RESUM

Es presenta en aquest estudi el disseny d'un mòdul d'abastament d'aigua potable per a consum humà per a comunitats rurals aïllades de les zones àrides del nordoest argentí que ha estat realitzat en el marc de la col·laboració entre organitzacions camperoles argentines i Enginyeria Sense Fronteres.

Després d'un estudi d'alternatives on s'ha tingut en compte, principalment, l'impacte social i l'apropiabilitat de la tecnologia per aquest entorn, s'ha determinat que la dessalació d'aigües salines mitjançant la destil·lació solar era una opció adequada per solucionar els problemes de mala qualitat de l'aigua que pateix la població d'aquestes comunitats.

S'ha dissenyat un model de destil·ladora tenint en compte els materials i tècniques constructives locals i basant-se en les experiències i coneixements documentats d'implantació d'aquesta tecnologia en països en vies de desenvolupament.

Partint d'aquest disseny, s'ha construït un prototipus de destil·ladora solar amb el que s'ha experimentat sota les condicions meteorològiques de Barcelona. Paral·lelament, s'ha desenvolupat una aplicació informàtica que, en base a un model matemàtic de funcionament de la destil·ladora, prediu la producció diària de la destil·ladora sota unes condicions meteorològiques determinades. Malgrat que la concordança dels resultats de prediccions teòriques i el resultats pràctics no ha estat completa, aquests resultats han permès introduir variacions en el disseny definitiu de la destil·ladora que es presenta.

Un cop definit el disseny, s'ha planificat la introducció de les destil·ladores en comunitats rurals com a Projecte de Cooperació al Desenvolupament, analitzant la viabilitat, planificant la formació i determinant l'autoconstrucció com la millor solució per a la seva implantació.

Finalment, el present estudi mostra la importància de la investigació en tecnologies apropiades i la necessitat de treballar des del voluntariat en els processos de desenvolupament dels pobles del Sud.

SUMARI

MEMÒRIA

1. PREFACI 7

2. INTRODUCCIÓ 9

3. SITUACIÓ I PROBLEMÀTICA ENTORN L'ABASTAMENT D'AIGUA PER A CONSUM HUMÀ 11

4. PARÀMETRES DE REFERÈNCIA EN LA DEFINICIÓ DE LA SOLUCIÓ 13

5. PLANTEJAMENT DE LES ALTERNATIVES 17
   - 5.1 Recol·lecció d'aigua de pluja 18
   - 5.2 La dessalació amb energia solar 24
     - 5.2.1 La dessalació per osmosi inversa 27
     - 5.2.2 La dessalació solar 35
   - 5.3 DAFO de les alternatives 41

6. ANÀLISI COMPARATIU DE LES ALTERNATIVES 45
   - 6.1 Plantejament dels punts a valorar 45
   - 6.2 Valoració de les alternatives per cadascun dels punts 46
   - 6.3 Matriu de selecció 57
   - 6.4 Conclusions 58

7. DESENVOLUPAMENT TÈCNIC DE L'ALTERNATIVA ESCOLLIDA 59
   - 7.1 Disseny d'un prototipus de destil·ladora solar 60
   - 7.2 Desenvolupament d'una eina de càlcul de la productivitat de la destil·ladora solar 71
   - 7.3 Construcció d'un prototipus de destil·ladora solar 77
   - 7.4 Resultats de l'experimentació amb el prototipus 79
   - 7.5 Impacte ambiental de la solució 83

8. PLANIFICACIÓ DE L'EXECUCIÓ DE L'ALTERNATIVA ESCOLLIDA COM A PROJECTE DE COOPERACIÓ AL DESENVOLUPAMENT 85

9. PRESSUPOST D'EXECUCIÓ 87

10. CONCLUSIONS 91

11. AGRAÏMENTS 93

12. BIBLIOGRAFIA 95

ANNEXES

ANNEXE A: PLANIFICACIÓ DE L'EXECUCIÓ DE L'ALTERNATIVA ESCOLLIDA COM A PROJECTE DE COOPERACIÓ AL DESENVOLUPAMENT

a.1 Viabilitat del projecte

a.1.1 Viabilitat tecnològica

a.1.2 Viabilitat política

a.1.3 Viabilitat econòmica

a.1.4 Viabilitat social i cultural

a.2 El treball amb les comunitats i les organitzacions locals

a.3 La formació i l'autoconstrucció com a part del procés organitzatiu

a.4 Programació

ANNEXE B: MARC DE REFERÈNCIA

b.1 L'Argentina avui

b.2 El problema de l'aigua

b.3 La tecnologia per al desenvolupament humà

ANNEXE C: APLICACIÓ DE CÀLCUL DE LA PRODUCTIVITAT EN MATLAB

c.1 Codi de l'aplicació

c.2 Resultats de la predicció

ANNEXE D: PLÀNOLS DE LA DESTIL·LADORA

ANNXE E: FOTOGRAFIES

ANNEXE F: TECNOLOGIES ACTUALS DE DESSALACIÓ

ANNEXE G: CONSTRUCCIÓ D'UNA DESTIL·LADORA A DUES AIGÜES

1. PREFACI

Aquest projecte neix de la col·laboració des de fa 4 anys de la Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres, més concretament del Grup de Projectes d'Argentina amb les organitzacions camperoles del nord-oest Argentí. Aquest fet ha permès als voluntaris que formen part d'aquest grup d'entrar en contacte amb les organitzacions camperoles argentines del nordoest argentí i conèixer les seves problemàtiques. I no només saber de les seves problemàtiques, sinó veure i compartir amb ells com des de les organitzacions, es buscava donar respostes a aquestes problemàtiques avançant cap a un desenvolupament humà i sostenible del seu entorn.

La lluita per la terra, la lluita pels drets humans, per l'accés als serveis bàsics, per la identitat camperola i indígena i per un món més just i humà que porten a terme aquestes organitzacions han de ser recolzades des del Nord, i ara, des d'aquest Projecte Final de Carrera, es vol seguir aportant a la construcció social i política d'aquestes organitzacions des d'una òptica tecnològica.

Els Enginyers Industrials haurien de ser capaços de posar la tecnologia a l'abast d'aquelles poblacions més necessitades. La tecnologia no és una meta en sí mateixa, la innovació i la investigació tecnològica han d'estar guiades per uns paràmetres, i correspon als Enginyers Industrials poder definir quins es vol que siguin aquests paràmetres en funció de qui o què es vulgui recolzar amb aquests avenços tecnològics.

Posar la tecnologia a l'abast de la població dels països en vies de desenvolupament és molt més que servir-los uns instruments concrets i definits. Posar la tecnologia a l'abast de la població necessitada és desenvolupar amb ells una tecnologia que doni resposta a les seves necessitats i que sigui apropiada al seu grau de desenvolupament i al seu entorn social, cultural, medioambiental i tecnològic. És molt difícil saber des d'un despatx, des d'una oficina, quines són les problemàtiques i buscar les respostes tecnològiques a aquestes problemàtiques. És treballant directament amb aquells qui les pateixen que s'és capaç de dissenyar una tecnologia apropiada que es converteixi en veritable eina de desenvolupament humà.

Des d'aquesta enfocament per desgràcia poc habitual, es va veure la possibilitat de donar resposta a una problemàtica molt concreta que afecta a diverses comunitats rurals del nord oest argentí: la baixa qualitat de l'aigua a l'abast per a consum humà que moltes d'aquestes comunitats tenen com a única font d'aigua.

Així, aquest projecta es planteja, per una banda, com un estudi de les alternatives per abastar d'aigua per a consum humà aplicables a comunitats i cases rurals aïllades de les zones àrides del nordoest argentí que pateixen aquesta problemàtica. Per l'altra, es planteja desenvolupar tècnicament la solució escollida en la definició de les característiques concretes que ha de tenir l'abastament d'aigua, al mateix temps que la millor manera de treballar amb la comunitat local la transferència de tecnologia.

2. INTRODUCCIÓ

L'objectiu general del projecte és elaborar un proposta per tal de garantir la seguretat en l'abastament d'aigua potable per a consum humà en comunitats i cases aïllades de les zones rurals del nord oest argentí, en el marc de les línies d'investigació en tecnologies apropiades que es desenvolupen en el grup d'Argentina d'Enginyeria Sense Fronteres.

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

- Dissenyar un mòdul d'abastament d'aigua potable per a consum humà elaborat segons els paràmetres de la Tecnologia per al Desenvolupament Humà.
- Planificar la implantació del mòdul com a Projecte de Cooperació al Desenvolupament.
- Investigar en tecnologies apropiades, dins del context tecnològic dels països en vies de desenvolupament.

És de l'abast d'aquest projecte :

- Estudiar diverses possibilitats d'abastament d'aigua en comunitats rurals del nord oest argentí amb problemes de salinitat a l'aigua.
- Desenvolupar tècnicament l'alternativa escollida.
- La valoració econòmica de la proposta de solució.
- La construcció i experimentació d'un prototipus del mòdul.
- La planificació de l'alternativa escollida com a Projecte de Cooperació per al Desenvolupament.

3. SITUACIÓ I PROBLEMÀTICA ENTORN L'ABASTAMENT D'AIGUA PER A CONSUM HUMÀ

> "Totes les persones, sigui quin sigui el seu grau de desenvolupament i la seva condició social o econòmica, tenen dret a tenir accés a aigua en quantitat i qualitat necessàries per a satisfer les seves necessitats"
> Declaració de la ONU, Mar de Plata 1977

La problemàtica de l'accés a aigua per a consum humà en quantitat i qualitat suficients és comuna en moltes de les comunitats rurals de les províncies de Santiago del Estero, Mendoza o el nord de Córdoba.

Aquestes comunitats es troben aïllades dels nuclis de població, a distàncies superiors als 20 km i no tenen accés a les xarxes d'electricitat, aigua ni telèfon. L'accés per carretera és força complicat pel mal estat dels camins de terra i contribueix al seu aïllament. Són comunitats dedicades principalment a la cria de bestiar o a feines de bosc com la fabricació de carbó o recol·lecció de llenya, en funció de la vegetació disponible.

En el tema de l'aigua, les poques fonts de les que disposen són pous excavats artesanalment o la recol·lecció d'aigua de pluja. Moltes vegades, la qualitat de l'aigua consumida és molt baixa, i perjudicial per a la salut, sobretot la dels infants, la taxa de mortalitat dels quals és força elevada.

El règim de pluges en moltes d'aquests comunitats (a la zona de Mendoza són de 180 litres l'any per metre quadrat), no permeten garantir una reserva d'aigua per tot l'any. En altres zones, arriba fins als 350 litres per metre quadrat l'any, però resulta igualment insuficient. Les altes temperatures afavoreixen l'evapotranspiració de les reserves d'aigua a cel obert.

Algunes comunitats reben servei municipal de transport d'aigua, però la irregularitat del servei i l'elevat preu que en paguen (90 pesos per 800 litres), fa que moltes famílies no en puguin disposar, i segueixin consumint aigua en mal estat.

A continuació es mostra un anàlisi d'aigua fet en una comunitat del nord de Córdoba, on es detecta una alta salinitat de l'aigua i la de bactèries i altres contaminants orgànics. Els valors que presenta aquest anàlisi, superen en molt les concentracions màximes d'alguns

contaminants, tal i com es veurà en l'apartat 4.

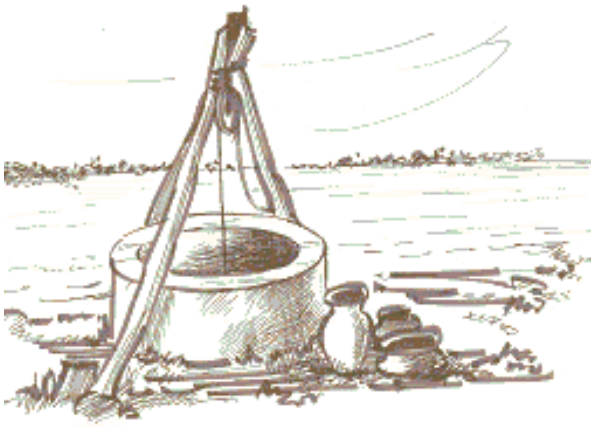
LOCALIDAD: Serrezuela
LUGAR:*Puesto Silva*
FECHA: 06/07/2000
RESULTADOS ANALISIS BACTERIOLOGICOS

Muestra	Nombre	Fuente	Aerobias totales **(UFC/ml)**	Coliformes Totales **(NMP/100ml)**	Coliformes Fecales **(NMP/100ml)**
9	-------	represa	6200	690	345

RESULTADOS ANALISIS FISICO-QUIMICOS

Muestra	Nombre	Arsénico mg/l	Conductividad 20°C µS/cm	Sólidos Totales Disueltos mg/l	Dureza total en Ca CO3 mg/l	pH
9	-------	<0,05	3849	1161	320	7,33

Així, el principal problema radica en la qualitat de l'aigua disponible per a consum humà. S'han de trobar solucions que comportin nous abastaments amb aigua de qualitat suficient o buscar mecanismes de potabilització de les fonts d'aigua actualment existents, per tal de posar fi a la situació de risc de les comunitats rurals davant les malalties transmeses per l'aigua.



4. PARÀMETRES DE REFÈRENCIA EN LA DEFINICIÓ DE LA SOLUCIÓ

En el marc d'intervenció en el que es situa aquest projecte, definit per la problemàtica al voltant de l'aigua, les comunitats rurals d'Argentina i la Tecnologia per al Desenvolupament Humà, descrits en l'Annex B, es pretén definir els paràmetres que ha de seguir la solució que es proposi finalment per garantir l'accés a l'aigua potable de les comunitats rurals i que emprarem posteriorment en el procés de selecció de la millor alternativa per garantir aquest abastament.

Es proposa abastar les comunitats amb aigua en qualitat i quantitat suficients. Així doncs, aquest dos seran els primers paràmetres que haurà de complir el mòdul dissenyat.

El punt més important a garantir amb la solució és el de la qualitat de l'aigua, de forma que l'abastament que es realitzi sigui d'aigua potable. Les malalties provocades pel consum directe d'aigua en mal estat causen milions de morts anualment a tot el món, sobretot entre els infants, i s'ha de garantir que l'aigua que consumeixi la comunitat sigui el més propera als límits establerts per la OMS per tal d'evitar aquestes malalties.

A l'aigua hi podem trobar, principalment:

Matèria dissolta
- gasos (O_2, N_2, CO_2)
- substàncies minerals (Na^+, Ca^{2+} , Mg^{2+}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, K^+, Mn, Fe, As)

Sòlids en suspensió
- matèria inorgànica (terra)
- matèria orgànica (matèria vegetal, matèria animal)

Microorganismes (bactèries, virus, protozous)

De tots aquests elements, els més perniciosos per a la salut són els microorganismes, per les malalties que generen, els que primordialment han d'eliminar els sistemes de purificació d'aigua en aquells casos on, per motius econòmics, no sigui possible l'eliminació de tots els

elements nocius.

Una aigua serà potable quan les seves condicions físico-químiques i microbiològiques no superin cap dels límits establerts com a màxims. La taula següent relaciona les concentracions i valors màxims autoritzats per l'aigua potable en els països membres de la UE i els recomanats per l'Organització Mundial de la Salut en les seves normes internacionals de qualitat de l'aigua per beure, que són els que es prendran com a referència en aquest estudi.

PARÀMETRE	UNITAT	OMS 1995	UE
Ph	-	-	6,5 -9,5
Turbiedad	UNF	5	5
Conductivitat	microS/cm a 20 °	-	2.500
Sulfat	mg/l	250	250
Clorur	mg/l	250	250
Manganès	mg/l	0,5	0,05
Ferro	mg/l	0,3	0,2
Sodi	mg/l	200	200
Nitrats	mg/l	50	50
Nitrits	mg/l	0,5	0,1
Coliformes totals	UFC/100 ml	0	0
Coliformes fecals	UFC/100 ml	0	0

Cal doncs, que l'aigua abastada per la alternativa escollida, s'apropi al màxim a aquests paràmetres.

Pel que fa la quantitat d'aigua que necessita una persona per cobrir les seves necessitats, depèn molt del seu nivell de vida, dels seus hàbits, de les condicions climàtiques, de la disponibilitat, etc. En els països econòmicament desenvolupats, l'estimació del consum per persona i dia és de 150 litres.

En canvi, segons [1], en els països en vies de desenvolupament, aquest consum es redueix dràsticament, des dels 50 litres per persona i dia que es consumeixen en cas de connexió domiciliària, fins als 5 l per persona i dia que es consumeixen en aquelles zones on la font d'aigua potable està a més de 2500 m de distància de la casa. El mínim humanitari és de 4 l persona i dia en zones humides i de 6 litres per persona i dia en les zones àrides.

Si es pren la dada de 30 litres per persona i dia, la distribució d'aquest consum es realitza de la següent manera:

- Beure	5 l
- Sanejament	10 l
- Higiene personal	10 l
- Preparació del menjar	5 l

Si bé és cert que calen uns 30 litres per persona i dia per garantir tots aquests processos humans, no tota l'aigua a emprar cal que tingui la mateixa qualitat potable. Així, si bé l'aigua per beure i cuinar si ha de ser potable, l'aigua per la higiene i sobretot, l'aigua per al sanejament no cal que ho siguin.

Així ens proposem abastar d'aigua de qualitat suficient (potable) cada persona amb un mínim de 10 litres per dia per tal de garantir els processos bàsics, el beure i el menjar. Cal recordar que es pretén abastar per a consum humà, quedant fora d'aquest abastaments l'aigua per regar o abeurar els animals.

Un cop definits els paràmetres essencials del que es pretén aconseguir amb la solució, la qualitat i la quantitat que es requereixen com a mínims, es vol avaluar quins altres paràmetres són importants alhora de determinar el sistema solució.

Amb les finalitats de la Tecnologia per al Desenvolupament Humà, es pretén que la solució s'encabeixi en els paràmetres que defineixen aquesta tecnologia i assoleixi els objectius que aquesta es marca. Els paràmetres de disseny que haurà de incorporar el mòdul d'abastament d'aigua són:

- ✓ Autònom: el sistema no pot comptar amb una xarxa elèctrica al qual connectar-se i si requereix d'energia, el mòdul ha de ser autosuficient.
- ✓ Versàtil: el disseny del mòdul ha de permetre una flexibilitat a l'hora de la implantació, ja que les demandes de producció varien enormement entre comunitats
- ✓ Aplicable a petita escala: L'abastament és de cases aïllades i comunitats petites, amb la qual cosa la solució ha de ser de la mateixa escala que el problema

- ✓ Econòmic: el cost d'implantació i explotació del sistema solució ha d'estar a l'abast de l'economia dels camperols, és a dir, que el cost final per m^3 d'aigua destil·lada sigui inferior al cost de les solucions que s'estan aplicant actualment.
- ✓ Manejable pels usuaris: El grau de coneixements per operar i fins i tot reparar el sistema solució han d'estar a l'abast dels camperols.
- ✓ Elaborat amb materials locals: Garantir l'accessibilitat als recanvis per tal que el sistema no s'abandoni en aparèixer el primer problema.
- ✓ Durador: el seu ús ha de ser possible durant molts anys, independentment de factors externs que poguessin afectar el seu ús o el seu manteniment.
- ✓ Sostenible: La introducció del mòdul no ha de generar una nova dependència de la comunitat amb l'exterior per al seu funcionament, sinó, precisament, reforçar la seva capacitat d'autosuficiència.
- ✓ Fabricable amb mà d'obra local: Per tal de reduir els costos de fabricació i implantació.

