial doncs:

- Eòlica mecànica:

$$Cost_i = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 500\$ \quad \text{equació 5.6}$$

- Eòlica elèctrica

$$Cost_i = P_e \cdot 2600\$ \quad \text{equació 5.7}$$

En la figura 5.10 següent s'observa com varia el preu del metre cúbic segons la força del vent.



En una zona amb cops de vent llargs (no velocitat mitjana) de més de 3 m/s l'aigua pot costar fàcilment menys d'1 \$/m³ amb un sistema mecànic. Els sistemes elèctrics poden arribar a costar menys de 0,1 \$/m³ quan la velocitat de vent supera els 8 m/s.

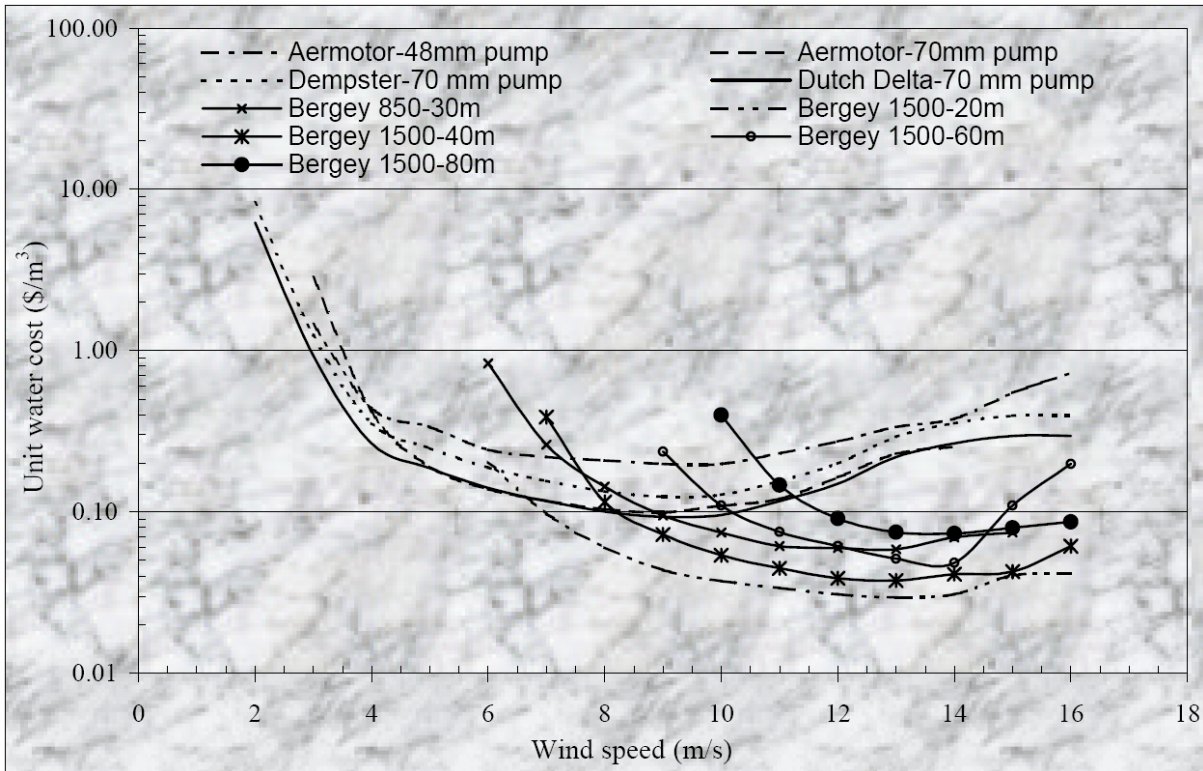


figura 5.10 Anàlisi del preu de l'aigua segons el vent a partir de diferents sistemes eòlics. Font [9]

Per fer una estimació del cost inicial farem servir les dades d'aquesta taula, les dades però s'hauran de comprovar en la figura 5.2 per assegurar que la màquina que es contempla es capaç de donar el PVC necessari.

5.3.2.3. Fotovoltaica

El rang de preus solars pel que fa a sistemes complets és molt ampli. S'hi troben des d'un sistema molt petit que alimenta una bomba de 30W que pot costar uns 1000 \$ fins a sistemes grans i complets que poden costar \$ 50 000.

En la figura 5.11 de s'analitza el cost en relació al PVC requerit. Es

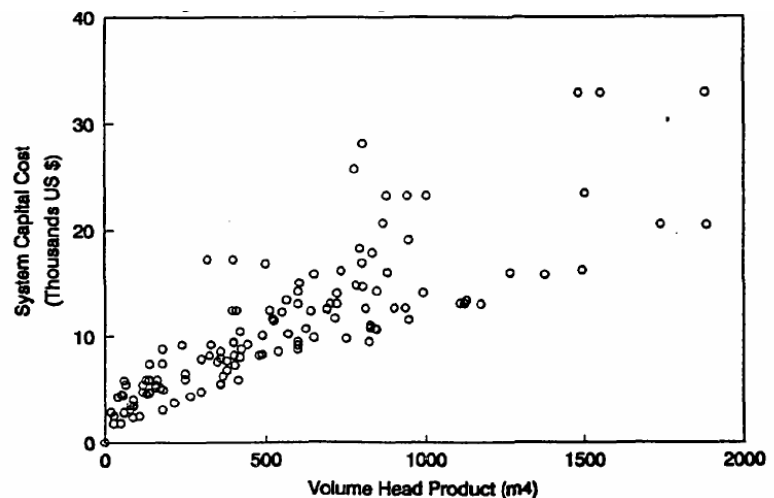


figura 5.11 Cost inicial segons el PVC. Font [8]



pot observar una certa progressió i relació entre el PVC i la inversió inicial que es pot aproximar a uns 2000 \$ per cada 100 m³·m de PVC.

En la Taula 5.2 es proposa un altre tipus de càlcul per a l'estimació del cost inicial en el que hi influeix el tipus de bomba emprada.

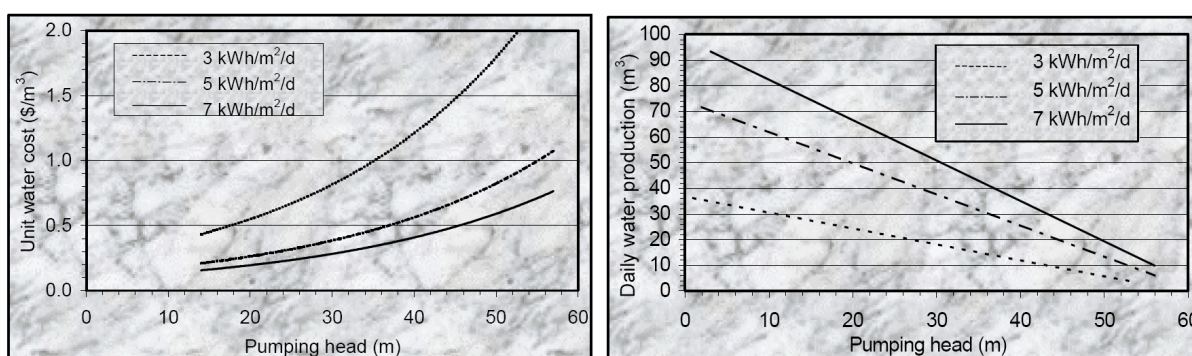
Tipus de bomba	Preu segons el PVC
Centrifuga submergible	20 – 50 \$/m ³ ·m per sota de 400 m ³ ·m
	10 – 25 \$/m ³ ·m per sobre de 400 m ³ ·m
Centrifuga a succió	25 - 55 \$/m ³ ·m per sota de 200 m ³ ·m
	10 – 25 \$/m ³ ·m per sobre de 200 m ³ ·m
Bomba pistó Jack	18 – 30 \$/m ³ ·m per sota de 400 m ³ ·m
	15 – 20 \$/m ³ ·m per sobre de 400 m ³ ·m

Taula 5.2 Preu del sistema segons el tipus de bomba. Font [11]

Per fer una estimació **del cost inicial farem servir les dades d'aquesta taula**, és a dir a partir del coneixement dels m⁴, ja que acota una mica més el cost segons el tipus de sistema. Farem:

$$Cost_i = Valortaula \cdot PVC_{requerit} (m^3) \quad \text{equació 5.8}$$

En la figura 5.12 a partir de l'anàlisi de 7 sistemes fotovoltaics per diferents irradiacions (3, 5 i 7 kWh/m²/d) es reflecteix la influència de la irradiació en el preu del metre cúbic d'aigua. De manera pràctica es pot estimar que el cost de l'aigua és d'una mitja d'1 \$/m³ per una irradiació de 3 kWh/m²/d, a 0,5 \$/m³ per 5 kWh/m²/d i 0,3 \$/m³ per 7 kWh/m²/d. No obstant la consulta d'aquest gràfic ajudarà a donar una idea més fidel del seu preu.



a) Unit cost versus pumping head.

b) Daily water production versus pumping head.

figura 5.12 Cost de l'aigua segons l'alçada i la irradiància. Font [9]



5.3.2.4. Dièsel

Malgrat a vegades es pot mostrar com a única solució vàlida la seva instal·lació es recomana, a nivell tecnico-econòmic [8] per a demandes amb un PVC major de 1500 m⁴/dia.