5. PLANTEJAMENT DE LES ALTERNATIVES

Un cop ubicats en el context d'aplicació de la solució i coneixent els paràmetres que definiran la solució plantejada, anem a plantejar les tres alternatives que estudiarem per tal de garantir la seguretat en l'abastament d'aigua per a consum humà.

Existeixen, indubtablement, gran quantitat de solucions i tècniques que podrien assolir aquest objectiu. Malgrat això, no totes són aplicables a tots els indrets; hi ha gran quantitat de factors que determinaran les possibilitats d'èxit de la implantació de la solució. És per això que s'han plantejat tres alternatives d'abastament d'aigua, algunes de les quals ja es venen implantant en comunitats rurals i algunes altres encara no han estat mai introduïdes. Aquestes alternatives són:

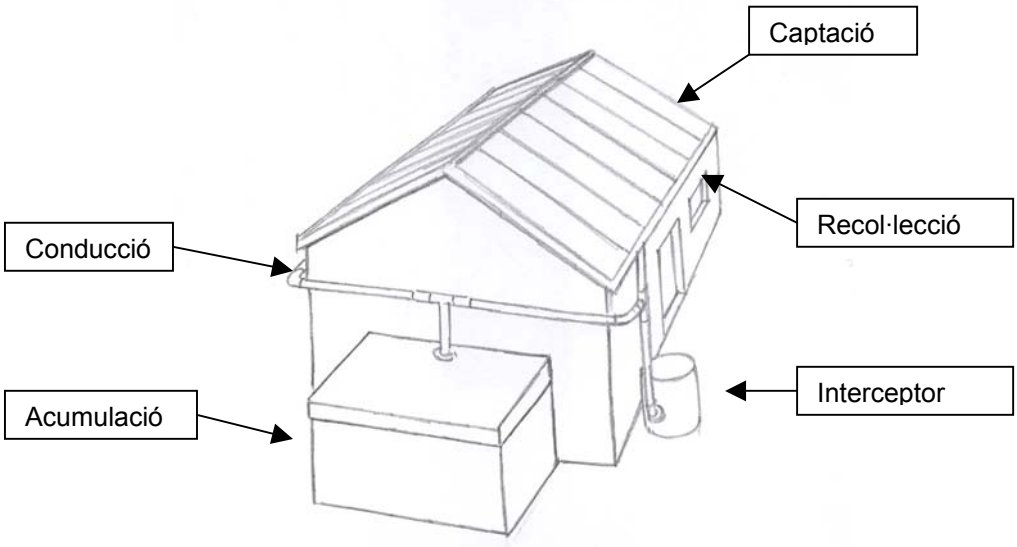
1. Recollida d'aigua de pluja.
2. Dessalació d'aigua per Osmosi Inversa.
3. Dessalació d'aigua per Destil·lació Solar

A continuació, estudiarem cadascuna d'aquestes alternatives i en el següent apartat, les compararem segons els criteris establerts per tal de determinar la millor alternativa. S'han descartat algunes solucions, entre les quals en volem destacar dues. Una d'elles és la conducció d'aigua des d'alguna central de bombeig que existeixi als voltants. En primer lloc, perquè les distancies que hauria d'ésser conduïda l'aigua són majors de 40 km i posteriorment, distribuïda a cases que solen estar a més de 2 km unes d'altres, essent molt cara tant pel que fa la instal·lació de canonades com pel manteniment del sistema d'impulsió de l'aigua.

L'altra solució que no s'analitzarà, és la solució actual de la qual disposen moltes d'aquestes comunitats per garantir l'accés a l'aigua. Parlem del transport d'aigua amb camions cisterna que periòdicament es desplacen des dels pobles fins a les comunitats més allunyades per vendre aigua. Malgrat pertànyer a les municipalitats, els preus d'aquesta aigua solen ser molt alts, i el principal inconvenient associat a aquesta solució és la dependència que es genera amb l'exterior. Arribar fins les comunitats no es senzill, i sovint els camins estan impracticables durant setmanes. Aquest fet fa que, sovint, les comunitats no rebin el subministrament d'aigua necessari.

5.1 Captació d'aigua de pluja

La captació d'aigua de pluja és un mitjà fàcil per obtenir aigua per a consum humà i/o agrícola. En la captació d'aigua per a finalitats domèstiques, s'acostuma a emprar la superfície del sostre com a captació. Aquest model, a part de facilitar la captació, minimitza la contaminació de l'aigua. Addicionalment, els excedents d'aigua poden ser emprats en petites àrees verdes per a la producció d'alguns aliments que serveixin per a completar la dieta de les famílies.



El sistema de captació d'aigua de pluja en teulades està composat pels següents elements:

a) <u>Captació</u>

La captació està conformada pel teulat de l'edificació, el mateix que ha de tenir la superfície i el pendent adequat per a que faciliti l'escorriment de l'aigua de pluja cap el sistema de recol·lecció.

En els habitatges dels camperols, la majoria de teulats solen estar fets de palla i fang, que malgrat ser un possible material de captació, no és el més indicat, ja que allibera lignina i taní, que confereixen color groguenc a l'aigua, però que no ha de tenir major impacte en la salut si la intensitat és baixa. Existeixen altres materials que es poden

situar sobre els teulats existents per millorar l'escorriment i la qualitat de l'aigua recollida, com teules de fang o planxes metàl·liques ondulades.

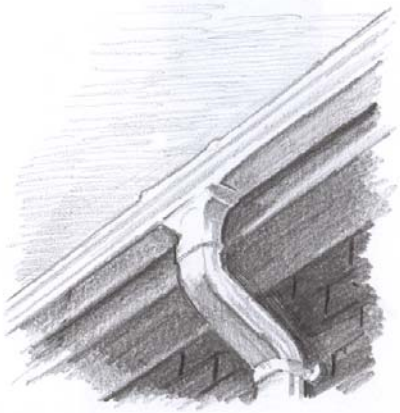
Es proposa una coberta complementària de planxa metàl·lica ondulada, fàcil d'instal·lar i que requereix poques atencions i que té una vida útil molt elevada. La planxa metàl·lica, però, pot resultar costosa i difícil de trobar a la zona.

b) Recol·lecció i conducció

És la part del sistema que ens condueix l'aigua recol·lectada per la coberta directament al tanc de recol·lecció. Està conformat per canaletes que van adossades en les vores més baixes del teulat, on l'aigua tendeix a acumular-se abans de caure al terra.

El material de la canaleta ha de ser lleuger, resistent a l'aigua i fàcil d'unir amb ell mateix, per tal de reduir les fuites d'aigua. A tal efecte es poden emprar materials com el bambú, la fusta, el metall o el PVC.

En aquest cas, es proposa canaletes de metall, per ser les que més duren i les que menys manteniment requereixen. Aquestes canaletes les fixarem a la teulada mitjançant filferro, fusta i claus. Per una altra banda, és molt important evitar que el material que s'empri per a les juntes contamini l'aigua amb substàncies orgàniques o inorgàniques. Al mateix temps, cal que el sistema de canaletes disposi de malles per retenir elements com fulles d'arbre, excretes d'animals, etc., ja que podrien obturar la canonada.



c) Interceptor

Conegut també com a dispositiu de recollida de les primeres aigües provinents del rentat del sostre i que conté tots els materials que hi ha en el moment d'inici de la precipitació. Aquest dispositiu evita que els materials no desitjats ingressin en el tanc d'acumulació i d'aquesta manera minimitzar la contaminació de l'aigua emmagatzemada i de la que es vagi a emmagatzemar posteriorment.

El disseny del dispositiu ha de tenir en compte el volum d'aigua necessària per rentar el sostre i que s'estima en 1 litre per metre quadrat de sostre.

Es proposa recol·lectar l'aigua resultant del rentat del sostre en un dipòsit de plàstic, dimensionat segons la superfície de captació. Un cop assolida la quantitat que es consideri necessària per al rentat de sostre (1 litre per m^2 de teulat), el sistema deriva l'aigua captada cap al dipòsit d'emmagatzematge.

d) Acumulació

És l'obra destinada a emmagatzemar el volum d'aigua de pluja necessari per el consum diari de les persones beneficiades amb aquest sistema, especialment durant els períodes de sequera.

El disseny del tanc d'acumulació ha de ser durador i a tal efecte ha de complir amb les especificacions següents:

- Impermeable per evitar la pèrdua d'aigua per goteig o transpiració.
- De no més de 2 metres d'alt per tal de minimitzar les sobrepressions.
- Dotat de tapa per impedir l'entrada de pols, insectes i de la llum solar.
- Disposar de trampeta suficientment gran per tal de permetre l'ingrés d'una persona per la reparació i el manteniment.
- Estar dotat d'un dispositiu per a l'extracció d'aigua i el drenatge, protegida per una reixa que eviti l'entrada de pols, insectes, etc.

A l'hora de pensar en els tipus de tancs d'acumulació, cal tenir en compte la disponibilitat de materials en la zona i, sobretot, les habilitats constructives locals, per tal

que els tancs puguin ser construïts per la pròpia comunitat.

Així es proposa la construcció dels tancs amb morter (ciment-sorra), per la absència de pedres en el terreny que permetin la construcció en formigó, i en canvi abunda la sorra. Aquest morter s'aplica sobre motlles de algun altre material amb una forma predefinida. L'altra possibilitat és la construcció del dipòsit amb ferrociment, una tècnica constructiva senzilla que consisteix en el buidat en motlles concèntrics d'acer.

Es convenient que l'aigua emmagatzemada i destinada a consum humà sigui tractada, per eliminar-ne les partícules que no han estat retingudes pel sistema interceptor i per l'acondicionament bactereològic. Això es pot fer mitjançant un filtre de sorra amb purificació solar.

Els filtres de sorra són infrastructures l'objectiu dels quals és filtrar l'aigua per tal d'aconseguir que el fluent del filtre tingui unes característiques determinades de qualitat. Es construeixen de formigó, amb diverses capes de sorra i grava de mida de gra variable per aconseguir dipositar la Matèria en Suspensió (MES) y part de la Matèria Dissolta (MD) presents en l'aigua filtrada. La retenció es produeix per efecte del tamisat en els filtres lents en la capa superficial més fina, i per tamisat i altres efectes d'interacció dels grans del llit filtrant i la mida de les partícules de MES i MD presents en l'aigua i retingudes per ella mateixa.

Disseny del sistema de captació

Per tal de dissenyar aquests sistemes de captació d'aigua de pluja de manera que responguin a les necessitats de la comunitat, cal tenir en compte aquests punts:

- Precipitació mitjana a la zona en els últims 10 anys,
- Tipus de material amb la que serà construïda la superfície de captació,
- Número de persones beneficiades, i
- Demanda d'aigua.

El que es necessita determinar és el volum del dipòsit d'acumulació d'aigua, ja que la superfície de captació està determinada per les dimensions de les teulades de l'habitatge.

Es pren un habitatge de la Comunitat de Las Lagunas, a Mendoza com a exemple, composat per 6 persones, Nu= 6. L'habitatge en el que viuen té una superfície de teulada en projecció plana de 38 m^2, essent Ac =38.

PRECIPITACIONS MENSULAS A MENDOZA (1991-2000)												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pp (mm)	48,2	38	34,7	13,4	7,9	3,6	12,2	5,3	13,2	8,2	15,2	23,3

Com s'ha comentat, la solució que es dissenya contempla la instal·lació d'un teulat de xapa metàl·lica ondulada, que té un coeficient d'escorriment del Ce = 0'9.

Per tal de calcular l'abastament d'aigua mensual parcial ,s' emprarà la fórmula

$$Ai = \frac{Pp\ x\ Ce\ x\ Ac}{1000}$$

on Ai és l'abastament parcial mensual.

D'aquesta manera obtenim la següent taula,

MES	PRECIPITACIÓ	ABASTAMENT	
	(mm)	Parcial (m3)	Acumulat (m3)
E	48,2	1,47	1,47
F	38,0	1,16	2,62
M	34,7	1,05	3,68
A	13,4	0,41	4,08
M	7,9	0,24	4,32
J	3,6	0,11	4,43
J	12,2	0,37	4,80
A	5,3	0,16	4,96
S	13,2	0,40	5,37
O	8,2	0,25	5,61
N	15,2	0,46	6,08
D	23,3	0,71	6,79

Es pot observar que la oferta anual d'aigua que ens ofereix la teulada de 38 m^2 dóna al llarg d'un any és de 6'79 m^3. Si es considera una reserva de 0'5 m^3 d'aigua, es té que la dotació diària d'aigua per a cada persona que habita a l'habitatge tipus és:

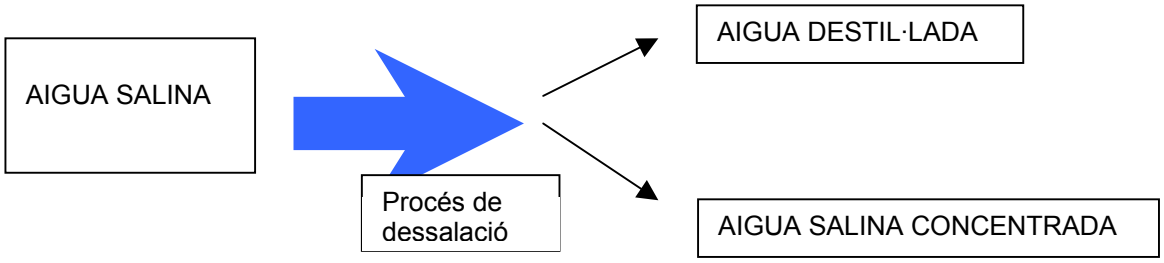
$$\frac{(6{,}79m^3 - 0{,}5m^3)\ x\ (1000lt/m^3)}{365dies\ x\ 6\ hab} = 3{,}65\ \ lts/\ hab{\cdot}dia$$

Així, seria insuficient considerar com a superfície de captació únicament la teulada, i s'haurien d'habilitar superfícies de captació alternatives per tal de garantir el subministrament d'aigua de 10 litres que s'ha definit.

Així, la superfície de captació necessària per a garantir l'abastament és de 95 m^2.

5.2 La Dessalació

La dessalació és el procés de separació de les sals d'una solució aquosa, però que pot ampliar-se al procés de separació de l'aigua de les sals, ja que existeixen tecnologies que realitzen aquest procés i l'objectiu final de les quals és la separació d'ambdós components per a l'ús humà de l'aigua dolça producte.



Si el procés de dissolució de les sals en l'aigua fos un procés reversible, es pot calcular la quantitat mínima d'energia necessària per dessalar mesurant l'energia necessària per a la dissolució de sals en aigua pura, segons la formula de El-Sayed Silver de 1980:

$$W_{min} = Ln\ (a_W)\cdot T \cdot R$$

on W_{min} es l'energia que es desprèn en el procés de mescla (kWh/m3) , R és la constant universal dels gasos (R=0.082 atm·l/K·mol), T és la temperatura absoluta de la mescla (T=Temperatura (º C)+273.15), y a_w és l'activitat dels electròlits que composen la dissolució salina, de valor proper a la unitat per a aigües marines. L'energia depèn fortament de la concentració dels sòlids dissolts; així, segons [2], l'energia necessària per una aigua bruta mitja de mar de 35.000 ppm de total de sòlids dissolts (TDS) a 25ºC és de 0'88 kWh/m3.

Malauradament, no existeix cap procés que permeti aquesta reversibilitat i la tecnologia actual aconsegueix dessalar amb un cost energètic com a mínim 5 vegades superior al teòric.

Existeixen un elevat nombre de tecnologies per a l'assoliment de l'objectiu de la dessalació. A continuació les classifiquem segons 3 criteris: Separació, energia usada i procés físic emprat.

SEPARACIÓ	ENERGIA	PROCÈS	MÈTODE
Aigua de sals	Tèrmica	Evaporació	Destil·lació sobtada (flash)
			Destil·lació multiefecte
			Termocompressió del vapor
			Destil·lació solar
		Cristal·lització	Congelació
			Formació d'hidrats
		Filtració i evaporació	Destil·lació amb membranes
	Mecànica	Evaporació	Compressió mecànica vapor
		Filtració	Osmosi Inversa
Sals d'aigua	Elèctrica	Filtració Selectiva	Electrodiàlisi
	Química	Intercanvi	Bescanvi iònic

Font: [2]

A l'annex F, es descriuen totes les tecnologies de dessalació que existeixen. Es presenta a continuació una taula amb una descripció resumida dels principals avantatges i inconvenients d'aquestes tecnologies i s'avalua quines d'elles són aplicables a petita escala.

Taula comparativa de les diferents tecnologies de dessalació

TECNOLOGIA DE DESSALACIÓ	AVENTATGES	INCONVENIENTS	APLICABLE A PETITA ESCALA
Destil·lació sobtada (flash)	✓ Especialment vàlid quan la qualitat de l'aigua aportada és molt baixa. ✓ Permet fàcilment el seu acoblament a plantes de cogeneració. ✓ Capacitat altíssima, per la quantitat d'etapes connectades en cascada, de fins a 50.000 m3 al dia.	❖ El seu consum específic (quantitat d'energia consumida per m3 d'aigua dessalada) és el més alt de tots els processos. ❖ Cost d'instal·lació alt	NO

Destil·lació multiefecte	✓ Un rendiment global millor respecte a les plantes tipus MSF ✓ Consum elèctric inferior a les plantes MSF	Problemes d'incrustacions per la cristal·lització de les sals.	NO
Termocompressió del vapor	✓ Capacitat dessaladora molt alta (major que les MED) ✓ Flexibilitat en la presa del vapor de les plantes productores del mateix.		NO
Destil·lació solar	✓ Cost energètic nul ✓ Escassa inversió inicial ✓ Sostenibilitat	❖ Escassa producció per m2 de col·lector ❖ Baixa rendibilitat a gran escala ❖ Dependència de les condicions climàtiques	SI
Compressió mecànica vapor	✓ Consum específic inferior a tots els altres processos.	Capacitat màxima de les instal·lacions en 5.000 m3/dia, per causa de la mida limitada dels compressors volumètrics de baixa pressió.	NO
Osmosi Inversa	✓ Consum específic baix (6-8 kWh/m3) ✓ Adaptabilitat i flexibilitat de la producció. ✓ Costos d'inversió inferiors a les altres tecnologies de destil·lació.	❖ La qualitat de l'aigua produïda és inferior a la dels processos evaporatius. Les limitacions de les membranes no permeten tractar totes les aigües.	SI

Les dues úniques tecnologies que poden resultar adequades per abastar les comunitats rurals aïllades són la destil·lació solar i la dessalació per Osmosi Inversa. Aquestes dues alternatives són les que es desenvolupen com les dues opcions d'abastament d'aigua mitjançant la dessalació.

5.2.1 La dessalació per Osmosi Inversa

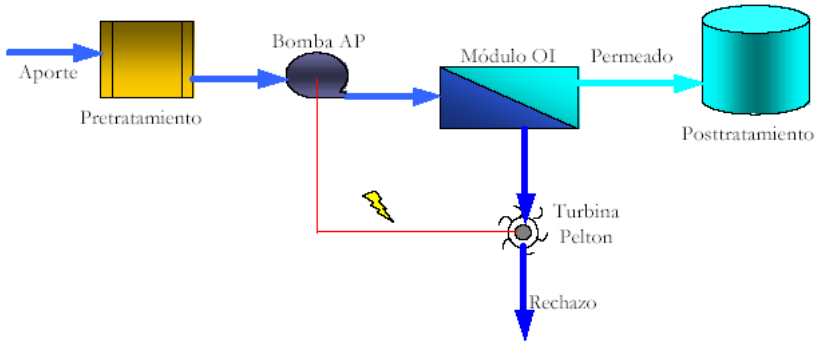
L'obtenció d'aigua potable per Osmosi Inversa (OI a partir d'ara) a petita escala en zones rurals és una solució que, si bé actualment no té gaire implantació, presenta moltes potencialitats a l'hora de garantir el consum d'aigua en qualitat suficient. Si bé el rang de producció d'aigua potable de les plantes d'OI varia des de el centenar de litres l'hora als milers de litres hora, a l'hora de plantejar un abastament familiar o comunitari, es pot trobar que la producció d'aigua superi àmpliament les demandes de consum humà de la mateixa.

Aquest fet, si bé és positiu perquè permet ampliar els usos a la producció agrícola i ramadera, fa difícil la seva implantació a nivell familiar, pels elevats costos que poden tenir els diferents elements del mòdul. Així que es plantejarà l'alternativa a nivell comunitari; en la comparació d'alternatives es tindrà en compte aquest fet.

Per a la implantació d'un sistema de dessalació, és vital tenir disponible una font d'aigua salina permanent, que permeti l'abastament al sistema de dessalació. És fa de vital importància quan la producció d'aigua supera el centenar de litres, ja que cal instal·lar un sistema d'alimentació d'aigua salina al mòdul de potabilització.

Igualment, el sistema d'OI requereix d'una font d'energia per alimentar les bombes i els equips de pressió que permeten el seu funcionament. El que es planteja és alimentar el mòdul per energia solar, ja que les comunitats poques vegades disposen de connexió a xarxa elèctrica

Les diferents parts que composen un mòdul d'abastament i potabilització d'aigua per OI són:



Font: [2]

a) Sistema d'alimentació:

Cal que el sistema disposi d'un sistema que abasti el mòdul de la quantitat d'aigua suficient per tal de garantir el bon funcionament del mateix. Això requereix disposar d'un font d'aigua salina permanent per garantir que el sistema no deixi de funcionar. Existeixen varies possibilitats, en funció de la comunitat on s'implanti la solució. En primer lloc, abastar el sistema amb una perforació a un aqüífer d'aigua salina, des del qual, per bombeig, s'abasti un dipòsit d'acumulació d'aigua salina. En algunes comunitats ja existeixen aquestes perforacions, realitzades amb l'ànim de trobar aigua dolça i que actualment estan en desús. L'altra solució és, en aquelles comunitats on hi ha cursos d'aigua salina superficials (principalment en les comunitats del desert de Lavalle, a Mendoza), bombejar aigua d'aquests cursos, que presenten una alta concentració de partícules en suspensió i de salts dissoltes cap al dipòsit d'acumulació o des dels sistemes d'acumulació d'aigua superficials (represes) cap al dipòsit d'acumulació. El que en cap cas és viable, per l'increment de cost que representarà, és l'excavació d'un nou pou per abastar aquest sistema.

Així doncs, es proposa un bombeig solar des de la font d'aigua salina que serà diferent en funció de cada comunitat (aigües subterrànies o superficials) cap a un dipòsit d'acumulació que ens servirà per abastar el mòdul de potabilització.

b) Sistema de Pre-tractament:

Aquest sistema prepara l'aigua que ha de travessar la membrana per evitar l'obturació de la mateixa i optimitzar la pressió necessària per a que es produeixi el procés d'OI. El sistema emprat són filtres de cartutxos de prolipropilè que retenen les partícules en suspensió i regulen el PH, inhibint la producció de calcificacions a les membranes.

c) Sistema de Pressurització:

La bomba de pressió incrementa la pressió de l'aigua d'alimentació pretractada fins la pressió d'operació determinada per la membrana i la salinitat de l'aigua d'alimentació.

La pressió necessària per el bon funcionament del mòdul quan l'aigua és salina (no aigua de mar) està compresa entre els 250 psi i els 400 psi. La bomba pot ser de desplaçament positiu o centrífuga per etapes.

d) Sistema de Separació:

En aquesta fase es produeix el fenomen de la Osmosi Inversa tal i com s'ha explicat, i en resulten dos productes: una solució amb una altíssima concentració de sals (rondant els 30.000 ppm) i la solució filtrada, amb menys de 500 ppm de sals dissoltes. Les membranes de OI presenten diverses configuracions. Estan normalment fabricades en cel·lulosa d'acetat, poliamides aromàtiques i, cada cop més usuals, films de composite de polímers.

e) Sistema de Post tractament:

Les membranes d'OI no són perfectes en la seva funció de rebutjar les salts dissoltes, i un petit percentatge travessa la membrana i roman a l'aigua resultant. Per això, cal realitzar un post tractament que sol consistir en un ajust del PH, de 5 fins a 7 i una desgasificació, que es realitza mitjançant una columna d'aireació. Un cop finalitzat el procés, l'aigua és descarregada fins un dipòsit d'acumulació per al seu us posterior.

Com és evident, els processos de pre-tractament, separació i post tractament cal realitzar-los amb aparells d'un nivell tecnològic alt. Així, es fa gairebé impossible la seva autoconstrucció o disseny. D'aquesta manera, es proposa la compra d'una planta ja construïda, i que es comercialitzen actualment.

Pel que fa l'energia necessària per al funcionament de la planta, es proposa l'ús de plaques fotovoltaiques. El dimensionat de la instal·lació dependrà de la potència que consumeixi el mòdul d'OI, que alhora dependrà de la pressió de separació. Aquesta pressió ens marcarà el cabal d'aigua osmotizada resultant.

La instal·lació fotovoltaica constarà dels següents elements :

- Plaques fotovoltaiques:
- Regulador
- Inversor
- Bateria

Disseny de la instal·lació

Es proposa fer el disseny d'un mòdul per abastar d'aigua per a consum humà una comunitat formada per unes 10 famílies. El sistema d'Osmosi Inversa no permet el disseny d'un mòdul familiar.

En el rang de producció baix-mig dels mòduls de dessalació per osmosi inversa, es proposa seleccionar una planta d'OI amb les característiques que es presenten a continuació.

Flux d'aigua nominal (l/hora)	125
Rang de funcionament (l/hora)	75 – 175
Potència nominal (kW AC)	2,2
Salinitat del producte	< 500 ppm

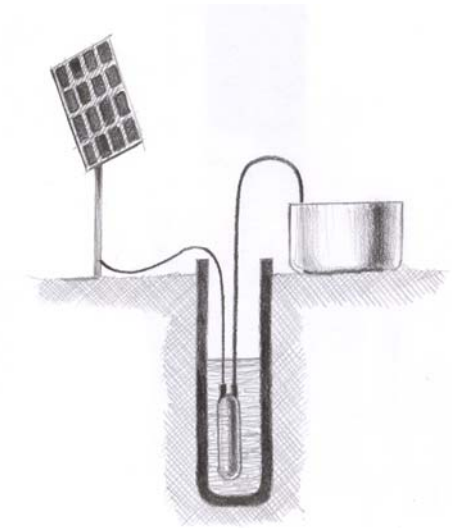
Cal esmentar que es realitza el disseny d'una instal·lació tipus, i que el model de plantes d'OI variarà en funció de les necessitats i les característiques de cada comunitat.

Així, per un dia mitjà, l'aigua produïda per aquest mòdul serà de 950 l.

Com s'ha vist, cal dissenyar el sistema d'acumulació d'aigua, que estarà format per una bomba alimentada amb energia solar directe que portarà l'aigua salina fins un primer dipòsit d'acumulació. La demanda d'aigua salina diària serà, doncs, Vd=1000 l. Si suposem una profunditat d'extracció de la bomba de H=15 metres de profunditat i una radiació solar mitjana diària de Gd= 5 kWh/ m2·dia, a través de

$$P_{SG} = 11.6 * \frac{H * V_d}{\overline{G_d}}$$

trobem que la potència necessària de la bomba acoblada a la placa solar és de 250 w. La configuració de les bombes solars directes és la que es representa en el gràfic següent:



Un cop definit el sistema d'alimentació, cal dimensionar la instal·lació fotovoltaica per tal de garantir el bon funcionament de la planta.

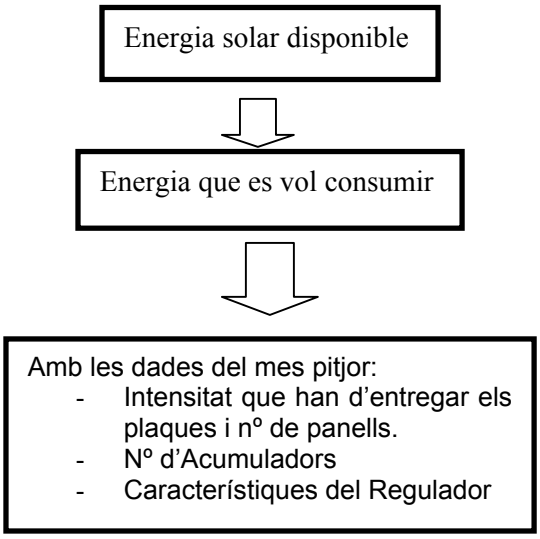
Els elements que composen una instal·lació solar fotovoltaica són:

1	Generadors fotovoltaics	Converteix la radiació solar incident en energia elèctrica; les plaques estan fetes de silici cristal·lí i contenen de 32 a 36 cèl·lules.
2	Acumulador	El tipus de bateries emprades en Energia Solar Fotovoltaica són habitualment de Plom-Àcid, malgrat són millors les de Ni-Cd.
3	Regulador de càrrega	Desconnecten les plaques de la bateria per evitar sobrecàrregues i la bateria dels equips per evitar sobredescàrregues. S'empren Reguladors tipus Sèrie.
4	Equips de consum	El mòdul de dessalació per osmosi inversa
5	Convertidors DC/AC	Transformen la corrent en ona sinusoïdal. Han de ser fiables davant sobre corrents i tenir una eficiència de conversió aprox. 70%

Per tal de dimensionar la instal·lació, que en el cas d'aquest estudi té un consum nominal de

2’2 kW, s’emprarà el mètode del *mes pitjor*.

El procediment de càlcul és:



Decisions prèvies

Dies d’autonomia (N)	3
Tensió nominal (V_N)	12 V

Dades Generals

Latitud de l’Indret : $\phi = -35º$

Dades de Radiació:

IRRADIACIÓ MITJANA MENSUAL (kWh/m^2)												
Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
	7.60	7.16	5.07	3.48	2.25	1.60	1.95	2.85	3.91	5.33	6.90	7.31

Per instal·lacions amb consums similars al llarg de l’any, com és el cas del consum d’aigua, la inclinació (β) de les plaques és de ϕ + 10. Per tant, en el nostre cas, **β = 45º.**

Per trobar la irradiació global sobre la superfície inclinada Gdm (β),

$$\mathbf{Gdm\ (\beta)} = A \times Gdm\ (0) + B \times (Gdm\ (0))^2$$

Emprant unes taules de posicionament solar, es determinen els paràmetres B, depenent de la latitud i de l'angle d'inclinació, i A, funció de l'angle b i un coeficient r relacionat amb la reflectivitat del terra, que en el nostre cas serà r = 0.2. Pel mes pitjor, que en aquest cas és el juny, Gdm (0) = 1.60 kWh/m^2

La radiació solar incident sobre les plaques serà: **Gdm (b) = 2,29 kWh/m^2**

Característiques dels elements

PANELLS

Tensió de màxima potència (V_{pmax})	24 V
Intensitat de màxima potència (I_{pmax})	6,32 A

ACUMULADORS

Capacitat nominal a 100 H (c_{NBat})	119 Ah
Tensió nominal (V_{NBat})	12 V

REGULADOR

Tensió nominal (V_{Nreg})	12 V
Intensitat màxima (I_{maxReg})	60 A

CONVERTIDORS

Tensió nominal (V_{Nconv})	12 V
Potència Instantània (P_{IConv})	2.500 W
Rendiment al 70%	85 %

L'energia total que consumirà el sistema és:

E_{total} = Potència equips (w) x Us (h/dia) / η_{70}

E_{total} = 20.705,9 W

I_{Mmax} = 1,2 x (E_{total} /Gdm (β)) x V_N

I_{Mmax} = 130,2 A

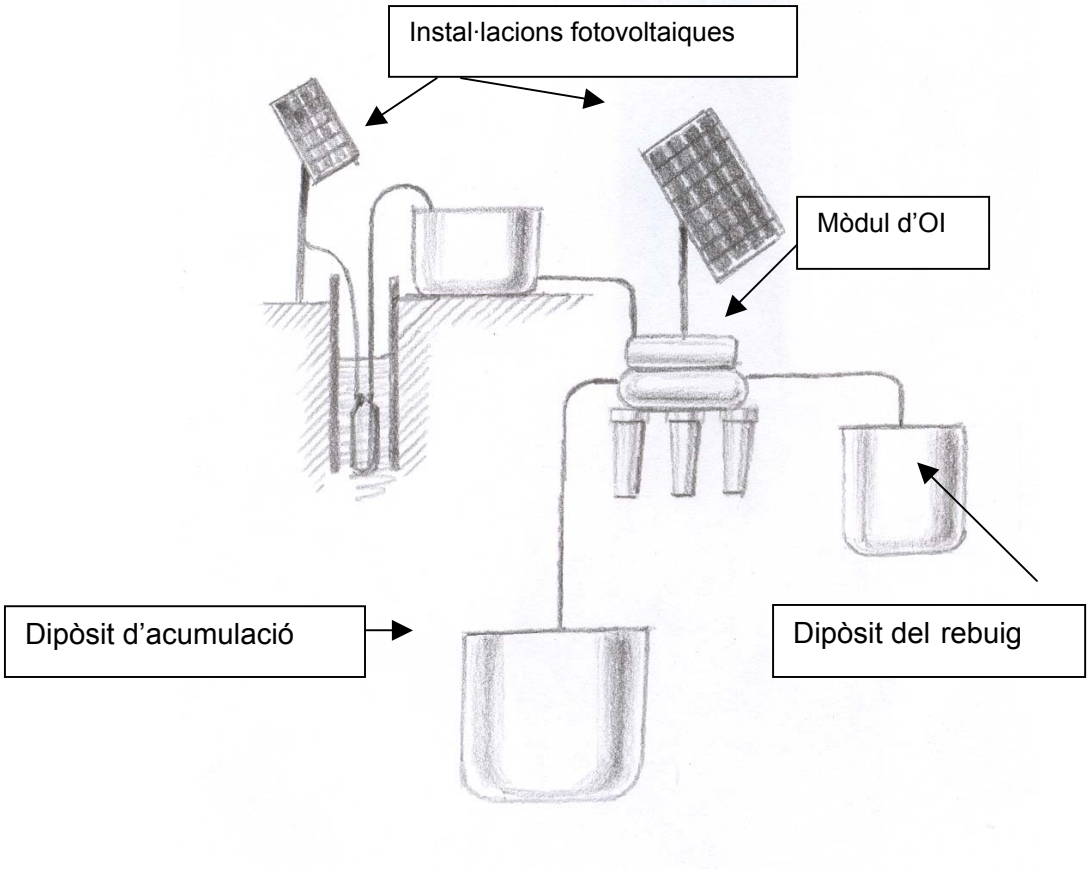
Es dimensiona el nombre de plaques a partir de l'energia total consumida i la intensitat màxima.

Plaques en sèrie: $N_{ps} = V_N / V_{Pmax}$ $N_{ps} = 1$

Plaques en paral·lel: $N_{pp} = I_{Mmax} / I_{Pmax}$ $N_{pp} = 21$

Per tant, es necessitaran 21 plaques en paral·lel per abastar el mòdul de dessalació solar per Osmosi Inversa, i a partir d'això es dimensionen la resta d'elements del circuit solar.

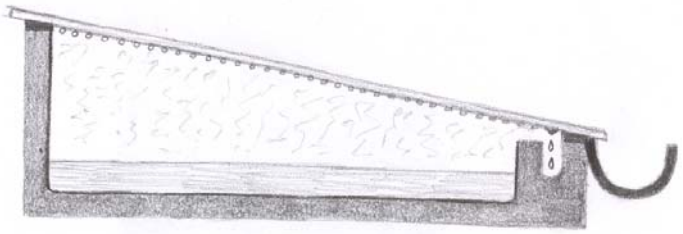
Arribats en aquest punt, només caldrà realitzar un tanc d'acumulació de l'aigua resultant per al seu consum. Al igual que el d'alimentació, la mida proposada per aquest tanc és de 3 m^3.



5.2.2 La destil·lació solar

La destil·lació solar es presenta com una bona alternativa per cobrir les necessitats bàsiques de les poblacions rurals disperses que pateixen la manca d'accés a aigua en condicions per al seu consum.

La destil·lació solar aprofita la calor del sol directament en un simple sistema de captació per tal de purificar l'aigua. Aquest equip, anomenat destil·ladora solar, consisteix bàsicament en una safata poc profunda amb una coberta de vidre transparent. El sol escalfa l'aigua a la safata, i a causa de la coberta de vidre i el segellament de la destil·ladora, es produeix l'efecte hivernacle, que provoca l'evaporació de l'aigua. El vapor puja, condensa a la coberta, que es troba a temperatura inferior per efectes del vent, i s'escola cap els conductes d'evacuació, deixant enrera les sals, els minerals i la majoria d'altres impureses, incloent els gèrmens.



El cicle de la destil·ladora reprodueix el cicle de l'aigua a la natura i l'aigua resultant de la destil·lació té unes propietats similars a l'aigua de pluja. Sobre l'absència de sals necessàries pel cos humà de l'aigua produïda, es sol mesclar aquesta amb una certa quantitat de l'aigua que es destil·la, per garantir la presència d'aquestes sals en l'aigua per a consum humà.

Pel que fa la qualitat de l'aigua produïda, el procés de destil·lació solar és d'altíssima eficiència pel que fa la remonició dels contaminants no volàtils. Segons resultats experimentals [3] , l'eficiència pel que fa l'eliminació de la salinitat, la duresa, els nitrats i els

fluors és del 99%. Igualment succeeix amb altres contaminants inorgànics com l'arsènic o el molibdè. I pel que fa l'eliminació de bactèries i coliformes, l'eficiència arriba al 99,9%, si el procés es fet amb cura. Així, la destil·lació solar presenta una aigua resultant d'una altíssima qualitat davant aigües com les plantejades en l'apartat 3 d'aquest estudi.