La inversió inicial pot anar des de els US\$ 300 per kW per motors de 25 kW fins a US\$ 600 per kW per motors de 2 kW.

A [4] s'estableix com a **eficiència estàndard d'aquests sistemes un 7%**. Així

$$P_e = \frac{P_h}{\eta} = \frac{\rho_w \cdot g \cdot H \cdot q}{0.07} \quad \text{equació 5.9}$$

Pel càlcul del cost inicial es pot estimar un preu mig de 500\$/Kw i aproximar::

$$Cost_i = P_e \cdot 500\$ \quad \text{equació 5.10}$$

Segons la figura 5.13 el metre cúbic d'aigua costaria a partir de 1500 m³·m/dia uns 0,60 \$ de manera més o menys constant, degut a l'elevada potència d'aquest sistema. Aquest estudi però data de 1998 i no contempla la forta pujada de preus del últims 8 anys.

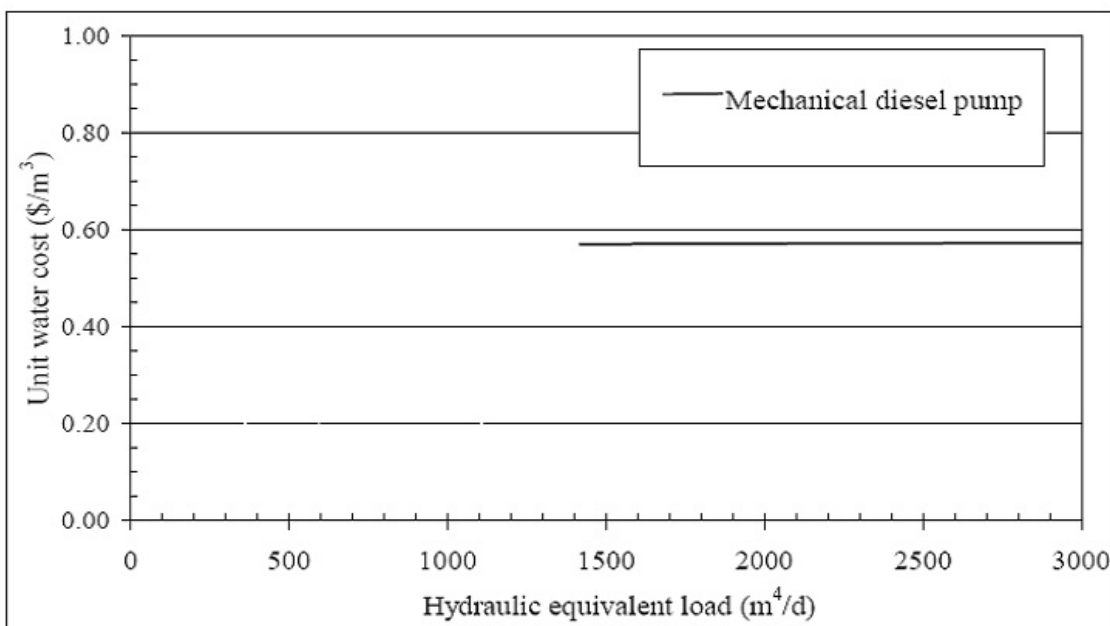


figura 5.13 Cost del m³ d'aigua dels sistemes dièsel. Font [8]

5.3.3. Conclusions

De la mateixa manera que hem fet abans amb els criteris tècnics, per tal de facilitar el procés de



raonament expressem en forma de diagrama de blocs el procediment a seguir en l'avaluació dels criteris econòmics.

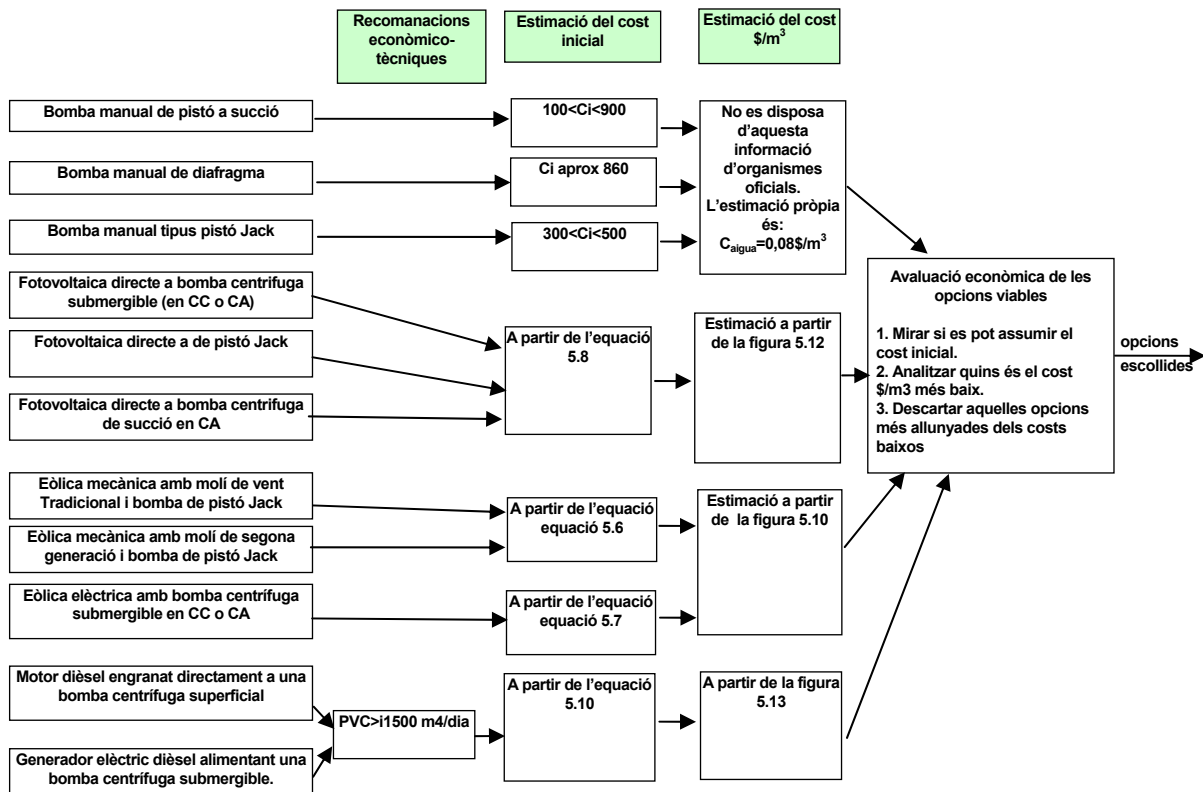


figura 5.14 Esquema de blocs síntesi dels paràmetres d'estimació econòmica.

5.4. Conclusions

5.4.1. Visió global del mètode

Alguns manuals com ara [4] acaben proposant una sola gràfica que indica amb quin tipus de recurs hem de treballar (figura 5.15). De vegades però la realitat no imposa solucions tan evidents i per això en aquest sistema de tria es vol diferenciar el que és tècnicament viable i coherent amb l'econòmicament recomanable.