La principal característica d'aquest sistema de dessalació és que no requereix cap tipus d'aportació energètic més enllà del propi Sol. D'aquesta manera, en aquelles regions que, com les de l'estudi, presenten una alta insolació, s'evita la necessitat d'instal·lació de generadors d'energia elèctrica o mecànica, reduint d'aquesta manera els costos d'instal·lació.

D'altra banda, però, la productivitat d'aigua destil·lada per metre quadrat de destil·ladora és força baixa, d'uns 4 o 5 l/m^2·dia de mitjana anual, condicionat, òbviament, per les variacions estacionals i climatològiques en la irradiació diària rebuda per la destil·ladora. No obstant, pel gairebé nul cost de manteniment i producció, és una bona alternativa per a l'abastament de petites comunitats i cases aïllades.

Hi ha una altra característica interessant de les destil·ladores i és que poden actuar també com a superfície de captació d'aigua de pluja. D'aquesta manera augmenta, de manera global, la quantitat d'aigua que pot oferir per metre quadrat la destil·ladora

La instal·lació d'un mòdul d'abastament d'aigua que inclogui la destil·lació solar com a element potabilitzador, consta de les següents parts:

a) <u>Sistema d'alimentació</u>

Cal omplir les dessaladores amb aigua salina provinent o bé de pous on l'aigua no sigui apte pel seu consum o bé de captacions superficials o cursos d'aigua allà on sigui possible. No és una operació que calgui realitzar diàriament, ja que les destil·ladores emmagatzemen l'aigua salina mentre la destil·len.

Es proposa, sempre que la mida de la instal·lació no requereixi una altra solució, l'omplerta manual de les destil·ladores.

b) Sistema de destil·lació

És la destil·ladora pròpiament dita, que destil·la l'aigua introduïda per evaporació i produeix aigua amb una mínima concentració de substàncies dissoltes. Una destil·ladora tipus es compon dels següents elements:

a. Safata: La safata conté l'aigua salina que s'anirà destil·lant i ha de ser de color negre preferentment per absorbir millor la radiació solar i impermeable. Pot ser un element amb forma pròpia situat a l'interior de la destil·ladora o pot estar conformada pels propis elements estructurals de la destil·ladora, com sol ser més usual. En aquest darrer cas, al material estructural se li aplica un recobriment de pintura asfàltica o de goma butílica per donar-li el color negre.
b. Elements estructurals: Són els qui donen forma a la destil·ladora i suporten els diversos elements que la conformen, com la safata o la coberta. Existeixen moltes propostes de materials per la estructura de la destil·ladora, essent els més emprats el ciment, totxanes, plàstics com fibra de vidre o poliuretà i fins i tot la fusta.
c. Coberta: És l'element que permet el pas de la radiació solar i que fa de tancament superior de la destil·ladora, mantenint una certa inclinació sobre la horitzontal. Té una doble funció, ja que a més, sobre la seva superfície inferior condensa el vapor que es genera per l'escalfament de l'aigua salina. El millor material per fer la coberta és el vidre ordinari. Existeixen plàstics més econòmics i amb propietats òptiques similars a les del vidre, però es degraden més ràpidament per les altes temperatures i la seva mullabilitat, que permet l'escolament de les gotes condensades coberta avall, és inferior a la del vidre.
d. Conductes d'evacuació: Situats a l'extrem inferior de la coberta inclinada i en recullen les gotes de condensat per conduir-les fora de la destil·ladora. Com la safata, poden estar integrades en els elements estructurals. Si no és així, els materials més habituals són l'acer inoxidable o la goma. En les destil·ladores adaptades per la captació d'aigua de pluja, hi ha una canaleta de recollida de l'aigua que s'escola per la superfície superior de la coberta.

e. Conductes d'entrada: És l'espai per on s'omple la safata amb aigua salina. Pot ésser un forat taponable a una paret lateral de la destil·ladora.
f. Elements auxiliars: Inclouen els aïllants, els segellants, les vàlvules i les canonades.

c) Sistema d'emmagatzematge

Des dels conductes d'evacuació l'aigua és conduïda fins als dipòsits d'acumulació. Si hi ha pocs destil·ladors, cadascun pot tenir el seu acumulador, que pot ser una garrafa de vidre o de plàstic. Si no, tota l'aigua pot ser conduïda a un únic dipòsit, que haurà d'estar a una altura inferior de la dessaladora.

Sobre aquesta model bàsic de destil·ladores solars, existeixen gran quantitats de variacions i modificacions per tal de millorar el seu rendiment per metre quadrat.

Algunes d'elles són:

- Acoblament d'un col·lector solar per al preescalfament d'aigua
- Destil·ladora amb dues o més safates d'aigua per recuperar la calor de condensació (Destil·ladores d'Efecte Múltiple)

Una característica molt important de les destil·ladores és que, per la seva senzillesa, permeten moltes modificacions sobre el disseny original, i gran varietat de materials. Aquest fet facilita enormement la seva introducció en països en vies de desenvolupament i la apropiabilitat de la tecnologia per part de les comunitats.

Disseny del mòdul de destil·lació

Si s'estima una producció mitjana diària de la destil·ladora de 4'5 litres per m^2, caldria veure, sumant aquesta quantitat a la quantitat d'aigua de pluja que pot recollir la destil·ladora, la quantitat de metres quadrats de destil·ladora que corresponen a una família.

Considerem un mòdul per a una família tipus de la comunitat de Las Lagunas, a Mendoza, amb 6 membres a la seva família. Tal i com s'havia definit a l'apartat 4, la quantitat mínima d'aigua que es vol garantir és de 10 litres per persona i dia.

Les precipitacions mitjanes mensuals en aquesta zona són:

PRECIPITACIONS MENSULAS A MENDOZA (1991-2000)												
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pp (mm)	48,2	38	34,7	13,4	7,9	3,6	12,2	5,3	13,2	8,2	15,2	23,3

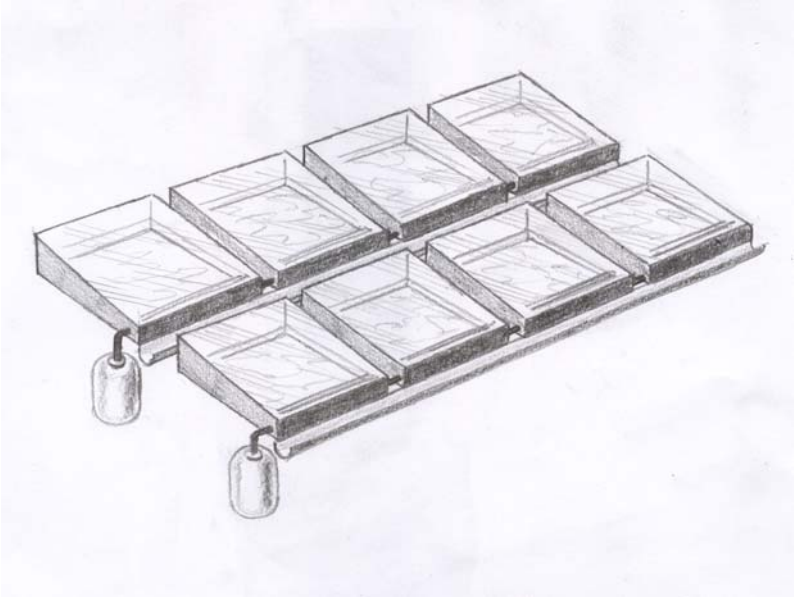
I la radiació solar mitjana mensual a la província de Mendoza és:

IRRADIACIÓ MITJANA MENSUAL (kWh/m^2)												
Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
	7.60	7.16	5.07	3.48	2.25	1.60	1.95	2.85	3.91	5.33	6.90	7.31

Així, es veu que el mes més problemàtic en el qual es dimensionarà la instal·lació és el mes de juny, en el que tant la irradiació com les pluges són mínimes. En aquest mes, la mitjana de destil·lat per m^2 de destil·ladora és de 3 litres per dia, i la precipitació és pràcticament inexistent. La productivitat d'una destil·ladora solar varia molt en funció del seu disseny, i el valor de 3 litres aquí emprat, és pel model més senzill de destil·ladora.

Per tal de garantir els 10 litres per persona i dia, calen 3'3 m^2 de destil·ladora per persona. En aquest mes no es pot comptar amb l'aigua de pluja, que és gairebé nul·la. Per tota la família, són un total de 20 m^2 de destil·ladora. No es realitzarà una única destil·ladora de 20 m^2, per les dificultats que això comporta tant a nivell de construcció i manteniment. El que es

proposa és fer un camp de 10 destil·ladores amb una superfície cadascuna de 2 m^2, tal i com es mostra en el dibuix següent.



5.3 DAFO de les alternatives

DAFO de l'alternativa 1: " Captació d'aigua de pluja "

PUNTS FORTS	PUNTS DÈBILS
• Alta qualitat físico química de l'aigua • Sistema independent, ideal per comunitats disperses • Mà d'obra i materials locals • Manteniment quasi nul • Comoditat i estalvi de temps en la recol·lecció • No requereix energia per l'operació del sistema	• Cost d'implantació força alt • Producció en funció de la pluviositat • Insuficient en zones àrides • Superfície de captació limitada per la superfície de teulada
OPORTUNITATS	**AMENACES**
• Permet l'autoconstrucció • Integrat en l'arquitectura local • Suposa una millora de la qualitat de vida • Tècnica senzilla	• Subjecte a variacions climatològiques • Tècnica poc implantada

DAFO de l'alternativa 2: " Dessalació per Osmosi Inversa "

PUNTS FORTS	PUNTS DÈBILS
• Producció variable d'aigua • Sistema automàtic • Alta capacitat de producció • Sistema autònom amb energia solar fotovoltaica (ESF)	• Tecnologia complexa • Alt nivell de manteniment • Inadequat per produccions petites d'aigua • Cost d'inversió alt • Necessitat de tècnics qualificats per l'ús i el manteniment • No permet l'autoconstrucció
OPORTUNITATS	**AMENACES**
• L'excés d'aigua es pot destinar a ramaderia i horticultura • Formació en ESF • Òptim a nivell comunitari • Millora la qualitat de vida	• Manteniment complex, necessitat de tècnics ben formats • Cost de manteniment • Desconeixement de la tecnologia • Sistema poc robust

DAFO de l'alternativa 3: " Dessalació per Destil·lació Solar "

PUNTS FORTS	PUNTS DÈBILS
• Sistema independent, ideal per comunitats disperses • No consumeix energia • Alta qualitat físico-química de l'aigua produïda • Adaptable als materials i tècniques constructives locals • Baix cost de manteniment • Tecnologia senzilla i coneguda • Manejable per tota la comunitat	• Baixa producció per metre quadrat • Requereix atenció diària • Cost d'inversió alt • Necessitat de terreny per a la instal·lació • Fragilitat d'alguns elements (vidre)
OPORTUNITATS	**AMENACES**
• Permet l'autoconstrucció • Aprenentatge d'una tècnica constructiva • Òptim a nivell familiar • Millora la qualitat de vida • Possible emprendiment productiu • Apropiament del concepte d'energia solar tèrmica	• Producció subjecte a condicions climàtiques • Valoració esforç de manteniment vs producció • Tècnica no implantada

6. ANÀLISI COMPARATIU DE LES ALTERNATIVES

Les alternatives plantejades resolen el problema de l'abastament d'aigua de formes diverses, cadascuna amb els seus avantatges i els seus inconvenients. La comparació d'aquestes opcions no és senzilla, ja que són molts els punts a valorar. Els punts a valorar, a més dels merament econòmics, són els paràmetres plantejats en l'apartat 4, que ajuden a seleccionar l'alternativa més adequada en tant que tecnologia apropiada, que millor s'adapti a les necessitats concretes de l'entorn. Els paràmetres que ja s'han garantit en el plantejament de les alternatives són els de quantitat (10 litres per persona i dia) i qualitat (paràmetres de la OMS).

6.1 Plantejament dels punts a valorar

Per a l'anàlisi comparatiu de les alternatives, els punts a valorar són:

1. Sostenibilitat
    a. Aprofitament de les capacitats locals
    b. Autosuficiència
2. Manteniment de la instal·lació
3. Productivitat
4. Versatilitat
5. Impacte social
6. Impacte ambiental
7. Cost del mòdul per família
8. Cost de manteniment per família

Per a cadascun d'aquests punts es fa una valoració qualitativa de cada alternativa, en termes de :

- molt favorable
- favorable
- no favorable
- desfavorable
- molt desfavorable

6.2 Valoració de les alternatives per cadascun dels punts

1. Sostenibilitat

En tant que projecte de desenvolupament, aquest factor és d'especial rellevància a l'hora de valorar les diferents alternatives. Com a sostenibilitat s'entén que, un cop executada la intervenció, aquesta es pugui mantenir en el temps amb la mínima intervenció externa. Per a que això sigui possible, cal que el projecte es pugui realitzar en la mesura del possible, amb recursos propis, mà d'obra local i que el manteniment i reparació del mòdul no depenguin de l'exterior.

Així, per a la valoració del paràmetre de la sostenibilitat, s'analitzaran els dos punts que el defineixen: l'aprofitament de les capacitats locals i la dependència externa que es genera.

a. Aprofitament de les capacitats locals

A l'hora d'avaluar l'aprofitament de les capacitats locals, cal veure les necessitats de formació que demanda cada alternativa a la població i la possibilitat d'autoconstrucció i l'ús de materials locals.

- <u>Captació d'aigua de pluja</u>

  El sistema de captació d'aigua pluvial és un sistema molt senzill i permet variacions sobre el model proposat que poden partir dels propis beneficiaris. Els materials per a la seva construcció poden ser diversos, en funció de les possibilitats de cada zona. La seva construcció és senzilla i la poden realitzar els propis beneficiaris. El seu funcionament és tan senzill que gairebé no cal formació específica per al seu funcionament.

- <u>Dessalació per Osmosi Inversa</u>

  El funcionament d'una planta de dessalació per Osmosi Inversa és força complex, i la formació necessària per fer-la funcionar i mantenir-la és elevada. Cal que la comunitat esculli un membre que es formi específicament en el funcionament de la planta. Igualment, les reparacions d'una maquinaria tan complexa, difícilment poden ser

realitzades per la pròpia comunitat i, caldria, doncs, assessorament extern permanent. Fruit d'aquesta complexitat tècnica, l'autoconstrucció de mòduls d'Osmosi Inversa, bombes, plaques solars és impossible, i, per tant, tota la tecnologia que s'introduiria seria nova i s'hauria de comprar a les ciutats, al igual que els recanvis. La capacitat d'intervenció, doncs, de la comunitat seria molt baixa.

- Dessalació per Destil·lació Solar

El funcionament d'una destil·ladora solar és molt senzill, i la formació necessària per al seu ús és ben escassa. Caldria, però, una formació inicial sobre els principis de la destil·lació per a que tota la comunitat comprengués com funciona i una formació més específica però poc complexa sobre el seu manteniment. L'autoconstrucció es planteja com a part important d'aquesta alternativa, per la poca dificultat que comporta i per la possibilitat que la pròpia comunitat proposi modificacions de disseny o de materials per millorar-ne la productivitat. Un cop instal·lada, la dependència amb l'exterior per al seu funcionament o manteniment és pràcticament nul·la.

Així, l'aprofitament de les capacitats locals per a cada alternativa es valora de la següent manera:

Valoració de l'aprofitament de les capacitats locals	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Molt favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	No favorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Molt favorable

b. Autosuficiència

Per autosuficiència del mòdul, s'entén la independència de la comunitat respecte l'exterior per al seu funcionament, manteniment i reparació. Aquest paràmetre és de vital importància quan, a través dels projectes de desenvolupament, es vol potenciar les capacitats locals i l'empoderament de la població.

És clar que l'única de les tres alternatives que no permet l'autosuficiència de la comunitat és l'alternativa de la Dessalació per Osmosi Inversa, per diversos motius. El primer és la complexitat del potabilitzador i dels elements del circuit fotovoltaic, que necessiten d'un tècnic altament qualificat per al seu manteniment. L'altre factor important és que el manteniment de la planta d'OI demanda recanviar els filtres i les membranes cada cert temps, i aquestes membranes només es poden aconseguir a la ciutat en el millor dels casos, si no a l'estranger.

Així, pel paràmetre de l'autosuficiència, la valoració de les diferents alternatives és de:

Autosuficiència	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Molt favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	Molt desfavorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Molt favorable

2. Manteniment

Es pretén avaluar les necessitats de manteniment que requereix cadascuna de les alternatives i els recursos humans que cal destinar-hi. Una instal·lació que requereix una alt manteniment enfront una baixa productivitat no serà ben acceptada per la població local. Al mateix temps, el grau de dificultat de manteniment d'aquestes instal·lacions serà determinant per a que pugui ser assumit per la població local.

- <u>Captació d'aigua de pluja</u>

El manteniment que cal fer de la instal·lació es pràcticament nul. Cal periòdicament comprovar que els conductes no estiguin embussats per la presència de fulles o pols, i revisar que el dipòsit d'acumulació no tingui pèrdues i estigui net. Aquestes accions les pot realitzar qualsevol membre de la comunitat sense una formació específica.

- Dessalació per Osmosi Inversa

Les accions de manteniment de la instal·lació que cal realitzar són nombroses. Només per la planta d'OI cal:

- Rutina setmanal per assegurar un flux constant d'aigua a la planta i manteniment en general (pintura, reparació d'esquerdes, neteja, etc.).
- Neteja dels filtres amb un raig d'aigua.
- Substitució dels filtres de cartutx (cada 8 setmanes).
- Neteja dels elements de les membranes (aproximadament cada 4 mesos).
- Reparació i calibratge dels instruments.
- Reomplerta dels químics de pre i post tractament.

Aquest manteniment requereix una persona amb uns certs coneixements tècnics assignada permanentment al manteniment de la instal·lació. Per la instal·lació fotovoltaica, el manteniment és inferior al de la planta d'OI, però cal fer comprovacions periòdiques dels elements del circuit i neteja de les plaques.

- Dessalació per Destil·lació Solar

Les operacions de manteniment que cal realitzar són la neteja de les safates, per evitar les incrustacions de sals i la neteja dels vidres, per evitar que disminueixi la irradiació a l'interior de la destil·ladora amb una periodicitat de 10 dies.

Així, pel que fa el manteniment requerit, la valoració de les diferents alternatives és la següent:

Manteniment	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Molt favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	Molt desfavorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Favorable

3. Productivitat

Pel que fa la productivitat de cadascuna de les tres alternatives, cal apuntar que les dues alternatives que comprenen la dessalació presenten una alta versatilitat en funció de la modulació de la instal·lació final. La captació d'aigua pluvial hem vist que podia ser insuficient si la única superfície de captació era la teulada, però es complica el fet d'augmentar la superfície de captació amb estructures extres.

Pel que fa la dessalació per Osmosi Inversa, s'ha vist que la producció d'aigua per dia podia variar de les desenes de litres per dia als metres cúbics per dia, essent l'alternativa que major quantitat d'aigua pot aportar, mentre que la dessalació per destil·lació solar, si bé té una productivitat per metre quadrat baixa, la seva instal·lació es pot modular segons les necessitats de cada família.

D'aquesta manera, pel que fa la productivitat de cadascuna de les alternatives, la valoració que se'n fa és la següent:

Productivitat	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Desfavorable
Dessalació per Osmosi Inversa	Molt favorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Favorable

4. Versatilitat

Amb aquest paràmetre es vol avaluar les diferents possibilitats d'adaptació de cada alternativa a la instal·lació dels mòduls en funció del tipus d'abastament que es vulgui realitzar a cada comunitat. És important que la alternativa de mòdul d'abastament es pugui adaptar segons les demandes i la realitat de cada comunitat. Si es pretén realitzar un abastament comunitari, allà on la distribució de les cases ho permeti, la captació d'aigua pluvial no canvia, i cal fer una acumulació igualment per cada habitatge. En canvi, en els mòduls de dessalació, es podria fer una única acumulació i modular la instal·lació segons les necessitats d'aigua de la comunitat. En canvi, a l'hora de realitzar un abastament familiar,

allà on les comunitats siguin disperses, tant la captació d'aigua de pluja com la dessalació per destil·lació solar, s'adapten perfectament, mentre que la dessalació per OI a tant petita escala no és apropiada.

Així, pel que fa la versatilitat d'adaptació al tipus d'abastament, familiar o comunitari, la valoració de cadascuna de les alternatives és:

Versatilitat	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	No favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	Desfavorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Molt favorable

5. Impacte social

L'impacte social fa referència a la repercussió que pot tenir la introducció d'una nova tecnologia en la comunitat o comunitats beneficiaries. És a dir, el nivell d'acceptació social que pot tenir en la forma de vida pròpia i la metodologia d'abastament d'aigua tradicional.

Sempre que sigui possible la tecnologia que s'empri ha de ser la tradicional de la zona o la ja implantada, per facilitar la seva implementació i acceptació per part de la comunitat. Això en el nostre cas no és sempre possible, i caldrà avaluar per a cadascuna de les alternatives, l'impacte social que pot produir la seva introducció.

- <u>Captació d'aigua de pluja</u>

  L'aigua de pluja ha estat sempre aprofitada en les zones rurals, principalment ha estat acumulada en represes al terra per l'abeurament dels animals i pel rec de petites parcel·les d'horticultura. Existeixen comunitats que posseeixen sistemes de captació d'aigua de pluja per al consum humà, i per tant, la introducció d'aquests mòduls no suposa cap impacte negatiu en la comunitat.

- Dessalació per Osmosi Inversa

La instal·lació d'un mòdul d'abastament d'aigua amb una planta d'Osmosi Inversa pot ser vista per la comunitat com costosa i complexa. Els elements que el constitueixen seran estranys a la comunitat, menys potser les plaques solars, i això farà que calgui explicar els seu funcionament. Igualment, si no existeix una bona formació i una bona organització dins la comunitat, quan hi hagi algun dany a la planta, no es repararà i més encara si els costos de reparació són elevats. L'impacte dins la comunitat seria bastant fort i la seva acceptació per part de la comunitat difícil.

- Dessalació per Destil·lació Solar

Una destil·ladora solar pot ser vista com un aparell complicat en un principi, però a través del símil amb el cicle natural de l'aigua, es pot entendre el seu funcionament. A més, la senzillesa del seu funcionament, farà assequible el seu ús per tots els membres de la comunitat, factor que també facilitarà l'acceptació per part de la comunitat.

Així, l'impacte social que pot produir la introducció de cadascuna de les alternatives es valora de la següent manera:

Impacte Social	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Molt favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	Desfavorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Favorable

6. Impacte ambiental

L'impacte ambiental fa referència a la alteració que pot produir en l'ecosistema i en l'entorn humà la introducció d'una tecnologia. Pel que fa les tres alternatives plantejades, l'única que té un impacte ambiental gairebé nul és l'alternativa de captació d'aigua de pluja, ja que s'aprofita la infrastructura existent de l'habitatge com a superfície de captació i de l'abastament no en sorgeix cap producte no desitjat. Per la construcció dels dipòsits d'acumulació d'aigua, els materials emprats són els habituals en les construccions de la zona, les totxanes de fang i l'impacte que tindria la seva construcció és també gairebé nul.

En canvi, en els dos mòduls que incorporen la dessalació per a la potabilització, el procés genera un flux d'aigua amb una alta concentració salina. En el mòdul d'Osmosi Inversa aquest flux és major, en tant que major la producció d'aigua i el que se'n faci pot perjudicar les napes subterrànies o els cursos superficials. Aquest fenomen també succeeix en la destil·lació solar però en tant que existeix la possibilitat de mòduls familiars, aquest subproducte, la salmorra, no es concentra en un únic indret, com succeeix amb la planta d'osmosi inversa, i l'impacte que tindrà sobre la zona serà inferior.

L'ús d'energies renovables garanteix la no contaminació per l'ús de combustibles fòssils en qualsevol de les alternatives.

Així, pel que fa l'impacte ambiental, la valoració de cadascuna de les alternatives és la següent:

Impacte Ambiental	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Molt favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	Desfavorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Favorable

7. Cost del mòdul per família

Malgrat ser un projecte de desenvolupament que possiblement estaria subvencionat per algun finançador d'accions de cooperació al desenvolupament, és important calcular el cost per família de la instal·lació de cadascun d'aquests mòduls.

- Captació d'aigua de pluja

En la construcció del mòdul de captació d'aigua de pluja hi participa la pròpia comunitat, evitant la necessitat de mà d'obra especialitzada.

El que necessita és la compra de materials fóra de la comunitat, com són les planxes i les canaletes de recollida i conducció de l'aigua.

A continuació es detalla el cost únicament dels materials necessaris per a la instal·lació d'un mòdul de recollida d'aigua de pluja en una habitatge familiar. Cal apuntar que, tal i com s'ha indicat en el plantejament de l'alternativa de captació d'aigua de pluja, apartat 5.1, la superfície de teulat és insuficient, i cal quantificar, doncs, la construcció de la estructura per suportar la superfície de captació extra per arribar a la quantitat d'aigua abastada mínima, és a dir, 10 litres per persona i dia.

MÒDUL DE CAPTACIÓ D'AIGUA DE PLUJA PER FAMÍLIA				
MATERIAL NECESSARI	**UNITATS**	**QUANTITAT**	**PREU UNITARI (€)**	**PREU (€)**
Xapa metàl·lica ondulada	m^2	95	6,5	617,5
Estructura per suportar planxa	ml	15	3,7	55,5
Canaletes d'acer	ml	18	8,5	153
Canonades	ml	10	12,6	126
Material pel dipòsit	uds.	1	182,5	182,5
ciment	kg	20	5	
totxanes	uds.	150	0,55	
			TOTAL	**1.134,50 €**

- Dessalació per Osmosi Inversa

Pel que fa el càlcul del cost dels materials necessaris per a la construcció del mòdul de dessalació per Osmosi Inversa, cal apuntar que en aquest cas la instal·lació és comunitària, i que el cost total s'haurà de dividir per les 10 famílies per les quals s'ha dimensionat la instal·lació.

Cal comprar materials molt específics i difícils de trobar, com plaques solars o les mateixes plantes d'Osmosi Inversa, i això encara encareix més la solució. El cost de les plaques solars necessaris per abastar d'energia la planta dispara el cost de la instal·lació:

MÒDUL DE DESSALACIÓ PER OSMOSI INVERSA				
MATERIAL NECESSARI	**UNITATS**	**QUANTITAT**	**PREU UNITARI (€)**	**PREU (€)**
Mòdul de bombeig solar. Inclou bomba i plaques solars	Uds	1	4.856,20	4.856,20
Planta d'OI	Uds	1	3.700,00	3.700,00
Instal·lació fotovoltaica per OI	Uds	1	6.250,00	6.250,00
Canonades	Ml	32	12,60	403,20
Material pel dipòsit	Uds	2	345,05	690,10
ciment	Kg	37	5,00	
totxanes	Uds	291	0,55	
			TOTAL	15.899,50
		TOTAL PER FAMÍLIA		**1.589,95 €**

- Dessalació per Destil·lació Solar

En aquest cas, s'ha dimensionat una instal·lació de 20 m^2 per família, emprant el mes de mínimes precipitacions com a referència.

Cal apuntar que la compra d'alguns materials necessaris es pot realitzar dins les comunitats o ser aportats per les pròpies famílies, com les totxanes. A continuació es detallen la llista de materials i cost per a la construcció del mòdul de dessalació per destil·lació:

MÒDUL DE DESSALACIÓ PER DESTIL·LACIÓ SOLAR PER FAMÍLIA				
MATERIAL NECESSARI	**UNITATS**	**QUANTITAT**	**PREU UNITARI (€)**	**PREU (€)**
Destil·ladora solar	m^2	20	45,00	900,00
Canaletes d'acer	ml	20	8,50	170,00
Canonades	ml	8	5,50	44,00
Dipòsit plàstic de 50 l	uds	4	22,50	90,00
			TOTAL	**1.204,00 €**

Així, pel que fa el cost d'inversió per família, la valoració de cadascuna de les alternatives és la següent:

Cost del mòdul per família	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	No favorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Favorable

8. Cost de manteniment per família

Pel que fa el manteniment dels mòduls, l'única alternativa que requereix el recanvi d'alguns dels seus elements és el mòdul d'Osmosi Inversa. En aquest, els reactius del pre-tractament s'ha de reomplir cada 6 mesos i la membrana també necessita ésser canviada cada 2 anys. Igualment, el risc d'avaria en qualsevol dels seus elements és bastant alt, i cal preveure la necessitat de canviar els reguladors o la bateria.

Pel que fa el mòdul de captació d'aigua de pluja, és molt robust i pràcticament no necessita manteniment més enllà de la neteja. Igualment, els mòduls de destil·lació solar són molt robusts i tan sols existeix risc de trencament de vidre. Aquest risc es minimitza s'hi es compra un vidre de 4 mm de gruix.

Així, pel que fa els costs de manteniment dels mòduls per família, la valoració per a cadascuna de les alternatives és la següent:

Cost de manteniment per família	
Alternativa	**Valoració**
Captació d'aigua pluvial	Molt Favorable
Dessalació per Osmosi Inversa	No favorable
Dessalació per Destil·lació Solar	Molt Favorable

6.3 Matriu de selecció

Per comparar de forma senzilla tots els punts valorats simultàniament, es quantifiquen els paràmetres qualitatius emprats fins ara amb el següent criteri:

Molt Favorable: 10 punts
Favorable: 7 punts
No Favorable: 5 punts
Desfavorable: 2 punts
Molt desfavorable: 0 punts

A més, no tots els punts valorats tenen la mateixa importància en el conjunt del projecte. Per això, es dóna a cadascun un valor que representa, en percentatge, el pes que aquest punt té en l'elecció de l'alternativa escollida.

S'han primat els conceptes que tenen a veure, sobretot, amb la relació que s'estableix entre la comunitat i la solució (sostenibilitat i impacte social), amb un 30% del pes total, per entendre que són determinants en l'èxit de la intervenció.

A continuació es mostra la matriu comparativa de les alternatives amb el pes ponderat de cadascun dels paràmetres avaluats, per visualitzar l'alternativa més adequada.

			ALTERNATIVES		
Nº	**Paràmetres**	**%**	**Aigua de Pluja**	**Osmosi Inversa**	**Destil·lació Solar**
1	Sostenibilitat	15,0%	15	3.75	15
a)	Aprofitament de les capacitats locals	7,5%	7,5	3,75	7,5
b)	Autosuficiència	7,5%	7,5	0	7,5
2	Manteniment de la instal·lació	10,0%	10	0	7
3	Productivitat	15,0%	3	15	10,5
4	Versatilitat	10,0%	5	2	10
5	Impacte Social	15,0%	15	3	10,5
6	Impacte Ambiental	10,0%	10	2	7
7	Cos del mòdul per família	15,0%	10,5	7,5	10,5
9	Cost de manteniment	10,0%	10	5	10
	TOTAL	100%	78,5	38,25	80,5

6.4 Conclusions

Segons els criteris exposats, i la importància assignada a cadascun d'ells, les alternatives de mòdul de captació d'aigua de pluja i de mòdul de dessalació per destil·lació solar són igualment adequades per tal de donar resposta a la situació descrita. El que els diferencia és, principalment, és la major productivitat de les destil·ladores, no dependent del règim pluvial, i els menors impactes socials i ambientals dels sistemes de captació d'aigua de pluja, en ser més coneguts a la zona i molt simples des del punt de vista tècnic.

El mòdul de dessalació per Osmosi Inversa queda clarament en desavantatge, principalment per l'enorme dependència exterior que genera i les dificultats que implica el seu manteniment i l'apropiació de la tecnologia per part de la comunitat.

Malgrat les destil·ladores solars i l'aigua de pluja siguin vàlides, s'optarà pel desenvolupament tècnic de les destil·ladores solars, ja que, per una banda, el sistema de captació d'aigua de pluja és senzill, conegut per les comunitats i s'ha descrit àmpliament en l'apartat 5.1, i per l'altra, les destil·ladores solars es poden desenvolupar per millorar el seu funcionament i sobretot, adaptar-la als materials i tècniques constructives locals.

7. DESENVOLUPAMENT TÈCNIC DE L'ALTERNATIVA ESCOLLIDA

Un cop determinada la dessalació per destil·lació solar com una alternativa adequada per a l'abastament d'aigua per a consum humà de les comunitats rurals de les zones àrides d'Argentina, es proposa desenvolupar tècnicament aquesta solució. La captació d'aigua de pluja, si bé és també una alternativa aplicable en aquelles zones amb un règim de pluviositat més alta, per la seva menor complexitat tècnica, no serà desenvolupada en aquest apartat.

L'element fonamental d'un mòdul d'abastament d'aigua per dessalació solar és la destil·ladora solar. L'estudi tècnic es centrarà en aquest element i es desenvoluparà en un pla teòric i un pla pràctic. A tal efecte, es realitzarà un estudi teòric de productivitat d'una destil·ladora solar tipus i es desenvoluparà una aplicació informàtica com a eina d'avaluació de la productivitat i de dimensionat de la instal·lació que pugui servir de referència. A tal efecte, s'emprarà un model matemàtic de la destil·ladora que simuli el seu funcionament tèrmic.

A partir de l'anàlisi dels diferents tipus de destil·ladores solars existents i les possibles modificacions que es poden implementar per tal d'augmentar la productivitat de les destil·ladores, es proposarà una configuració per a un prototipus de destil·ladora solar. El disseny que es proposi no serà tancat, sinó que s'espera que a partir del treball d'implementació de les destil·ladores solars a l'Argentina, aquest disseny pugui variar a partir de les aportacions i propostes de les comunitats, la disponibilitat de materials i recursos i d'altres factors externs no avaluables a priori.

7.1 Disseny d'una destil·ladora solar

Existeixen múltiples dissenys i configuracions, que van des de la destil·ladora bàsica explicada en l'apartat 5.2.2, coneguda com a destil·ladora de safata, fins a la destil·ladora amb concentradors solars acoblats i tubs de condensació. A l'hora de determinar el disseny, cal recordar els paràmetres que hem definit, per tal que el disseny final sigui el d'una destil·ladora de tecnologia assequible i de baix cost.

L'optimització dels factors que contribueixen a una millor productivitat de la destil·ladora, que s'esmenten a continuació, són el motor del desenvolupament de nous models i noves configuracions de destil·ladores solars.

- Temperatura de l'aigua salina elevada
- Temperatura de la coberta baixa (maximitzar diferencia de temperatures de coberta i aigua)
- Distància entre la coberta i la superfície de l'aigua mínima
- Inclinació la més baixa possible que permeti el relliscament de les gotes
- Augmentar les superfícies de condensació i evaporació
- Reutilització de la calor latent de condensació
- Minimitzar les pèrdues en parets laterals i la base

Selecció del tipus de destil·ladora

Les destil·ladores solars es poden dividir en dos grans grups:

- **D'Efecte Simple**: Són aquelles destil·ladores on hi ha una única base on s'allotja l'aigua salina i una única superfície de condensació, produint-se així només un procés d'evaporació-condensació. El no aprofitament de la calor de condensació i el menor rendiment i productivitat que això suposa queda compensat per les facilitats constructives i de disseny de la destil·ladora. Tots els destil·lators implantats en països en vies de desenvolupament són d'efecte simple

- **D'Efecte Múltiple**: Per tal d'aprofitar la calor latent de condensació, van aparèixer les destil·ladores d'efecte múltiple, on les superfícies de condensació allotgen en la

seva part superior aigua per a ser destil·lada, aprofitant així la calor de condensació per escalfar l'aigua de la base superior. En un principi l'increment de cost que representa hauria de ser compensat amb l'augment de productivitat. Es va determinar [4] que la productivitat d'un destil·ladora amb doble safata, de dos efecte, produïa un 56 % més de destil·lat que un d'efecte simple. Si bé el preu no augmenta, tampoc disminueix, i introdueix dificultats tècniques i de disseny massa importants.

Per les facilitats de disseny i constructives i, principalment, perquè els destil·ladors d'efecte múltiple mai no han sortit dels laboratoris, es proposa una **destil·ladora d'efecte simple.**

Dins de les destil·ladores d'efecte simple, s'han anat desenvolupant amb el temps diverses variacions sobre el disseny original per tal d'augmentar la productivitat per metre quadrat. Si bé s'avaluen totes a continuació, cal tenir fortament en compte que cap d'aquest variacions no ha estat aplicada mai en zones rurals de països en vies de desenvolupament.

Les millores aplicables determinen una classificació de les destil·ladores d'efecte simple de la següent manera:

- **Destil·ladores passives:**

  - De safata: Són els models més usuals. Existeixen, però, dues línies de destil·ladores de safata: les destil·ladores d'una o dues aigües com les que es mostren en els dibuixos següents:

Comparant aquestes dues configuracions, en la destil·ladora a dues aigües, la irradiació màxima pot ser major, i, per tant, també la seva productivitat. Segons [5], sobre l'experiència de la instal·lació de 100 destil·ladores a Botswana, la productivitat de les destil·ladores a dos aigües és major, però més irregular durant l'any, i és més car que les destil·ladores a una aigua, ja que la quantitat de vidre per metre quadrat de safata és major. En base al funcionament anual d'una destil·ladora, [6] determinaren que la destil·ladora a una aigua funciona millor que la de dos aigües en els mesos més freds, mentre que la de dues aigües funciona millor en condicions climàtiques d'estiu. El rendiment d'aquestes dues configuracions acaba essent similar al llarg de l'any.

Pel que fa les destil·ladores de safata, presenten altres variacions com la refrigeració de la coberta per tal de millorar la condensació amb un flux d'aigua o les destil·ladores amb un condensador addicional.

- De metxa: Diversos estudis ([6], [7], per exemple), mostren que la productivitat de les destil·ladores augmenta quan disminueix la profunditat d'aigua salina en la base. Portant aquesta premissa al límit apareixen les destil·ladores de metxa, que regulen l'aigua salina a la destil·ladora per reduir al mínim la profunditat, reduint així la calor específica. Presenta forces dificultats de disseny, gran quantitat de materials diferents com espumes, planxes de polietilè negre, acer galvanitzat, que incrementa el cost i poden ser difícils de trobar.