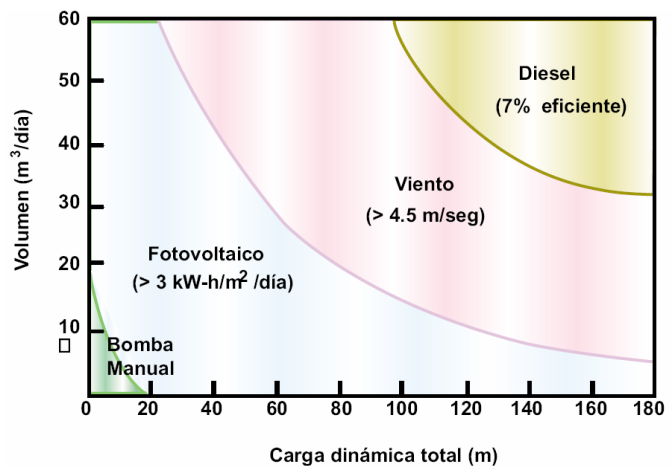


figura 5.15 Proposta simple de selecció. Font [4]

A continuació es mostra la figura 5.16 que engloba els criteris tècnics i econòmics en un sol diagrama:



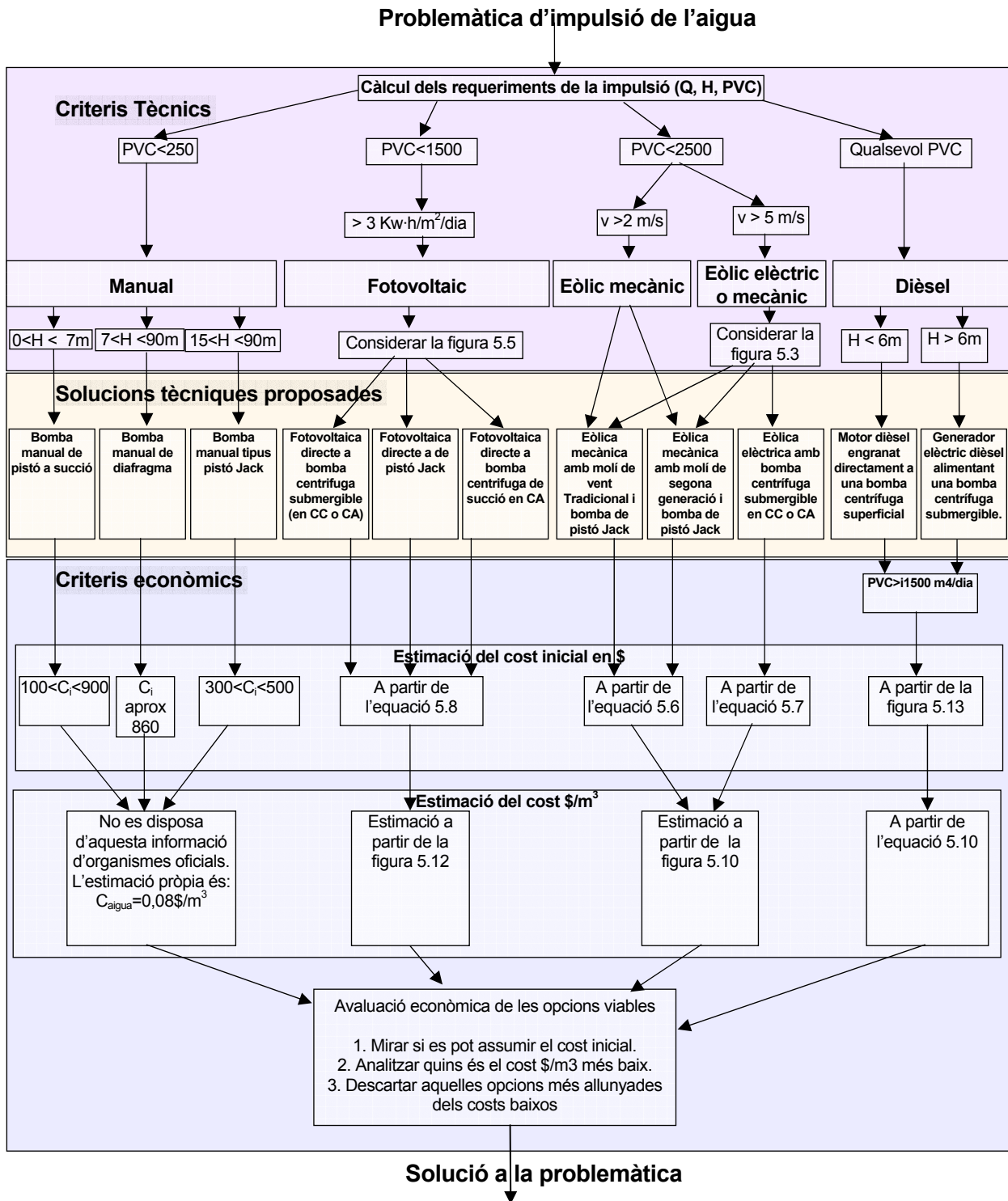


figura 5.16 Esquema de la síntesi de mètodes de presa de decisió desenvolupat.

El diagrama de blocs obtingut és molt més complet que la informació que es troba a les bibliografies usualment. A més les solucions a les que fa referència han estat descrites amb



anterioritat de manera que quan es parla d'elles es pot conèixer en detall quin tipus de solució es proposa.

Es pot concloure que **a partir de múltiples fonts d'informació s'ha definit uns criteris tècnics i econòmics per a la presa de decisions en la selecció de sistemes. Amb aquests criteris s'ha aconseguit desenvolupar una eina capaç de seleccionar els sistemes d'impulsió que poden donar resposta als requeriments d'aigua plantejats.**

5.4.2. Problemes detectats del mètode

Malgrat millorar els models existents s'han detectat dos problemes:

- Es complicat arribar a una sola solució **perquè hi ha zones d'incertesa en què varies tecnologies estan en franca competència.**
- No contempla els aspectes del marc d'actuació ja que **no s'avalua la sostenibilitat, la idoneïtat social i l'impacte mediambiental dels sistemes.**