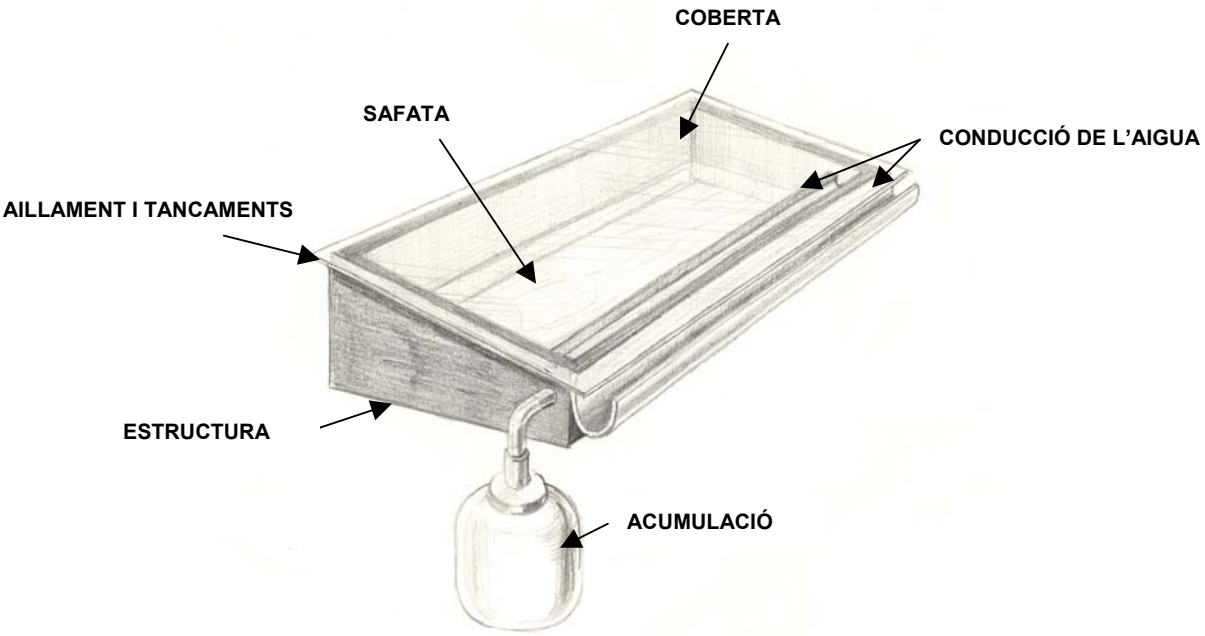
- **Destil·ladores actives:** Són les destil·ladores amb calentament extern. L'objectiu d'aquestes millores són incrementar la diferència de temperatures entre l'aigua i la coberta. I en les destil·ladores actives el que es fa és incrementar la temperatura de l'aigua salina integrant-hi un col·lector solar o un concentrador solar, essent aquesta segona solució la que en un major grau augmenta la productivitat, un 58 %, davant de l'augment del 24 % que suposa l'acoblament d'un col·lector solar [8]. L'increment de cost que aquestes millores suposen, fan complicada la viabilitat de la seva aplicació.

En el disseny del mòdul de destil·lació solar per a les comunitats rurals d'Argentina, per simplicitat de disseny i menor cost, s'optarà per una **destil·ladora passiva de safata.** Cal definir, però, si el disseny serà a una aigua o a dues. S'ha vist que la productivitat és lleugerament superior en la de dues aigües, encara que més irregular al llarg de l'any, i que el cost de les destil·ladores a una aigua és menor. Per tot això, es proposa la construcció de la destil·ladora **a una aigua.**

Aquest serà el disseny que es proposarà en aquest estudi, del qual ara es definiran els requeriments de cada element, i la solució que es proposa per a cadascun d'aquests elements. Igualment, recordar que el disseny no és únic, i que un cop comenci el procés d'introducció de les destil·ladores a les comunitats, cal estar obert a possibles modificacions tant en els materials com en el disseny.

Requeriments dels components de la destil·ladora

Els diferents components d'una destil·ladora solar de safata a una aigua són:



A continuació es plantegen els requeriments per a cadascun d'aquests elements, les diferents possibilitats i el material i configuració finalment escollits. Hi ha, però, una sèrie de requeriments comuns a tots els elements de la destil·ladora solar, necessaris per a que la vida útil de la destil·ladora sigui el més llarga possible en les condicions dels indrets on s'ubicaran. Són els següents:

- ✓ Materials Robustos
- ✓ Resistents a la corrosió de l'aigua salina
- ✓ No degradables per efecte de la radiació ultraviolada
- ✓ Materials a l'abast en les zones d'intervenció

- **Estructura**

Els elements estructurals són els qui donen forma a la destil·ladora i suporten els diversos elements que la conformen, com la safata o la coberta. Els requeriments d'aquests elements, a part dels comuns esmentats anteriorment, són:

- ✓ Conductivitat tèrmica baixa
- ✓ Impermeabilitat
- ✓ Adaptabilitat a les diferents possibles configuracions
- ✓ Donar forma a la safata

Existeixen diverses experiències, [5], [9], d'implementació de destil·ladores solars, on s'han emprat diversos materials estructurals. En destaquem els 3 següents:

- **Fibra de vidre**: La fibra de vidre és un material ideal per aquesta aplicació. És molt fort, flexible, no es corrou ni dona cap sabor a l'aigua si s'usen determinades partícules resistents a la radiació ultraviolades i que són estables en el rang de temperatures d'us (fins a 95º C moll i 185º C sec). La superfície moldejada és extremadament llisa i es pot netejar molt fàcilment. Amb el moldejat, es pot donar forma a la safata que contingui l'aigua i, mitjançant l'addició de pigments en la resina de fibra de vidre, donar-li el color negre necessari per a que absorbeixi el màxim de radiació solar possible. La fibra de vidre té molts avantatges, com la durabilitat i la facilitat d'instal·lació, ja que, a

causa del seu poc pes, pot ésser traslladat d'un lloc a l'altra si s'esgota la font d'aigua salina. Malgrat això, és un material força car.

- **Totxanes**: Una opció més econòmica és la construcció de les destil·ladores amb totxanes i morter. Les totxanes són molt resistents, tenen una baixa conductivitat tèrmica i aporten un aïllament complementari a la destil·ladora. La principal avantatge d'aquesta opció és que moltes de les comunitats rurals d'Argentina són productores de totxanes, en forns artesanals, la qual cosa, per una banda afavoriria l'ús de materials propis de la comunitat i per altra, que la construcció amb totxanes és una tècnica ben coneguda per les comunitats.

- **Ferrociment:** El ferrociment (ciment amb tela de galliner o filferro com a armat) és una altre material molt adequat per a la construcció de la destil·ladora. La construcció amb armat i encofrat pot ser dificultosa per a les comunitats, però no deixa de ser molt útil per la construcció també de tancs d'aigua. A més, el ferrociment permet la configuració del canal de recollida d'aigua destil·lada en el propi material estructural. És necessari disposar de sorra adequada i pedres per tal de poder realitzar un ciment que no s'esquerdi amb les temperatures.

Per l'aprofitament de materials i capacitats locals, i pel seu baix cost, s'optarà per emprar **totxanes i morter** com a element estructural de les destil·ladores. L'experiència de Yates i Woto a Botswana, confirma aquest material com al més adequat.

- **<u>Coberta</u>**

És el component més crític de la destil·ladora. Va muntat sobre l'estructura i té tres funcions: deixar passar la radiació solar, afavorir la condensació del vapor en la seva superfície inferior i captar l'aigua de pluja en la seva superfície superior.
Els requeriments de la coberta són, doncs:

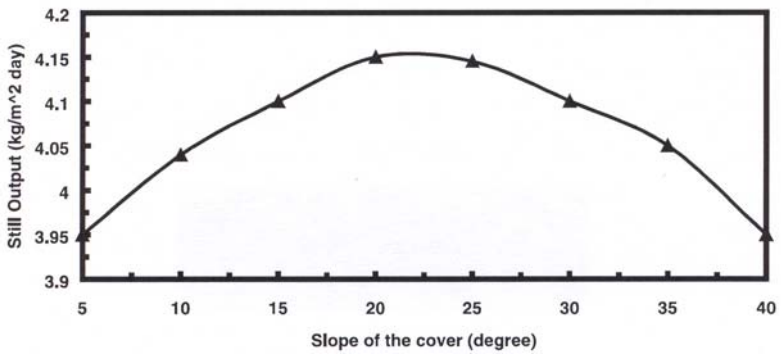
- ✓ Ha de ser "mullable", és a dir, permetre la condensació en pel·lícula i no en gotes.
- ✓ La seva reflectància i absorbància han de ser mínimes, per afavorir la transmitància de la radiació solar.
- ✓ Ha de poder resistir tempestes, pedregades, etc

- ✓ Ha d'evitar les pèrdues de vapor d'aigua

Pel que fa els materials, la principal discussió es presenta entre plàstics i vidre. El vidre temperat amb un baix contingut de ferro és la millor opció, ja que és altament transparent i molt resistent als impactes. Malgrat això, el vidre comú de 4 mm presenta també unes magnífiques propietats òptiques, és resistent als impactes i no perd la forma ni la tensió amb el pas del temps; a més, és molt més econòmic que el vidre temperat el qual, un cop tractat, no pot ser tallat.

A pesar que els plàstics són molt més econòmics que els vidres, presenten un problema molt important pel que fa la seva durabilitat, ja que són degradables enfront la radiació ultraviolada. A més, la majoria de plàstics afavoreixen la condensació en gotes, que com s'ha vist, és perjudicial per a la productivitat de la destil·ladora. Alguns dels plàstics amb els que s'ha experimentat són el Tedlar, el Mylar, la fibra de vidre, o el polietilé. Cap d'elles ha donat un resultat suficientment bo com per a substituir el vidre.

Així, es proposa emprar **un vidre comú de 4 mm** de gruix per a realitzar la coberta. La inclinació que ha de presentar la coberta ha estat un element de discussió entre la comunitat científica. A continuació es presenta els resultats de l'experimentació amb diferents inclinacions de coberta.



Font: [7]

Així, la configuració òptima de la destil·ladora està entre els 18 i els 25 graus d'inclinació. Es proposa situar la **coberta** amb una inclinació de **18º**. La coberta anirà **inserida en l'estructura a través d'unes guies** per tal de garantir l'estanqueïtat de la destil·ladora i per possibilitar la omplerta i la neteja de les destil·ladores retirant el vidre.

- **Safata**

És l'altra element, juntament amb la coberta, més important de la destil·ladora. Un cop s'ha definit que la destil·ladora es farà de totxanes i morter, el disseny de la safata s'ha d'adaptar a aquests elements estructurals. Els principals requeriments de la safata d'absorció són:

- ✓ Alta absortivitat davant l la radiació solar
- ✓ Ser el més llisa possible
- ✓ Resistir la corrosió de l'aigua salina
- ✓ No donar gust a l'aigua

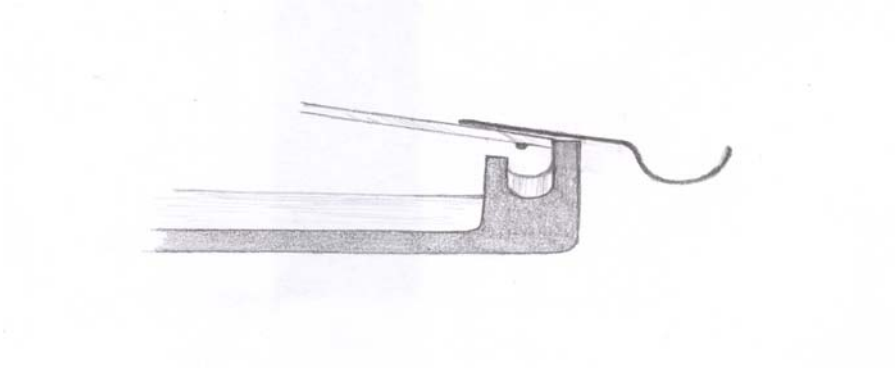
La millor opció per tal de concretar la safata és emprar una **pintura de resina d'epoxy sense dissolvents de color negre**, com la que s'utilitza en sils i tancs de conservació d'aliments. Aquesta pintura no afectarà l'aigua de cap manera, i ofereix una superfície llisa molt resistent a la corrosió i que absorbeix la radiació solar. Una altra opció és fer servir una làmina de goma negra de la mateixa superfície que la base de la destil·ladora, però presenta més problemes que la pintura, ja que s'ha d'adaptar a la forma ja preexistent i es pot degradar més fàcilment amb el temps.

- **Conducció d'aigua**

En el model de destil·ladora proposat existeixen 2 conduccions d'aigua diferenciades: una per evacuar l'aigua destil·lada des de l'interior de la destil·ladora fins a l'acumulació, i l'altra, per la recollida d'aigua de pluja, per tal d'aprofitar la coberta com a superfície de captació d'aigua de pluja.

La primera conducció, la de l'aigua destil·lada, es realitzarà sobre el propi material estructural, sobre un conducte de morter que es realitzi a la cara inferior de la destil·ladora. D'aquesta manera s'evita la introducció de nous components, i s'optimitza el material existent. Dificulta lleugerament la construcció, però en redueix els costos. La canaleta tindrà dos pendents, des del punt mig del costat inferior de la destil·ladora fins a cadascun dels laterals, per reduir l'altura de destil·ladora necessària. A la sortida de

les canaletes es situa un colze on per conduir l'aigua per una mànega de goma fins el dipòsit. En el dibuix següent es mostres les dues conduccions de l'aigua:



Pel que fa la canal de recollida de l'aigua de pluja, aquesta anirà subjectada en la paret inferior de la destil·ladora i el remat es situarà sobre el vidre, enganxat per tal de conduir l'aigua cap la canal de recollida i per l'altra ombrejar el conducte interior i evitar la reevaporació.

- **Aïllaments i tancaments**

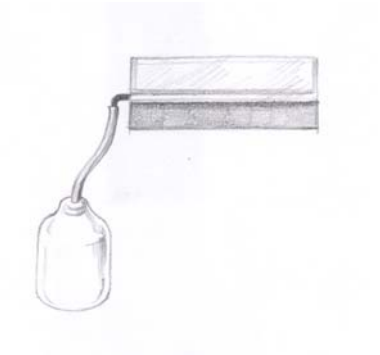
Tenen la funció de reduir les pèrdues a la base i parets laterals, i evitar la fuga de vapor d'aigua o l'entrada d'aire de l'exterior i les partícules sòlides en suspensió.

Pels tancaments del vidre amb l'estructura i del canal d'evacuació amb la destil·ladora es faran amb **silicona**, que al mateix temps és aïllant. Els tancaments no fixaran el vidre i l'estructura, i permetran la retirada del vidre per a les tasques de manteniment i reparació de la destil·ladora. La coberta estarà subjecte a l'estructura per les guies, que permetran el seu moviment al mateix temps que la segellaran.

Pel que fa l'aïllament, l'espuma de poliuretà és l'aïllant més eficaç, malgrat tenir un cost força elevat. En tant que les pèrdues representen un 15 % en les destil·ladores, el cost d'aquesta espuma hauria de ser inferior respecte al total de la destil·ladora. En emprar totxanes ceràmiques per a l'estructura, ja estem usant un material estructural aïllant, així que malgrat que poguéssim millorar el rendiment de la destil·ladora, no s'emprarà cap aïllant suplementari.

- **Acumulació**

És l'encarregada de recollir l'aigua destil·lada i l'aigua de pluja. Es presenten diverses alternatives, com l'ús de **dipòsits de plàstic de 50 l**. per cada 4 destil·ladores de 2 m^2, per recollir el destil·lat. Per recollir l'aigua de pluja, si els habitatges compten amb algun dipòsit, es pot fer servir el mateix; si no, caldria avaluar la possibilitat de construir-ne un i aprofitar per fer un sistema de captació d'aigua pluvial als teulats dels habitatges. Cal tenir en compte sempre que els dipòsits han d'estar a una altura inferior a la dels destil·ladors i que si la construcció és comunitària, la quantitat d'aigua diària produïda és suficientment elevada com per construir un **dipòsit de totxanes o ferrociment**.



Disseny resultant de la destil·ladora

En l'annex D es presenten els plànols de la destil·ladora solar proposada. És una destil·ladora de 1, 95 m^2 de superfície d'absorció que produeix entre 5 i 7'5 litres d'aigua destil·lada al dia. A continuació es resumeix el material necessari per a la seva elaboració:

Material	Unitats	Quantitat
Planxa de vidre comú 4 mm	m^2	2
Totxanes ceràmiques	ud.	36
Morter	kg	15
Pintura de resina epoxy sense dissolvents	kg	1,5
Silicona	dm^3	1
Canaletes d'acer	ml	2
Colzes de coure	ud.	2
Mànega de goma	ml	1,5
Dipòsit de plàstic de 50 l.	ud.	2

La configuració definitiva de la destil·ladora en el moment de la seva implantació està subjecte als canvis que puguin sorgir, tant a partir de les propostes de la comunitat com per factors externs que no permetin desenvolupar el disseny tal i com s'ha plantejat.

Pel que fa la qualitat de l'aigua produïda, i la seva preparació per al consum humà, es recorda l'exposat en l'apartat 5.2.2 sobre la destil·lació solar.

Com s'ha comentat, l'aigua produïda per la destil·ladora solar, ha de ser mesclada amb aigua amb una concentració elevada de sals per a que contingui els elements necessaris per a l'organisme humà. Es proposa la mescla amb l'aigua que es destil·la, en la proporció adequada i previ tractament de desinfecció

En aquest aspecte, es pot optar per la desinfecció amb clor o la desinfecció solar (SODIS)

El procés de desinfecció solar es basa en que l'aigua estigui durant un període de mitja hora a una temperatura superior a 65º, ja que és la temperatura a la que la majoria de bactèries mor. Això es pot aconseguir amb la pròpia aigua de dins la destil·ladora o emprant ampolles d'aigua exposades al sol.

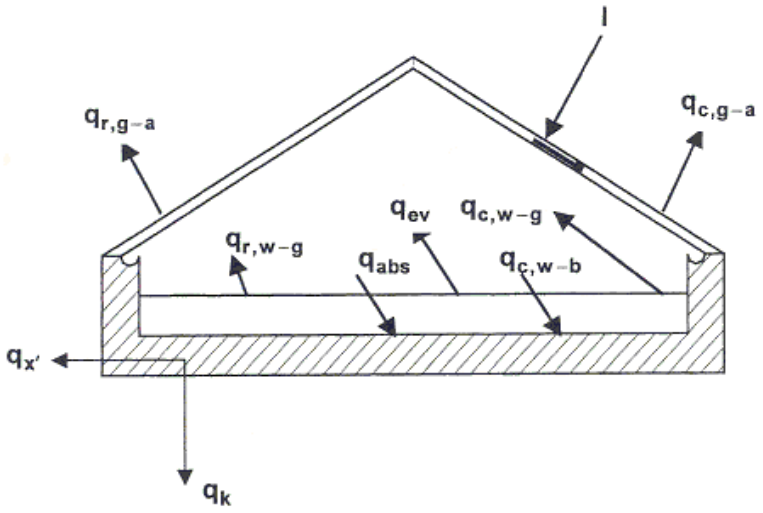
En la cloració, la desinfecció és fa per la gran capacitat oxidant del clor, que és el mecanisme de destrucció de les bactèries i, a més, és residual, quedant en l'aigua per eliminar possibles noves bactèries. Es pot fer mitjançant pastilles o líquid.

Així, es proposa la desinfecció solar com a complement de la destil·lació per garantir que l'aigua a consumir tingui les característiques sanitàries mínimes i contingui les sals necessàries per a l'organisme.

7.2 Desenvolupament d'una eina de càlcul de la productivitat de la destil·ladora solar

Tal i com s'ha explicat en l'apartat de plantejament de les alternatives, el model de destil·ladora solar simple consisteix en una safata que conté l'aigua salina i que és coberta per una o dues cobertes inclinades. L'operació de la destil·ladora és força senzilla. La radiació solar incident es transmesa a través del vidre transparent fins a l'aigua, que és escalfada, de tal manera que aquesta evapora i condensa a la superfície interior de la coberta, on és recollida a la part inferior de la coberta.

En la figura següent es mostren els fluxos de potencia calorífica que es donen en el procés de funcionament de la destil·ladora, siguin d'una o dues aigües:



Font:[10]

El model matemàtic d'una destil·ladora solar simple està ben establert, si bé hi ha discussions en la comunitat científica entorn l'expressió analítica per la transferència interna de calor, principalment convectiva i evaporativa.

El model que es treballarà en aquest estudi és força similar al model presentat per Sartorius [10], que recollia el model inicial proposat per Dunkle [11] i el millorava a partir de les crítiques i aportacions sobre aquest model inicial.

Model matemàtic d'una destil·ladora solar

NOMENCLATURA I UNITATS	
C= calor específic (J/kg·K)	θ = angle vent / normal a la coberta
C_p = calor específic de l'aire humit	μ = viscositat (N·s/m^2)
d_f = distància mínima entre aigua i coberta	σ = Constant d'Stefan Boltzmann
h = coeficient de convecció (W/m2·K)	ϕ = humitat relativa
I = Irradiació solar incident per hora (W/m2·h)	ε = emisivitat
L= Longitud	ν = viscositat dinàmica (m/s)
λ = Conductivitat tèrmica (W/m·K)	δ = angle d'inclinació coberta
λ_f = Conductivitat tèrmica aire humit (W/m·K)	τ = transmisivitat
Nu = Nombre de Nusselt	**SUBINDEXS**
P = Pressió (Pa)	a = aire
Pr = Nombre de Prandlt	b = base, component directe radiació
q = flux de calor (W/m2)	c = convecció
Q = calor (W)	d = component difusa
Ra = Nº de Raleigh	ev = evaporació
T = Temperatura (ºC)	g = vidre
U = Coeficient de transmisivitat global (W/m2·k)	r = radiació
ΔH = Calor latent de vaporització de l'aigua	w = aigua
α = absortivitat	

L'equació del balanç d'energia transitori per a la coberta de vidre, per unitat d'àrea de safata, es pot escriure com:

$$m_g \cdot C_g \frac{dT_g}{dt} = (\alpha_g I_b + \alpha_{gd} I_d) + q_{ev} + q_{r,w-g} + q_{c,w-g} - q_{r,g-a} - q_{c,g-a} \qquad [1]$$

Pel que fa el balanç d'energia de la base de la destil·ladora, de la safata absorbent, el podem plantejar amb la següent equació:

$$m_b \cdot C_b \frac{dT_b}{dt} = q_{abs} - q_{perd} \qquad [2]$$

En el procés de destil·lació solar, la transferència de calor, principalment per convecció i per evaporació són importants per avaluar el funcionament del sistema. Les transferències de calor evaporatives i convectives depenen fortament entre elles. Una expressió per a aquestes pèrdues, que lliguen la transferència de massa i la transferència de calor, va ser desenvolupada per Dunkle [11] a partir de l'expressió:

$$Nu = \frac{h_{cw} \cdot d_f}{k_f} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \qquad [3]$$

Des d'aquesta primera formulació, la discussió sobre el valor dels paràmetres C i n ha estat intensa en els cercles acadèmics. Els valors que Dunkle proposa, C=0.075 i n=1/3, tenen les següent limitacions:

- És vàlid únicament per temperatures al voltant de 50ºC
- És independent del volum de la cavitat que forma la destil·ladora
- És adequat per a fluxos verticals en espais d'aire tancats horitzontals

Malgrat presentar un error del 5% en nombrosos experiments, es segueix considerant el model de Dunkle un dels més vàlids per a la predicció del funcionament de les destil·ladores solars i aquest serà el model que s'emprarà en aquest estudi.

Seguint amb el model plantejat, la transferència de calor per convecció a través de l'aire humit des de l'aigua salina cap a la coberta es donada per:

$$q_{c,w-g} = h_{c,w-g} \cdot (T_w - T_g) \qquad [4]$$

on

$$h_{c,w-g} = \frac{k_f}{d_f} \cdot C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \qquad [5]$$

i

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \rho^2 \cdot d_f^{\,3} \cdot \Delta T}{\mu^2} \qquad [6] \qquad\qquad Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{k_f} \qquad [7]$$

essent

$$\Delta T = (T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_g) \cdot (T_w + 273)}{268{,}9 \cdot 10^3 - P_w} \qquad [8]$$

El coeficient de transmissió de calor per evaporació entre l'aigua i el vidre es determina a través de l'expressió:

$$h_{ev} = 0{,}016 \cdot h_{cw} \cdot \frac{(P_w - P_g)}{(T_w - T_g)} \qquad [9]$$

De tal manera, que la calor transmesa per evaporació entre l'aigua i el vidre es determina a través de l'expressió:

$$q_{ev,w-g} = h_{ev} \cdot (T_w - T_g) \qquad [10]$$

Pel que fa la calor transmesa per radiació des de l'aigua cap a la coberta, $q_{r,w-g}$, ve donada per l'expressió:

$$q_{r,w-g} = 0'9 \cdot \sigma \cdot (T_w^{\ 4} - T_g^{\ 4}) \qquad [11]$$

Pel que fa les pèrdues a la coberta, tant per convecció com per radiació, les expressions que les determinen són:

$$q_{c,w-g} = h_c \cdot (T_g - T_a) \qquad [12]$$

on el coeficient de convecció entre el vidre i l'aire, es determina per:

$$h_c = (Nu_L + Nu_f)^{1/3} \cdot \frac{k}{L_g} \qquad [13] \qquad Nu_L = 0{,}288 \cdot Re^{0.731} \cdot Pr^{1/3}$$

$$Nu_{th} = 0{,}037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \quad \text{i} \quad Nu_f = Nu_L \cdot \cos^2\theta + (1 - \cos^2\theta) \cdot Nu_{th}$$

Es sol usar, però, una versió simplificada: $h_c = 2{,}8 + 3 \cdot v$ [14]

Les pèrdues per radiació del vidre a l'ambient són:

$$q_{r,g-a} = 0{,}9 \cdot \sigma \cdot (T_g^{\ 4} - T_{sky}^{\ 4}) \qquad [15]$$

$$T_{sky} = T_a \cdot (0{,}74 + 0{,}006 \cdot T_{dp})^{1/4} \qquad [16]$$

$$T_{dp} = \frac{237{,}3 \cdot (\ln\phi + \frac{17{,}27 \cdot T_a}{T_a + 237.3})}{17{,}27 - (\ln\phi + \frac{17{,}27 \cdot T_a}{T_a + 237.3})} \qquad [17]$$

Ara cal, per finalitzar determinar les pèrdues a la base. Es determinen a partir de la llei de conducció de Fourier:

$$q_{perd} = U \cdot (T_w - T_a) \qquad [18]$$

essent el coeficient global de pèrdues

$U = (\frac{L_b}{k_b} + \frac{1}{h_{in}})^{-1}$ i $h_{in,}$ considerant el model de superfície inferior de placa plana calenta, la trobem amb la correlació: $h_{in} = \frac{\lambda_a}{L} \cdot 0{,}27 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$ essent

$L = \frac{A_b}{P_b}$, el quocient entre l'àrea de la base i el seu perímetre.

Finalment, l'energia que absorbirà la base, que recull l'energia tèrmica de la irradiació solar, serà:

$$q_{abs} = \alpha_b (I_b \cdot \tau_{wb} + I_d \cdot \tau_{wd}) \qquad [19]$$

Aquest és el model matemàtic del funcionament d'una destil·ladora solar. La productivitat instantània de la mateixa ve determinada per la calor d'evaporació de l'aigua cap al vidre. Per trobar la producció instantània de la destil·ladora:

$$\dot{m}_w = \frac{q_{e,w-g}}{\lambda} \text{ kg/s} \qquad [20]$$

L'eficiència de la destil·ladora es calcula a partir de la irradiació solar incident i de la fracció que és aprofitada per a l'evaporació de l'aigua salina. L'eficiència instantània de la destil·ladora és:

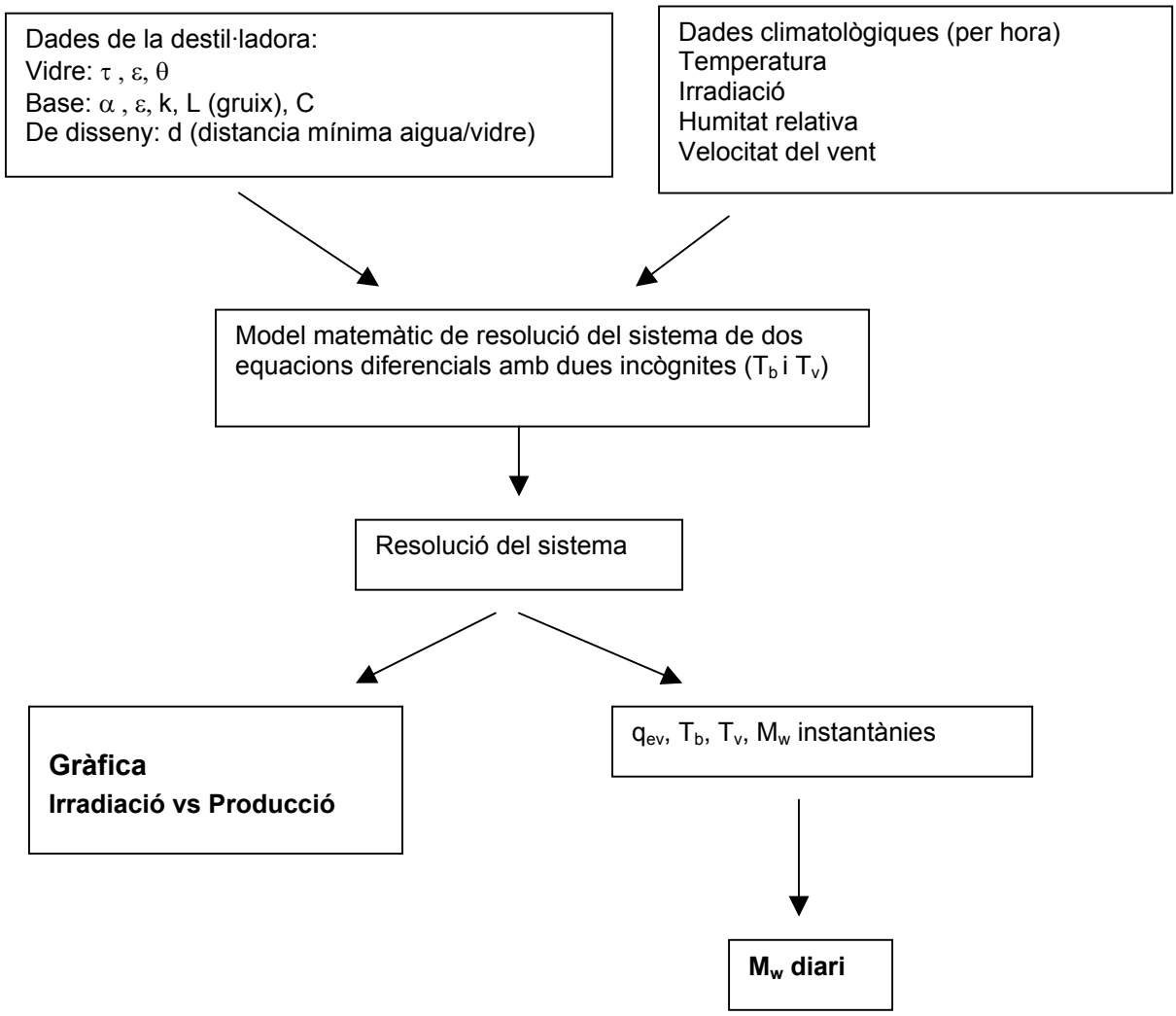
$$\eta = \frac{q_{e,w-g}}{I} \qquad [21]$$

Per trobar l'eficiència de la destil·ladora per a que permeti trobar la massa destil·lada per dia en funció de la irradiació global, podem emprar la fórmula:

$$\bar{\eta} = \frac{M_{diaria} \cdot \lambda}{I_{diaria}} \qquad [22]$$

Un cop desenvolupat el model matemàtic, cal desenvolupar una aplicació que donades les dades climatològiques i el disseny d'una destil·ladora, permeti predir la productivitat de la destil·ladora, com a eina de dimensionat de les instal·lacions de dessalació per destil·lació solar.

Per al desenvolupament d'aquesta eina, s'emprarà el programa informàtic MATLAB®. L'esquema de funcionament de l'aplicació que es vol dissenyar és el següent i realitza el càlcul de producció per un dia, desglossat per hores:



L'aplicació creada s'adjunta en l'annex C, juntament amb els resultats de la predicció per a l'experimentació a Barcelona.

7.3 Construcció d'un prototipus de destil·ladora

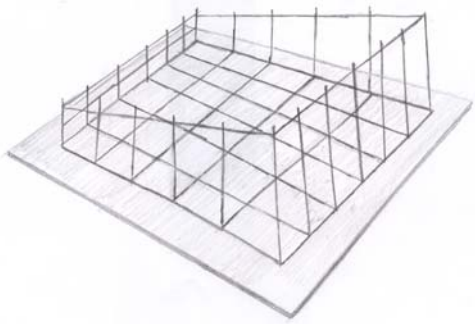
Es va procedir a la construcció d'un prototipus de destil·ladora solar per tal de realitzar una sèrie d'experiments sobre la seva productivitat i per tal d'assolir coneixements pràctics sobre les dificultats i possibles problemàtiques de construcció i establir millores en el disseny proposat. Anteriorment, s'havia construït una destil·ladora de plàstic a dues aigües, la informació sobre la qual s'exposa en l'annex G.

Les úniques diferencies respecte el disseny proposat per les destil·ladores a construir en les comunitats rurals van ser el material estructural i el tancament del vidre. Enlloc de les totxanes i el morter, es va construir una destil·ladora amb ferrociment amb ciment porland i filferros de , ja que no es disposaven de la possibilitat d'obtenir totxanes com les que fabriquen les comunitats i que la tècnica de construcció en ferrociment era coneguda. I el vidre es va situar sobre l'estructura, amb una junta de silicona i subjectat per dues cintes que l'amotllaven a la junta de silicona.

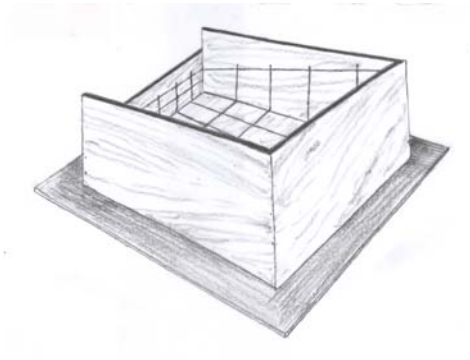
Es va construir una destil·ladora de 0,5 m^2 amb una coberta inclinada a 22º de vidre comú de 4 mm de gruix, amb el canal de recollida de destil·lat sobre el propi material estructural i juntes de silicona per garantir l'estanqueïtat. El prototipus era a escala de la destil·ladora que es proposa per a les comunitats rurals d'Argentina.

El procés de construcció va seguir els següents passos:

1. <u>Elaboració de l'armat</u> amb filferro de 5 mm de gruix, seguint l'estructura de la destil·ladora.



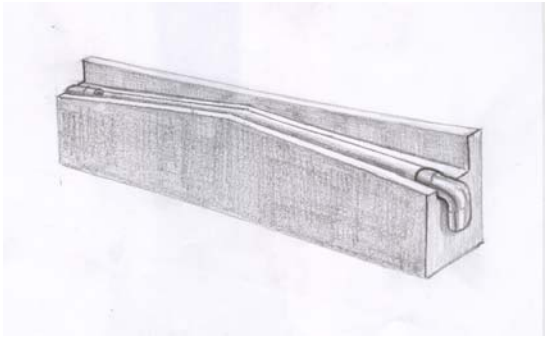
2. Preparació de l'encofrat per facilitar la posterior consolidació de l'estructura de porland.



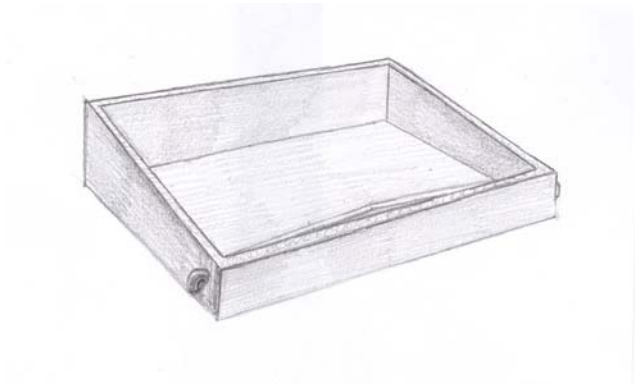
3. Aplicació del ciment porland a l'estructura i secat durant dos dies.

4. Alineació de les parts superiors de l'estructura i allisat de les parets interior i exterior.

5. Conformació del canal de recollida en la paret inferior de la destil·ladora i encolat dels colzes.



6. Aplicació d'una junta de silicona a les cares superiors de les quatre parets de les destil·ladores i al voltant dels colzes, per garantir l'estanqueïtat.



7. Aplicació de la pintura en la base de la destil·ladora

8. Situació del vidre amb un obstacle per fer caure les gotes al canal i sistema de subjecció format per unes cintes que reparteixen l'esforç en tot el perímetre

7.4 Resultats de l'experimentació amb el prototipus

Per tal de realitzar una sèrie d'experiments que permetessin avaluar la productivitat de la destil·ladora i els possibles errors de disseny, es va procedir a la instal·lació del prototipus construït al terrat del Departament de Física i Energia Nuclear de la ETSEIB.

Es va situar la destil·ladora orientada al Sud, per tal de garantir el màxim aprofitament de la radiació solar sobre una estructura a 1 metre d'alçada. Sota aquesta estructura es va situar una garrafa de plàstic de laboratori que recolliria l'aigua destil·lada que sortia de la destil·ladora per dues mànegues de goma.