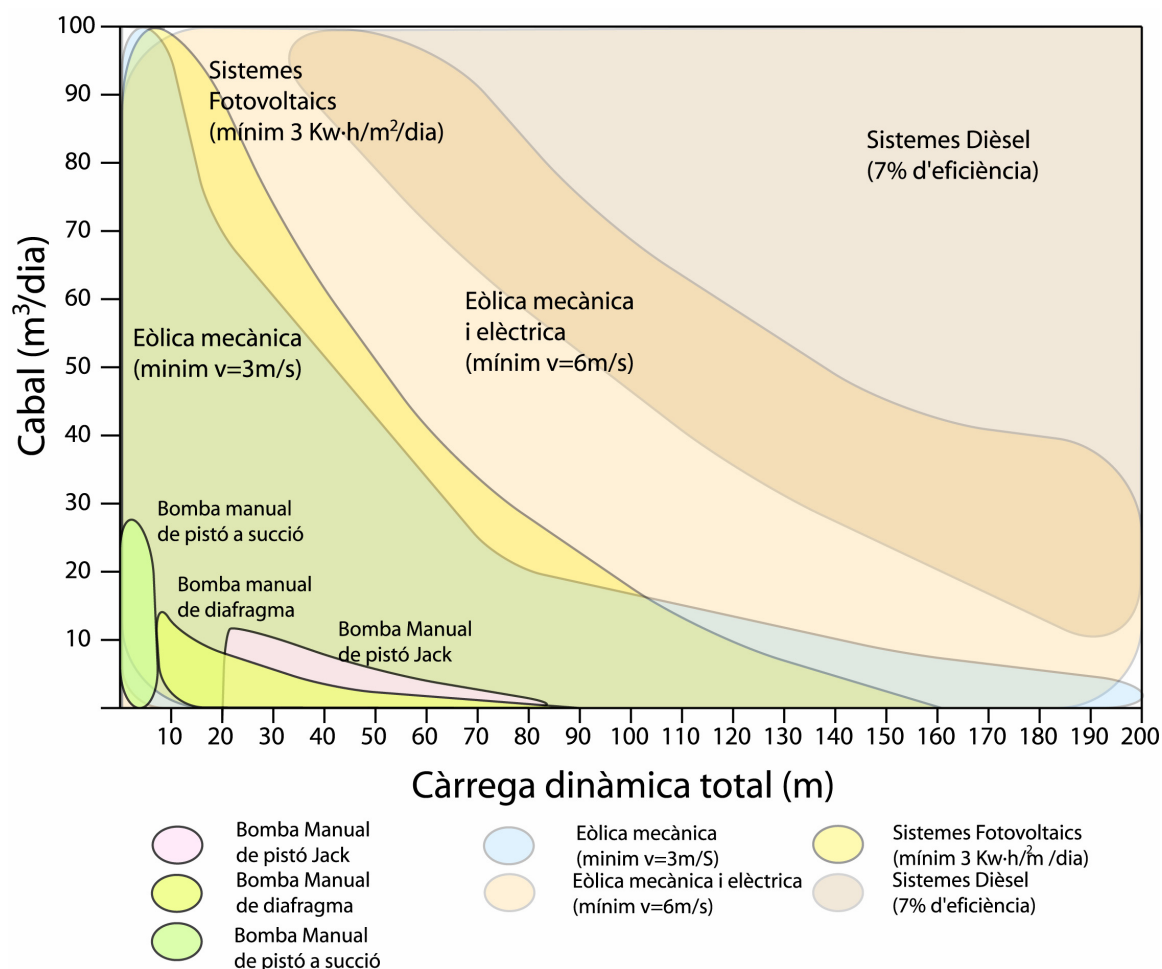


figura 5.17 Àmbits de possibles solucions tècniques



És complicat delimitar totes les **zones d'incertesa** en què ens podem trobar ja que el nombre de combinacions entre requeriments i energies disponibles és molt gran. En la figura 5.17 s'ha volgut mostrar com es solapen molts dels sistemes factibles en cas que l'economia no sigui un factor determinant. Com es veu són moltes i de diferents naturaleses (manual-fotovoltaica, eòlica-dièsel...)

Pel que respecta a la **falta d'avaluació de la repercussió del sistema en termes no tècnics ni econòmics** és una carència important. Un projecte de cooperació pot esdevenir un fracàs si la comunitat beneficiària no sap mantenir-lo, esdevé un contaminant de risc o no aporta prou avantatges respecte els sistema usat anteriorment.

Així doncs amb els criteris tècnics i econòmics sovint no n'hi ha prou per seleccionar només 1 sistema, ja que hi ha zones en què les tecnologies es mostren en franca competència. A més no tenen en compte que el sistema seleccionat s'adeqüi a l'entorn social, cultural, medi ambiental i tecnològic de la comunitat receptora de la tecnologia. Per tot això cal complementar aquests criteris de decisió amb una avaluació d'impactes externs



6. Avaluació d'impactes externs

6.1. Objectiu

Les repercussions sobre el medi i les persones són conegudes també com **impactes externs**, ja que no són associables de manera directa al sistema (que té com impacte directe l'abastament d'aigua). Per tenir una primera idea, alguns exemples d'impactes externs serien “tenir peces de recanvi a l'abast” (positiu) o la “dependència de combustible” (negatiu).

L'objectiu proposat aquí és la creació d'una nova eina de selecció que complementi els criteris tècnics i econòmics comentats en el capítol 5 permetent així decidir amb més arguments una solució. També vol afavorir l'exercici de reflexió sobre quin tipus d'impactes externs poden provocar les solucions escollides. Aquest tipus d'eina es coneix com **avaluació d'impactes externs**.

El mètode de selecció de sistemes resultant consistirà en la síntesi de mètodes de presa de decisions realitzada anteriorment amb el complement de l'avaluació d'impactes externs aquí desenvolupada.

6.2. L'avaluació d'impactes externs

6.2.1. Introducció

Els impactes externs de qualsevol alternativa són nombrosos i diversos. N'hi ha de desitjables i d'indesitjables, alguns poden afectar individualment de manera directa i d'altres indirectament a través de la comunitat. Alguns succeeixen immediatament i d'altres en un futur distant. Alguns es poden predir amb certesa i d'altres són incerts. Tots aquests factors s'han d'haver valorat en la solució trobada.

Per a fer l'avaluació d'impactes externs d'una solució tecnològica cal tenir com a base l'experiència viscuda en projectes semblants ja que és difícil trobar la manera d'establir uns criteris que permetin traçar fronteres de decisió com en el cas dels criteris tècnics i econòmics. A més, en casos de discussió entre diverses solucions poques vegades n'hi ha clarament una de superior a una altre ja que cada alternativa té els seus avantatges i inconvenients. Les metodologies d'avaluació d'impactes intenten afrontar aquesta situació d'una manera formal, per no deixar-ho en un anàlisi més o menys informal que no afronti amb rigor la situació.



6.2.2. Mètodes formals d'avaluació d'impactes externs

Malgrat que tenen un funcionament estricte, no hi ha cap tècnica formal que vulgui establir la manera en què s'han de formular els judicis, simplement són metodologies. Dins d'aquestes metodologies s'hi troben: l'anàlisi de costos i beneficis, el full de balanços, l'anàlisi energètic, l'estudi d'impacte ambiental i l'estudi de risc. Moltes es basen només en l'estudi d'un tipus d'impactes,. Aquest és el cas de l'impacte ambiental, que només es fixa en el tipus d'impactes que afecten el medi ambient. Les que ens poden fer servei al nostre propòsit pel seu caire generalista són:

- **Anàlisi de costos i beneficis (ACB):** En aquest cas el criteri usat per avaluar és el de la voluntat de pagar. Els beneficis (assumits com a impactes beneficiosos) són mesurats en relació a la voluntat que hi hauria en el mercat de pagar per adquirir aquests impactes desitjats. Els costos (assumits com impactes adversos) són mesurats com la voluntat de pagar per no patir aquests efectes o els diners que s'estaria disposat a rebre per patir-lo.
- **Full de balanços (FB):** Fa recaure la importància en la necessitat d'enregistrar tots els impactes, siguin quantificables econòmicament o no. Ho fa a partir de la valoració dels impactes entre diferents grups d'opinió. El FB, com també fa l'ACB, intenta englobar tan els costos i beneficis individuals com els col·lectius.

Ambdós mètodes són semblants i fan servir un criteri numèric per establir un índex que reflecteixi com la decisió afectarà la comunitat i l'entorn. Transformen tots els impactes en unitats mesurables per a què després puguin ser comparades entre elles.

En aquest projecte **farem servir el sistema del full de balanços**, que basa l'avaluació de cada impacte en la valoració de diferents grups d'opinió. S'ha escollit aquest sistema bàsicament per dos motius:

- L'anàlisi de costos i beneficis vol quantificar amb diners certs impactes que poden resultar difícils de valorar així per certes persones, pel fet de tractar com a mercaderia qüestions que són un dret humà bàsic. Per exemple, el fet que els nens tinguin més temps i puguin anar a l'escola pot costar de quantificar econòmicament.
- El full de balanços permet un espectre major d'impactes en no haver-los d'avaluar econòmicament, simplement s'avaluen amb la importància personal que mereixen.

6.2.3. Funcionament del mètode escollit

6.2.3.1. Explicació

Per establir un índex que permeti reflectir com afectarà la comunitat la incorporació d'un nou element, aquest mètode fa avaluar a diferents grups de persones la importància de cada impacte. Posteriorment fa valorar la quantitat de component de l'impacte que té cada alternativa



que està a debat. Es quantifica doncs el valor de l'impacte i la presència de l'impacte en cada alternativa.

El nombre d'impactes identificats en una avaluació pot ser molt gran. Per comoditat i visibilitat, tota aquesta anàlisi es farà en una matriu. En la primera valoració obtindrem una matriu semblant a la de la Taula 6.1 i la Taula 6.2. Hi introduïrem dos tipus de valors:

- Valoració de la importància de l'impacte. Són en l'exemple a, b i c i es troben entre 0 i 10.
- Valoració de la presència de l'impacte. Són en l'exemple u, v, w i es troben entre 0 i 5.

Els intervals en què es moguin els paràmetres poden ser diferents. Aquí es proposa aquests ja que són els més usuals en aquests anàlisis.

Impactes positius	importància de l'impacte (del 0 al 10)	Sistema de bombament 1 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema de bombament 2 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema
Impacte positiu 1	a	u_1	u_2	.....
Impacte positiu 2	b	v_1	v_2	.....
Impacte	c	w_1	w_2	.....
	

Taula 6.1 Primera matriu d'impactes positius omplerta amb la valoració de l'impacte i de la presència de l'impacte en cada sistema

En el cas dels impactes negatius hi haurà una matriu homòloga a aquesta, però amb els corresponents impactes negatius i les seves valoracions.

Impactes negatius	importància de l'impacte (del 0 al 10)	Sistema de bombament 1 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema de bombament 2 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema
Impacte negatiu 1	a'	u_1'	u_2'	.....
Impacte negatiu 2	b'	v_1'	v_2'	.....
Impacte	c'	w_1'	w_2'	.....
	

Taula 6.2 Primera matriu d'impactes negatius omplerta amb la valoració de l'impacte i de la presència de l'impacte en cada sistema

La multiplicació d'ambdues xifres ens donarà una idea de la repercussió de l'impacte en cada sistema. Això caldrà fer-ho tant en els impactes positius com amb els negatius. A la Taula 6.3 es mostra la operació en la taula d'impactes positius.



Impactes positius	importància de l'impacte (del 0 al 10)	Sistema de bombament 1 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema de bombament 2 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema
Impacte positiu 1	a	$a \cdot u_1$	$a \cdot u_2$	.....
Impacte positiu 2	b	$b \cdot v_1$	$b \cdot v_2$	.....
Impacte	c	$c \cdot w_1$	$c \cdot w_2$	.....
	

Taula 6.3 Quantificació de l'impacte en cada alternativa

Posteriorment caldrà sumar totes aquestes xifres i trobarem un índex global que valorarà de manera global els impactes desitjats i els no desitjats.

Impactes positius	importància de l'impacte (del 0 al 10)	Sistema de bombament 1 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema de bombament 2 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema
Impacte positiu 1	a	$a \cdot u_1$	$a \cdot u_2$	.....
Impacte positiu 2	b	$b \cdot v_1$	$b \cdot v_2$	.....
Impacte	c	$c \cdot w_1$	$c \cdot w_2$	.....
.....	
Total impacte positiu		$a \cdot u_1 + b \cdot v_1 + c \cdot w_1 + \dots$	$a \cdot u_2 + b \cdot v_2 + c \cdot w_2 + \dots$	

Taula 6.4 Valoració global dels impactes positius

Impactes negatius	importància de l'impacte (del 0 al 10)	Sistema de bombament 1 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema de bombament 2 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema
Impacte negatiu 1	a'	$a' \cdot u_1$	$a' \cdot u_2$	.....
Impacte negatiu 2	b'	$b' \cdot v_1$	$b' \cdot v_2$	.....
Impacte	c'	$c' \cdot w_1$	$c' \cdot w_2$	.....
.....	
Total impacte negatiu		$a' \cdot u_1 + b' \cdot v_1 + c' \cdot w_1 + \dots$	$a' \cdot u_2 + b' \cdot v_2 + c' \cdot w_2 + \dots$	

Taula 6.5 Valoració global dels impactes negatius

Aquests valors totals d'impactes positius i negatius ens permetran fer un balanç global i jutjar amb més facilitat i de manera més rigorosa les alternatives.

Índex total	Sistema de bombament 1 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema de bombament 2 (grau d'impacte del 0 al 5)	Sistema
Total impacte positiu	$a \cdot u_1 + b \cdot v_1 + c \cdot w_1 + \dots$	$a \cdot u_2 + b \cdot v_2 + c \cdot w_2 + \dots$	.....
Total impacte negatiu	$a' \cdot u_1 + b' \cdot v_1 + c' \cdot w_1 + \dots$	$a' \cdot u_2 + b' \cdot v_2 + c' \cdot w_2 + \dots$	.....
Balanç global	$a \cdot u_1 + b \cdot v_1 + c \cdot w_1 + \dots - (a' \cdot u_1 + b' \cdot v_1 + c' \cdot w_1 + \dots)$	$a \cdot u_2 + b \cdot v_2 + c \cdot w_2 + \dots - (a' \cdot u_2 + b' \cdot v_2 + c' \cdot w_2 + \dots)$	.....

Taula 6.6 Balanç global d'impactes



Aquelles solucions que no presentin un balanç positiu, és a dir, més valor en impactes desitjables que en indesitjables no podran ser acceptades ja que ens estaria indicant que és millor deixar la situació tal i com està. En canvi, si la suma de graus dels impactes desitjables és major que els indesitjables en canvi, s'entén com que el sistema beneficia la comunitat.

6.2.3.2. Limitació del mètode.

En aquest mètode s'obté un resultat numèric. No obstant no cal oblidar que és una eina d'ajuda que hem de contemplar en un rang d'ordres de magnitud i que la decisió final no s'ha de deixar només en mans del resultat que hagi obtingut millor valoració. Es vol comentar aquí també que no s'ha de deixar consultar veus amb experiència en el terreny i en especial als agents locals malgrat fer servir aquest mètode abans d'escollir la solució final.

6.3. Desenvolupament del mètode aplicat als sistemes d'impulsió

6.3.1. Introducció

Un cop decidit que es seguirà la metodologia del full de balanços i explicat el seu funcionament cal adaptar-la a l'avaluació d'impactes externs dels sistemes d'impulsió, per poder usar-la amb agilitat quan faci falta. Aquesta adaptació és necessària ja que en començar a aplicar el mètode es troben 2 dificultats:

- Cal reflexionar i pensar sobre tot l'espectre possible d'impactes.
- Cal tenir coneixement suficient per avaluar-los.

6.3.2. Objectius i metodologia de treball

Per aconseguir l'adaptació d'aquesta es proposa actuar en dues direccions:

- **Establir d'un llistat d'impactes externs estàndard** que faciliti la feina de la reflexió inicial sobre els possibles impactes generats per un abastament. Es desenvoluparan en l'apartat 6.3.3
- **Fer un anàlisi d'impactes d'externs de tots els sistemes d'impulsió (guia de valoració de sistemes)** amb la validació d'un petit comitè tècnic, de manera que els valors seleccionats serveixin de referència a aquelles persones menys coneixedores de la realitat que vulguin desenvolupar projectes d'impulsió. Es desenvoluparà en l'apartat 6.3.4

Ambdues coses proposades necessiten ser validades amb l'opinió dels que estan treballant sobre el terreny en aquest tipus projectes. Per això en ambdós casos es procedirà a la consulta, dels membres de l'equip d'assessoria d'Enginyeria Sense Fronteres.



6.3.3. Establiment d'un llistat d'impactes externs estàndard dels sistemes d'impulsió

6.3.3.1. Proposta d'impactes

A l'hora de fer una proposta d'impactes els hem classificat segons si són positius i negatius i també segons la seva naturalesa. S'han diferenciat en quatre naturaleses diferents.

- **medi ambiental:** fa referència a tots aquells aspectes de la conservació o no del medi i com es veu afectat aquest pel sistema.
- **sostenibilitat de l'abastament:** fa referència al manteniment i a la gestió del sistema, a la facilitat o dificultat que això comporta, al risc de què caigui en desús...
- **social i comunitària:** fa referència als canvis i repercussions que té el sistema en la vida de la gent i el seu nivell de vida. Quines coses bones i dolentes els ha comportat o comportarà en un futur el disposar d'aquest sistema d'aigua.
- **política:** fa referència a aquells aspectes d'estratègia o interessos propis de cada comunitat.

Per l'elaboració de la llista d'impactes s'ha comptat amb el suport de bibliografia, en especial de l'informe d'ESF sobre abastament d'aigua a Etiòpia [12] creat a petició d'Intermón. A partir d'aquesta primera llista s'ha realitzat un procés de debat amb el grup assessor on per consens s'hi han anat afegint i eliminant impactes fins a conformar la llista definitiva d'impactes escollits.

6.3.3.2. Impactes escollits

Després del procés de discussió queda determinat el llistat d'impactes que es mostra en la Taula 6.7 i la Taula 6.8.



tipus	Impactes positius	definició/explicació	
Medi ambient	1	Respecta els animals salvatges	La incorporació del sistema en el medi no afecta en res la vida normal dels animals salvatges.
	2	Permet un control de la contaminació de l'aigua (tractament) i/o dóna aigua de qualitat	Els sistemes sense distribució (i sense tanc d'emmagatzematge) dificulten el tractament centralitzat de l'aigua. A més aquells sistemes que permeten accedir al subsòl més profund permeten arribar a aigua de més qualitat....
	3	Afaveix la producció d'energia de manera autosuficient i sense dependència de les energies fòssils	Afaveix la producció d'energia de manera autosuficient i sense dependència de les energies fòssils
Seguretat en l'abastament	4	Autonomia del sistema	El sistema de bombament funciona per si sol, sense necessitat de moltes atencions (engegar-lo cada dia, tancar aixetes...)
	5	Possibilitat de fer front a les reparacions	Les peces soltes més usuals de recanvi es troben als mercats locals. Les reparacions més usuals es poden fer amb eines senzilles (tornavis, clau anglesa....). Existeix gent de la comunitat que pot mantenir el sistema en el seu dia a dia. Les reparacions més comunes es poden fer sense haver de recórrer a agents especialitzats.
	6	Permet la distribució	El sistema permet decidir si es vol domiciliar l'aigua, posar-la en fonts comunitàries, o a un punt únic
	7	Flexibilitat als canvis de clima	Encara que canviï el clima, el cabal bombejat es manté de manera més o menys continua
	8	Operativitat segura	L'operativitat del sistema no comporta cap perill per la salut per als usuaris.
	9	Fiabilitat de l'equipament	L'equipament és fiable i s'espantia poc
	10	Voluntat de pagar quota per disposar d'aquest sistema i capacitat d'apropiació del sistema.	La quota es veu compensada clarament per les avantatges del sistema.
socials	11	Comfort. Temps estalviat com a conseqüència del sistema	L'usuari percep que el sistema li suposa una comoditat. Els usuaris tenen més temps des de la incorporació del sistema, en especial nens i dones que són els que més sovint s'encarreguen d'aquestes tasques.
	12	Canvi en la qualitat de vida a nivell individual, augment en la salut de la comunitat.	Augment del nivell de vida a tots els sentits: econòmic, de salut, d'escolarització
	13	Operatiu de manera simple per a tots els grups d'edat	Nens i grans poden usar el sistema diàriament amb facilitat
	14	Familiaritat del sistema i/o capacitat d'empoderament. Els usuaris creuen en el sistema	El funcionament del sistema és comprensible i l'adaptació és ràpida. Els usuaris veuen el sistema com una cosa que els aporta desenvolupament i qualitat de vida
	15	Impacte en el desenvolupament econòmic	L'estalvi de temps i la disponibilitat d'aigua permet emprendre tasques productives que augmentin el desenvolupament econòmic
	16	Possibilitat de participar de la comunitat en la construcció del sistema	La participació de la comunitat en el muntatge del sistema fa que el sentiment d'apropiació sigui més elevat
polítics	17	Afaveix la perspectiva de gènere i afaveix l'estatus de la dona.	Les dones sovint són les principals usuàries del sistema i cal mirar com les afectarà. És un impacte difícil de determinar però d'important reflexió.
	18	Sistema amb possibilitats d'expansió.	La possibilitat d'expansió com a previsió per si la població creix o augmenta la demanda és un factor estratègic.
	19	És un sistema que ja està funcionant a la zona	Demostra que el sistema es factible i dóna seguretat a l'aposta de sistema.
	20	És una tecnologia de futur i permet la formació i l'empoderament de la comunitat	Malgrat la comunitat no estar adaptats a aquesta tecnologia val la pena que si acostumin ja que així estaran preparats per futures millores o intervencions que requereixin de tecnologies semblants.
	21	Possibilitat d'ús del sistema per d'altres propòsits (irrigació, ramaderia, electricitat...)	La possibilitat d'altres usos és font de desenvolupament econòmic i qualitat de vida

Taula 6.7 Explicació dels impactes positius



<i>tipus</i>	<i>Impactes negatius</i>	<i>definició/explicació</i>	
Medi ambient	1	Afecta negativament la fauna	La fauna es troba perjudicada amb el sistema
	2	Produeix contaminació atmosfèrica, sonora i/o, embruta el punt d'abastament d'aigua i pot contaminar l'aquífer.	Emet gasos contaminant. Els decibels de soroll provoquen molèsties a persones i animals. El sistema no produeix pèrdua d'aigua creant així bassals d'aigua a prop de l'aquífer, o vessa oli en cas d'avaries o permet la distribució de tal manera que el punt d'abastament d'aigua cau lluny de la zona de recàrrega de l'aquífer.
Seguretat en l'abastament	3	Poca fiabilitat del sistema, reparacions sovint	El sistema es para sovint perquè requereix algun manteniment
	4	Fallada en cas de no disposar de peces soltes	Com que en el mercat local no trobem les peces soltes necessàries el sistema ha de restar aturat
	5	Requereix un tanc d'aigua per garantir la continuïtat de cabal	Requereix un tanc per garantir la continuïtat d'abastament diari del sistema
	6	Exposició a un accident durant la instal·lació i l'operació	La instal·lació o l'operació és perillosa per a els usuaris
	7	Instal·lació molt complexa. Problemes amb la substitució del sistema en cas de trencar-se	La instal·lació requereix agents molt especialitzats. En cas de trencar-se el sistema la substitució és summament costosa.
	8	Llargues esperes en la reparació en cas d'avaría	En cas d'avaría fins que no s'arregla passa molt de temps
	9	Fallada en cas de condicions climàtiques adverses	Quan les condicions climàtiques són adverses el sistema no funciona
	10	Fallada en cas de no disposar de fuel	En cas de quedar-se sense fuel el sistema s'atura
socials	11	Dificultat d'acceptar el sistema	El sistema costa d'acceptar i integrar en la vida diària
	12	Sistema poc familiar	El sistema és poc conegut i costa d'entendre les seves necessitats i manteniment
	13	Limita el seu ús a determinats grups d'edat	Els nens/es i els més grans no accedeixen amb facilitat al sistema
	14	Possible abandonament del sistema per no poder pagar	La quota es paga perquè no altera la supervivència de la comunitat i és contempla com un preu adequat.
	15	Temps gastat traient aigua	La quantitat de temps gastat en el dia a dia traient l'aigua
	16	Complexitat de la gestió del comitè responsable de l'aigua.	Com més persones requereixi el sistema (grandària, complexitat de manteniment) més complicat serà
	17	Dificultat d'amortització amb la quota (no només reparacions)	El sistema es pot anar mantenint amb les quotes però en el cas d'haver-lo de renovar al cap d'uns anys serà molt complicat
	18	Elevats requeriments de formació per part dels mantenidors del sistema	El manteniment del sistema es complicat i requereix persones altament formades el que pot comportar dificultar per trobar-ne.
polítics	19	No versatilitat. Sistema amb poques expectatives	El sistema no permet altres usos (des de reg, electricitat...). No permet possibilitat d'expansió i/o va caient cada vegada en desús i es compliquen les seves reparacions
	20	És un sistema poc experimentat a la zona	És un sistema poc experimentat a la zona i està més sotmès a possibles fallades no previstes
	21	El sistema pot costar de ser admès per qüestions culturals	El sistema pot costar de ser admès per la realitat cultural de la comunitat

Taula 6.8 Explicació dels impactes negatius

6.3.3.3. Conclusions sobre els impactes escollits

El llistat final ha quedat determinat en 42 impactes, 21 de positius i 21 de negatius. La proposta inicial en proposava molts més, prop de 70. Aquesta reducció ha estat deguda a que es va veure que calia prioritzar aquells més importants ja que posteriorment cal avaluar cada impacte



en cada alternativa i el temps necessari per fer-ho es dispara en cas d'haver de fer-ho amb un nombre elevat d'impactes.

Durant la reflexió amb el grup assessor s'ha vist com el sistema d'impulsió és una de les ànimes d'un abastament d'aigua. Tot i només ser la part dedicada a elevar l'aigua la seva naturalesa repercuteix en gairebé tots els àmbits de l'abastament. Bona part dels impactes d'un abastament doncs es poden reflectir a partir del seu mètode d'impulsió.

Alguns d'aquests impactes s'han trobat difícils d'avaluar, com ara *"Afavoreix la perspectiva de gènere i afavoreix l'estatus de la dona"*. Tot i això s'ha vist que amb la seva eliminació es podia perdre el fet de reflexionar-hi. Per això, malgrat sovint no podrà ser valorat numèricament, s'ha decidit deixar a opció de l'usuari si es veu capaç de valorar-lo o no.

6.3.4. Guia de valoració de sistemes

6.3.4.1. Introducció

La utilitat d'un anàlisi dels sistemes de bombament consensuat per un comitè tècnic és orientar i situar a aquelles persones amb menys experiència de camp que vulguin realitzar una anàlisi d'impactes externs. Per això l'anomenarem **guia de valoració de sistemes**.

Ens trobem però que **cada avaluació d'impactes resultarà diferent segons les condicions de contorn (país, cultura, comunitat...)**, essent complicat generalitzar cap valoració. En el cas de voler emprar una avaluació com a guia doncs, **caldrà que aquesta estigui referenciada a unes condicions el màxim de semblants que les del projecte que es vol avaluar**. És a dir, cada zona o regió amb característiques culturals, climatològiques, socials, etc necessita tenir una pròpia valoració per a què els usuaris puguin referir-s'hi a l'hora de fer l'avaluació de sistemes.

Com que ESF està treballant a l'Argentina en projectes d'aigua es treballarà un exemple sobre aquestes comunitats. Aquesta primera avaluació d'impactes externs a més servirà per a comprovar si el sistema presenta coherència i si la gent que treballa sobre el terreny n'aprova el seu funcionament.

6.3.4.2. Exemple de guia d'avaluació de sistemes en comunitats rurals de l'Argentina

A continuació es mostra el resultat de l'anàlisi d'impactes a les zones on ESF treballa de l'Argentina. Concretament està centrat en la província de Santiago del Estero. Les comunitats rurals d'aquestes zones es caracteritzen per:

- Tenir accés a fuel.
- Estar en una zona molt plana i ventosa, el que fa que les eòliques mecàniques funcionin



en alguns punts des de fa molts anys.

- Tenir aigües contaminades a les capes freàtiques més superficials i haver de treure aigua de pous profunds, en alguns casos de 100 i 150 metres.
- Disposar d'empreses que tenen la tecnologia per a instal·lar tots els sistemes estudiats.
- No usar habitualment bombes manuals.
- Aprofitar els sistemes d'abastament d'aigua per abeurar els ramats, normalment de cabres.
- Tenir una insolació elevada durant tot l'any.

Els càlculs es mostren en l'Annex D. El resultat obtingut en l'anàlisi d'impactes es mostra en la Taula 6.9.

	Bomba manual de diafragma	Bomba manual de pistó tipus Jack	Bomba manual de pistó a succió	Eòlica mecànica amb molí de vent tradicional i bomba de pistó Jack	Eòlica mecànica amb molí de segona generació i bomba de pistó Jack	Eòlica elèctrica amb bomba centrífuga submergible	Fotovoltaica directe a bomba centrífuga submergible	Fotovoltaica directe a bomba de pistó Jack	Fotovoltaica directe a centrífuga superficial a succió	Motor dièsel engranat directament a una bomba centrífuga superficial	Generador elèctric dièsel alimentant una bomba centrífuga submergible
Total positius	356	365	360	506	499	465	501	491	506	402	398
Total negatius	257	257	257	292	292	417	359	359	359	290	297
Balanc total	99	108	103	214	207	48	142	132	147	112	101

Taula 6.9 Balanc total d'impactes dels sistemes en les comunitats de Santiago del Estero

6.3.4.3. Valoració dels resultats obtinguts

Els resultats obtinguts han determinat com a solució òptima les eòliques mecàniques. Això pot ser degut a què són uns dels sistemes que ja estan funcionant a la zona i les reparacions i les peces de recanvi es troben a l'abast. A més resulta un sistema familiar per la comunitat i això els facilita l'empoderament de la tecnologia i la disponibilitat a pagar pel seu servei.

Seguidament es troben els sistemes fotovoltaics. Malgrat a la zona no sigui usada sovint per a sistemes d'impulsió la fotovoltaica és coneguda a la zona gràcies a la seva aplicació com a font d'energia elèctrica. Gràcies a la seva versatilitat mica en mica també es van instal·lant aquests sistemes.

El bombament dièsel és un dels més comuns en les zones on la profunditat del pou és molt gran i hi ha poc pressupost. És, com l'eòlica, una tecnologia coneguda i amb possibilitat de



reparació a l'abast.

En una valoració global es pot dir que els resultats obtinguts tenen molt a veure amb la realitat dels sistemes que estan funcionant. Això pot ser degut a la influència del coneixement de la realitat dels enquestats. En tot cas sembla lògic que es doni sortida a aquelles tecnologies que se sap del cert que funcionen. Instaurar noves tecnologies és un risc i en els casos que en el recurs es tan necessari s'acostuma a recórrer a les solucions ja conegudes.

6.4. Conclusions del mètode

L'aplicació a sistemes de bombament de l'avaluació d'impactes es pot esquematitzar amb el diagrama de blocs de la figura 6.1.

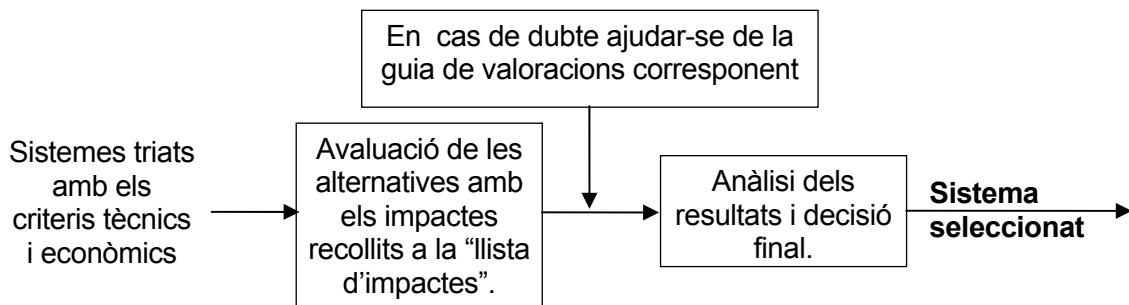


figura 6.1 Esquema de l'aplicació

Concloure dient que **s'ha establert un llistat d'impactes externs estàndard per a sistemes d'impulsió gràcies a la reflexió i el debat amb el grup d'experts d'Enginyeria Sense Fronteres.**

A més, a partir de la creació del llistat d'impactes externs estàndard i de la guia de valoracions de cada tecnologia, s'ha desenvolupat una eina d'avaluació d'impactes externs per a sistemes d'impulsió apte per a gent amb poca experiència. Aquesta avaluació d'impactes permet reflectir amb agilitat les repercussions que pot tenir cada sistema sobre la comunitat.





Conclusions

Malgrat la dispersió bibliogràfica en aquest àmbit tecnològic, s'ha ordenat els coneixements i s'ha contemplat moltes possibles configuracions a partir de l'ús de diferents bombes i fonts d'energia. A més, s'ha determinat que **almenys hi ha 11 sistemes d'impulsió capaços de donar resposta a les necessitats d'aigua de les comunitats rurals aïllades.**

A partir de múltiples fonts d'informació s'ha definit uns criteris tècnics i econòmics per a la presa de decisions en la selecció de sistemes. Amb aquests criteris **s'ha aconseguit desenvolupar una eina capaç de seleccionar els sistemes d'impulsió que poden donar resposta als requeriments d'aigua plantejats.**

Amb els criteris tècnics i econòmics sovint no n'hi ha prou per seleccionar només 1 sistema, ja que hi ha zones en què les tecnologies es mostren en franca competència. A més no tenen en compte que el sistema seleccionat s'adeqüi a l'entorn social, cultural, medi ambiental i tecnològic de la comunitat receptora de la tecnologia. Per tot això **cal complementar aquests criteris de decisió amb una avaluació d'impactes externs.**

S'ha establert un llistat d'impactes externs estàndard per a sistemes d'impulsió gràcies a la reflexió i el debat amb el grup d'experts d'Enginyeria Sense Fronteres.

A partir de la creació del llistat d'impactes externs estàndard i de la guia de valoracions de cada tecnologia, s'ha desenvolupat una eina d'avaluació d'impactes externs per a sistemes d'impulsió apte per a gent amb poca experiència. **Aquesta avaluació d'impactes permet reflectir amb agilitat les repercussions que pot tenir cada sistema sobre la comunitat.**

Amb els criteris tècnics i econòmics i l'avaluació d'impactes externs es pot dir que s'ha desenvolupat una eina de selecció de sistemes d'impulsió completa, que té en compte tant la necessitat de donar resposta als requeriments demanats com la perspectiva social i ambiental de la tecnologia.

Es recomana en un futur elaborar un guia de valoracions en tots els països en què ESF està col·laborant i centralitzar-los en una base de dades. Això afavorirà la valoració d'aquests aspecte i servirà d'ajuda als usuaris menys experts en projectes d'aigua.





Pressupost

El pressupost del present projecte d'estudi i creació d'una eina de selecció de sistemes d'impulsió per a comunitats rurals aïllades és el següent:

Partida 1 Salaris

Codi	Tipus	Unitat	Quantitat	Preu	Total
1.1	Enginyer executor de l'estudi	h	400	18 €	7.200 €
1.2	Enginyer expert en la problemàtica de l'aigua a "El Salvador"	h	10	24 €	240 €
1.3	Enginyer expert en la problemàtica de l'aigua a "Argentina"	h	10	24 €	240 €
Total					7.680 €

Partida 2 Material d'oficina

Codi	Tipus	Preu	Total
2.1	Amortització ordinador, impressora i software	300 €	300 €
2.2	Fungible	150	150 €
2.3	Electricitat i comunicació	200 €	200 €
2.4	Bibliografia	150 €	150 €
Total			800 €

Consolidat total

Partida	Total
1. Salaris	7.680 €
2. Material d'oficina	800 €
Total	8.480 €





Agraïments

Es vol agrair sincerament a tots els que han fet que aquest projecte sigui possible:

A l'Esteve Jou per la seva atenció i les seves indicacions assenyades, que han ajudat a encaminar la rauxa d'unes primeres idees cap a un projecte d'enginyeria.

Als companys que en un moment o altre s'han implicat en l'avaluació d'impactes i en especial a en Lluís Basteiro per les seves sàvies apreciacions i reflexions.

A en Jorge Sneij per aconseguir el software adequat en el moment precís.

Al meu pare i a la meva mare per tota la logística i afecte que m'ha fet falta per perseverar en acabar el projecte.

Als voluntaris i grans amics d'Enginyeria Sense Fronteres i de la Delegació d'Estudiants, dels quals he après tantes i tantes coses i sense els quals aquest projecte no tindria sentit.





Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] OMS, UNICEF, *Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000*. EEUU: 2000
[http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/globalassess/es/, 5 d'Octubre de 2005]
- [2] ONU, *Millennium Development Goals Data and Trends, 2002, Summary Report*, EEUU: 2002
[<http://www.millenniumindicators.un.org/>, 7 de Novembre de 2005].
- [3] ONU, *Declaración del Milenio, EEUU:2000*
[<http://www.millenniumindicators.un.org/>, 7 de Novembre de 2005]*. *[URL, data de consulta].
- [4] VARIOS AUTORES, *Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica*, New Mexico, New Mexico State University, 2001
- [5] JOOP VAN MEEL AND PAUL SMULDERS, *Windpumping, a handbook*, Whashington D.C, World bank technical paper number 101, 1989
- [6] FRANÇOIS BRIKKÉ, MAARTEN BREDERO, *Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply*, Geneva (Switzerland), World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre, 2003
- [7] SAUL ARLOSOROFF, GERHARD TSCHANNERL, DAVID GREY, WILLIAM JOURNEY, ANDREW KARP, OTTO LANGENEFFER, ROBERT ROCHE, *Community water supply (the handpump option)*, Whashington, prepared for the UNDP and The World Bank, 1987
- [8] NEWAY ARGAW, *Renewable Energy Water Pumping Systems, Handbook*, Denver (USA), National Renewable Energy Laboratory, 2001
- [9] NEWAY ARGAW R. FOSTER AND A.ELLIS *Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages, National Renewable Energy Laboratory*, Golden (USA), National Renewable Energy Laboratory, 2001
- [10] DIVISIÓ DE PROGRAMAS UNICEF, *Manual sobre el agua*, Nueva York, UNICEF, 1999.
- [11] SANDIA NATIONAL LABORATORIES *water pumping The solar alternative*, Sandia



National Laboratories Technical Library, 1997

- [12] IGNASI SALVADOR, LLUÍS BASTEIRO, *Manual de Criteris Tècnics per a Projectes d'Aigua a Etiòpia d'abastament d'aigua a Etiòpia*, Barcelona, Intermón Oxfam i Enginyeria Sense Fronteres
- [13] ROY BARLOW, BERNARD MCNELIS, AND ANTHONY DERRICK, *Solar Pumping, An Introduction and Update on the Technology*, Whashington D.C (USA), World bank technical paper number 168, 1993
- [14] SANDIA NATIONAL LABORATORIES, *Photovoltaic Power As A Guidelines For Livestock*, New Mexico (USA), Sandia National Laboratories Technical Library, 1993
- [15] VARIOS AUTORES, *ITDG Technichal Briefs*, UK, Practical Action, Technology Challenging Poverty.
[http://www.itdg.org/?id=technical_briefs, 14 d'Octubre de Novembre de 2005]

Bibliografia complementària

- [16] EDUARD EGUSQUIZA ESTÉVEZ *Comportament dinàmic de màquines hidràuliques*, Barcelona, Edicions UPC, 2003
- [17] M.CASTRO GIL, A. COLMENAR SANTOS, M. PÉREZ GARCÍA, J.M PERULERO CASTAÑO, R.P. FIFFE VERDECIA *Sistemas de bombeo eólicos y fotovoltaicos*, Sevilla, Monografías técnicas de energías renovables 8, Progensa, 2003
- [18] A. PÉREZ-FOGUET, M.CARRILLO I F. MAGRINYÀ. *Agua e infraestructura*, Barcelona, Tecnología para el desarrollo humano, 2003
- [19] IÑAKI Y SEBASTIÁN URKIA LUS *Energía renovable práctica*, Navarra, Pamiela argitaletxea, 2003
- [20] JOSE M^a DE JUANA *Energías Renovables para el desarrollo*, Madrid, Thomson Paraninfo, 2003
- [21] IGNASI SALVADOR, ISMAEL SÁNCHEZ *Tecnologías para el abastecimiento y saneamiento de agua en proyectos de cooperación al desarrollo en zonas rurales*, El Salvador, apuntes para el curso de la Universidad Centroamericana "Jose Simeón Cañas", 2000



- [22] VARIOS AUTORES, *Small-scale pumped irrigation: energy and cost*, Rome, Food and agriculture organization of the united nations, 1992
- [23] VARIOS AUTORES, *Agua y Saneamiento*, Barcelona, Cuadernos Internacionales de tecnología para el desarrollo humano, 2004
- [24] NICOLAS MARINOF, *Abastecimiento de agua por gravedad para poblaciones rurales dispersas*, Lima (Perú), ProAnde Centro para la Promoción y el Desarrollo Andino, 2001
- [25] VARIOS AUTORES, *Handbook for the Assessment of Catchment Water, Demand and Use*, London (UK), UK Department for International Development
- [26] STEPHEN KAREKEZI, WAENI KITHYOMA, LUGARD MAJORO, *Renewable Energy Technologies In Africa*, Nairobi (Kenya), the African Energy Policy Research Network, 2001
- [27] FELIPE SOLSONA TECNOLOGÍA, *Tecnología Apropriada Y El Factor Social*, Lima (Perú), CEPIS-OPS
- [28] KARL ERPF *The Rope Pump Concept*, St Gallen (Switzerland), Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT), 2005
- [29] ERICH BAUMANN *Water Lifting* St Gallen (Switzerland), Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT), 2000
- [30] VARIOS AUTORES, *Rural Water Supply Handpumps Project*, Washington DC, World Bank Technical Number 6, 1983
- [31] *How Ram Pump Work*, DTU Ram Pump Program
- [32] AWS SCIENTIFIC, INC *Wind Resource Assessment Handbook*, Albany (USA), prepared for National Renewable Energy Laboratory ,1997
- [33] MANUEL TOBAJAS VÁZQUEZ, *Energía solar fotovoltaica*, Barcelona, Ceysa Editorial Técnica, 2002
- [34] EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO TROPISSEC-IDR *Las Motobombas o Bombas con Motor*, Estelí (Nicaragua), Guía Técnica 1, Fortalecimiento en Riego Agrícola
- [35] EQUIPO TÉCNICO DEL PROYECTO TROPISSEC-IDR *La bomba de Mecate*, Estelí (Nicaragua), Guía Técnica 2, Fortalecimiento en Riego Agrícola
- [36] XAVIER BACHS I VALLDENEU, RAMON COSTA I VILADOT, *Construcció d'una bomba*



de succió, Col·lecció de materials per a la Tecnologia 12-16

[37] PEDRO FERNÁNDEZ DÍEZ, *Energía Eólica*, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energetica, Universidad de Cantabria

[38] VARIOS AUTORES. *Oxfam Water Supply Scheme for Emergencies*, Oxfam

[39] *Termcat*, Centre de Terminologia, Generalitat de Catalunya,
[<http://www.termcat.cat>, /5 de maig de 2006]