Es va omplir la destil·ladora amb 15 litres d'aigua de xarxa de Barcelona i s'hi van afegir 300 g de clorur de sodi (sal comuna) per donar una salinitat de 20.000 ppm, superior a l'habitual de les fonts d'aigua de les comunitats rurals, però que permetria avaluar millora la eficàcia de la destil·lació del prototipus. L'altura resultant de l'aigua en el dipòsit va ser de 3 cm.

Durant el primer dia d'experimentació es van detectar dos falles de la destil·ladora:

- Les juntes de silicona no garantien l'estanqueïtat.
- L'obstacle situat en el vidre per fer caure les gotes al conducte d'evacuació era insuficient i les gotes el traspassaven.
- Hi havia zones del vidre on es produïa una condensació en gotes que no bloquejava el camí de l'aigua vidre avall i feia caure les gotes de nou a la base.

Per tal de solucionar aquests problemes, es va procedir primer a incrementar el gruix de l'obstacle fins a 1 centímetre. Per millorar l'estanqueïtat, es van situar en el perímetre de vidre unes juntes de goma adhesives que en ser premsades contra la silicona garantien l'estanqueïtat de les juntes.

Pel que fa la condensació del vidre, es va procedir a una neteja exhaustiva de la superfície inferior del vidre, per si la condensació en gotes era provocat per la presència de brutícia o pols en aquesta superfície.

Així, es va procedir a una nova experimentació durant el dia 21 de març de 2004, les condicions meteorològiques del qual, preses de l'estació del terrat de la Facultat de Física i Química de la UB, s'expressen a continuació:

Temperatures

Hora UTM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp.(ºC)	12.5	12.1	11.8	11.5	11.2	11	11.5	12.5	14.5	15.4	16.8	17.2	17.5

Hora UTM	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Temp.(ºC)	17	16.5	15	14.2	13.5	13.4	13.2	13.1	13.8	13.4	13.3

Radiació

Hora UTM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Radiació (W/m^2)	0	0	0	0	0	0	0	100	225	313	476	587	749

Hora UTM	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Radiació (W/m^2)	765	650	612	424	196	0	0	0	0	0	0

La producció de la destil·ladora per a aquest dia va ser de:

0.83 l d'aigua destil·lada

Es va comparar amb el valor que dóna la simulació amb MATLAB®, presentats en l'annex c.2, per a les mateixes condicions climàtiques i amb els paràmetres de la destil·ladora experimental. Aquest valor teòric és de

2.34 l d'aigua destil·lada

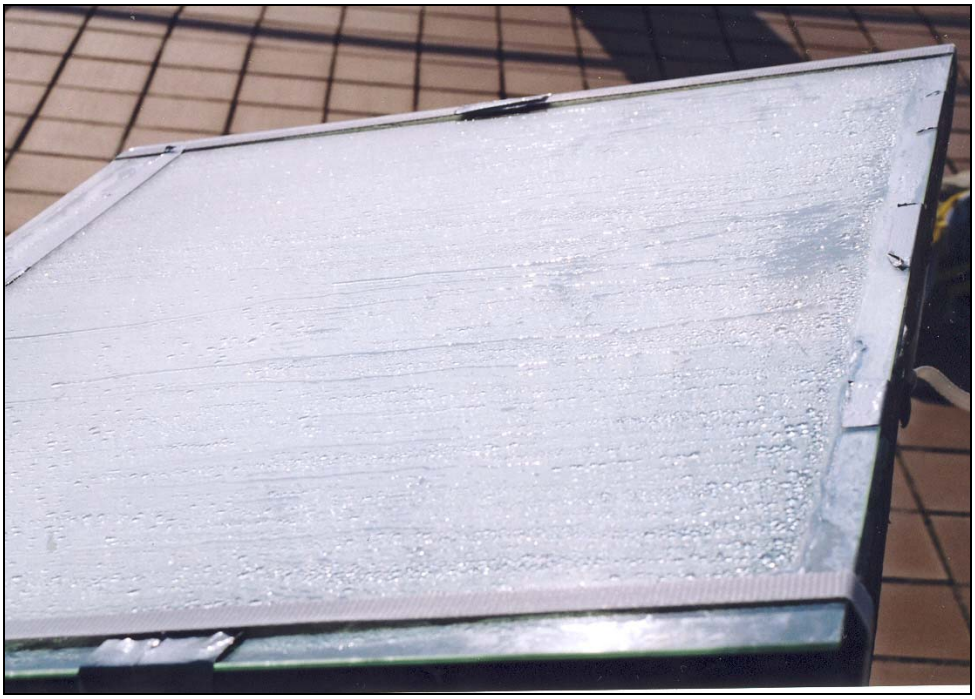
Es pot comprovar que la diferència és excessiva. Es poden atribuir les causes d'aquesta notable diferencia als següents factors i a les seves causes:

PROBLEMA	POSSIBLES CAUSES
Caiguda de les gotes del vidre a la safata	Inclinació del vidre insuficient, brutícia del vidre, baixa qualitat del vidre
Reevaporació del destil·lat	Inclinació insuficient del canal de recollida
Baixa temperatura a l'interior de la destil·ladora	Materials estructurals poc aïllants,
Pèrdua de vapor	Juntes no estanques
Altura de la destil·ladora excessiva	Disseny poc compacte

Així, les conclusions que es poden extreure d'aquesta experimentació, són les següents:

- El valor teòric és un màxim al qual han d'anar tendint els dissenys de la destil·ladora.
- La construcció de la destil·ladora, malgrat ser assequible, requereix de nivells de precisió elevats
- Cal reduir la distància entre l'aigua i el vidre
- Cal assegurar-se que el vidre emprat sigui suficientment mullable
- Cal garantir una bona evacuació del destil·lat per evitar la seva reevaporació, augmentant el pendent del canal de recollida.
- Assegurar l'estanqueïtat de la junta
- Configuració diferent del vidre respecte l'estructura

Totes aquestes conclusions han estat tingudes en compte en el disseny proposat en l'apartat 7.2 i seran tingudes en compte en la seva aplicació i construcció a les comunitats, on a aquests factors s'hi afegiran les propostes dels membres de la comunitat, sumant sabers.



7.5 Impacte ambiental de la solució

En el procés de destil·lació solar, la major corrent de residus que es genera – el concentrat que roman a l'interior de la destil·ladora – reflecteix les característiques de l'aigua que s'ha volgut destil·lar en una concentració major. D'aquesta manera, no es creen nous contaminants ni massa; redistribueix (concentra) aquells elements ja presents a l'aigua salina. També hi poden aparèixer, però, en aquesta solució concentrada, metalls o altres elements provinents de la corrosió d'alguns elements de la destil·ladora (gomes, metalls, etc.), però sempre en una concentració mínima.

Aquesta situació, malgrat tenir ja de per si un baix impacte ambiental, serà més problemàtica en aquelles comunitats on es vulgui fer una únic mòdul d'abastament comunitari, ja que la producció d'aigües residuals amb alta concentració salina serà ubicada en un únic indret, produint una possible concentració de contaminants en un punt en concret.

De totes maneres, existeixen diverses formes per tal de dipositar els concentrats. En la taula següent, es presenten les diverses solucions per al dipositat dels concentrats i l'efecte que pot tenir en el medi aquest tractament:

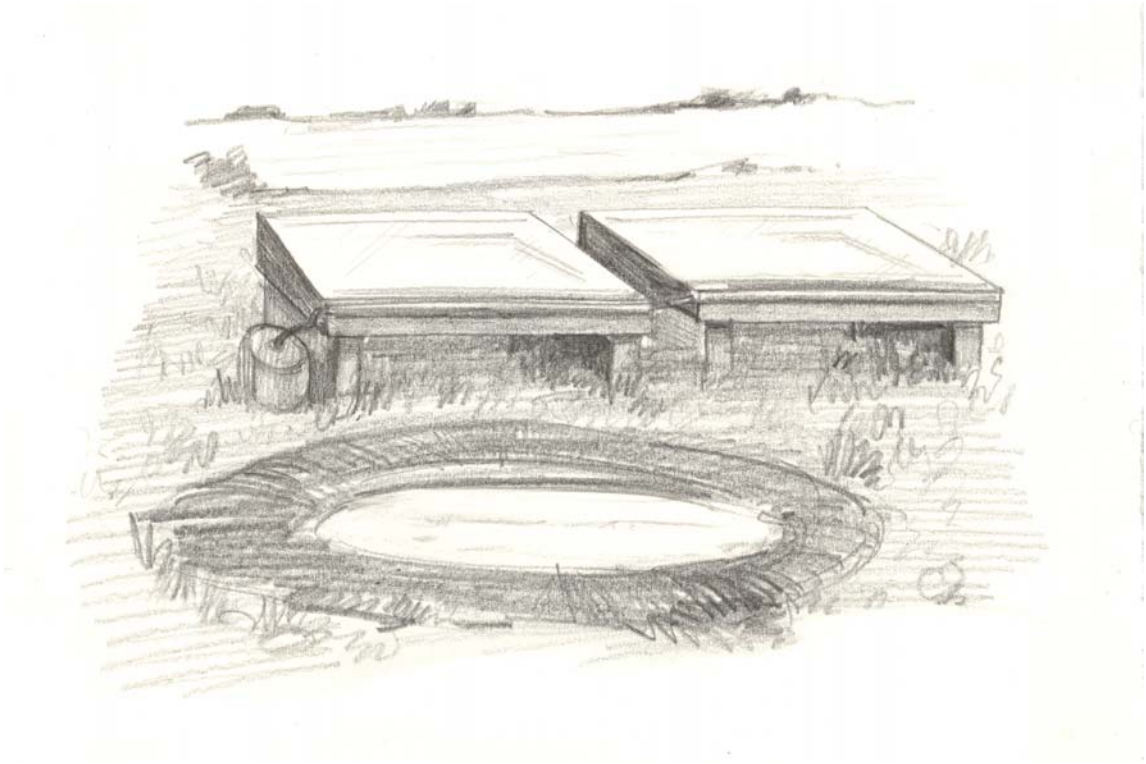
Mètode de descàrrega	Possibles efectes sobre el medi
Abocament en aigües superficials	Contaminació de les aigües receptores
Planta de tractament	Possibles contaminants derivats
Abocament sobre el sòl	Contaminació de les aigües subterrànies i del sòl
Injecció a profunditat en el sòl	Contaminació dels aqüífers subterranis
Basses d'evaporació	Possible contaminació de aigües subterrànies per pèrdues a la bassa
Zero descàrrega (cristal·lització)	Contaminació provocada per la disposició dels sòlids produïts.

Les **basses d'evaporació** són l'opció més adequada per a les comunitats rurals, ja que disposen de terreny on situar-les i el clima és molt sec i calorós, essent el coeficient d'evapotranspiració molt alt. Amb això, aconseguirem que restin les sals i els altres elements

en les basses, i que no puguin contaminar algun aqüífer o augmentar-ne la concentració de contaminants.

Cal garantir que la bassa estigui no presenti pèrdues, que poguessin produir un escolament de l'aigua altament salina cap als aqüífers. Es proposa, unes basses superficials amb aïllament de tela de nylon, resistent al temps i impermeable, que ens garantirà la no filtració d'aigua.

Cal dir, però, que l'impacte ambiental de les destil·ladores solars és mínim, i que l'ús d'energies renovables i l'absència de potabilitzadors químics com el clor per al seu funcionament, el fa medioambientalment molt adequat.

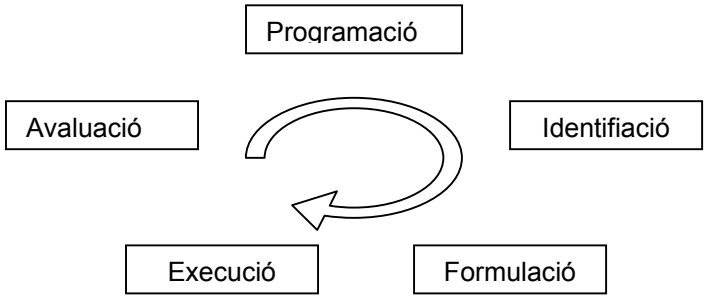


8. PLANIFICACIÓ DE L'ALTERNATIVA ESCOLLIDA COM A PROJECTE DE COOPERACIÓ AL DESENVOLUPAMENT

El que es pretén és planificar la implantació de les dessaladores solars en les comunitats rurals integrades en les organitzacions camperoles argentines i plantejar-ho com al projecte de cooperació que és entre aquestes organitzacions i Enginyeria Sense Fronteres.

Un Projecte de Cooperació al Desenvolupament és un conjunt d'accions de caràcter precís, localitzada geogràfica i temporalment, que persegueix un objectiu concret per la promoció del desenvolupament humà. En el nostre cas, volem abastar d'aigua per a consum humà les comunitats rurals de diverses zones del nord oest argentí a partir de la introducció de destil·ladores solars que, com s'ha vist fins ara, s'ha plantejat com la alternativa més apropiada.

En el cicle dels projectes de cooperació hi trobem les següents fases:



- Programació: Definició de les línies estratègiques a seguir.
- Identificació: Designació dels agents involucrats i els problemes als quals es vol donar resposta.
- Formulació: Especificació del projecte en detall.
- Execució: Realització de les activitats.
- Avaluació: Revisió de tot el procés.

Les fases de programació i identificació són les que corresponen a la primera part d'aquesta memòria. La fase de formulació es la que es correspondria a l'anàlisi d'alternatives, definició de l'alternativa més adequada i planificació de l'execució, que es el que es pretén fer en aquest apartat.

Queden fora de l'abast d'aquest projecte la part de recerca de finançament i l'execució a terreny del projecte. Aquestes etapes es realitzaran en una etapa posterior dins de la dinàmica del grup d'Argentina d'Enginyeria Sense Fronteres.

Per a aquest aparta de planificació, en una primera fase, s'analitzarà la viabilitat del projecte en els diversos plans necessaris per poder visualitzar totes les variables que afectaran durant el procés del projecte, com són la viabilitat des de l'àmbit social i cultural, des de l'àmbit tecnològic, econòmic, etc.

Posteriorment, es plantejarà el treball amb les comunitats i les organitzacions. Aquest projecte s'ha d'integrar en el procés organitzatiu de la comunitat i ha d'afavorir els eixos de participació, implicació i formació sobre els que treballa la organització. En una metàfora, el procés organitzatiu és un riu al qual els projectes de cooperació tecnològics són un afluent que augmenten la força i el cabal del curs principal.

Això implica treballar, primer, els aspectes més socials de la instal·lació, si es vol fer comunitària o familiar, qui la gestionarà, etc. Igualment, els aspectes de formació tècnica tant a nivell usuari com per a l'autoconstrucció s'han de dissenyar en funció de la realitat i la situació sociocultural de la comunitat. S'elabora una proposta inicial de procés formatiu, que haurà de ser discutida amb les organitzacions locals per sumar sabers i fer-la el més apropiada possible.

Finalment, una planificació en una Matriu de Marc Lògic i una temporització sobre un cronograma de les diverses activitats que contempla el projecte ens permetrà visualitzar el desenvolupament del projecte al llarg del temps i la successió d'etapes necessàries per a la seva concreció.

Tot el treball entorn a l'execució del projecte com a projecte de cooperació s'ha adjuntant en l'Annex A.

9. PRESSUPOST D'EXECUCIÓ

El pressupost que es presenta a continuació correspon a la quantitat (en euros) a avalar per la execució del projecte d'instal·lació d'un mòdul d'abastament d'aigua potable per a consum humà mitjançant la dessalació per destil·lació solar en una comunitat rural d'Argentina amb 10 famílies. En tant que projecte de cooperació en el qual hi participa una organització no governamental, hi ha diverses partides que, en ser realitzades per voluntaris, es comptabilitzen però que no tindran repercussió monetària final.

Es presenten primer els pressupostos per partides i finalment, un pressupost resum en el que les partides estan desglossades per finançadors, ONG del Nord, organització local argentina i beneficiaris.

Partida 1 Material i infrastructura

Codi	Material	Unitats	Quantitat	Preu (€)	TOTAL (€)
1.1	Destil·ladora solar	ud.	100	94,98	9.497,50
1.1.1	Planxa de vidre comú 4 mm	m^2	2	18,00	36,00
1.1.2	Totxanes ceràmiques	ud.	24	0,55	13,20
1.1.3	Morter	Kg	5	1,50	7,50
1.1.4	Pintura de resina epoxy sense dissolvents	Kg	1,5	4,75	7,13
1.1.5	Silicona	dm^3	1	4,00	4,00
1.1.6	Canaletes d'acer	Ml	2	8,50	17,00
1.1.7	Colzes de coure	ud.	2	0,50	1,00
1.1.8	Mànega de goma	Ml	1,5	1,50	2,25
1.1.9	Dipòsit de plàstic de 50 l.	Ud.	2	3,45	6,90
1.2	Eines	ud.	5	30,00	150,00
				TOTAL MATERIALS	**9.647,50 €**

Partida 2 Salaris

Codi	Tasca	Unitats	Quantitat	Preu (€)	TOTAL (€)
2.1	Enginyer (Disseny del mòdul)	h.	200	18	3.600,00
2.2	Tècnic projecte ONG nord	dies	120	58,35	7.002,00
2.3	Responsable projecte Sud	dies	90	24,25	2.182,50
2.4	Manobres	dies/persona	180	10,35	1.863,00
				TOTAL SALARIS	**14.647,50 €**

Partida 3 Viatges i Desplaçaments

Codi	Tasca	Unitats	Quantitat	Preu (€)	TOTAL (€)
3.1	Viatge identificació	ud.	1	2000	2.000,00
3.2	Viatges interns	ud.	10	45	450,00
3.3	Transport materials	ud.	10	38,35	383,50
3.4	Viatge cooperant	ud.	1	2500	2.500,00
			TOTAL VIATGES I TRANSPORT		**5.333,50 €**

Partida 4 Formació i Sensibilització

Codi	Tasca	Unitats	Quantitat	Preu (€)	TOTAL (€)
4.1	Quaderns de formació	ud.	80	12	960,00
4.2	Material de Sensibilització	ud.	10	45	450,00
			TOTAL FORMACIÓ I SENSIBILITZACIÓ		**1.410,00 €**

Partida 5 Material d'oficina i fungible

Codi	Tasca	Unitats	Quantitat	Preu (€)	TOTAL (€)
5.1	Ordinador portàtil	ud.	1	2000	2.000,00
5.2	Manteniment i reparació d'equips	ud.	2	100	200,00
5.3	Fungibles	ud.	1	135	135,00
5.4	Electricitat i comunicació	ud.	1	200	200,00
5.4	Rodets fotogràfics	ud.	5	30	150,00
				TOTAL FUNGIBLES	**2.685,00**

PRESSUPOST CONSOLIDAT TOTAL

PARTIDA	FINANÇADOR	CCD-UPC	ONG NORD I VOLUNTARIS	ORGANITZACIO LOCAL I BENEFICIARIS	TOTAL
1. MATERIALS	8.682,75 €			964,75 €	9.647,50 €
2. SALARIS	732,38 €		10.253,25 €	3.661,88 €	14.647,50 €
3. VIATGES I DESPLAÇAMENTS		4.000,13 €		1.333,38 €	5.333,50 €
4. FORMACIÓ I SENSIBILITZACIÓ		1.410,00 €			1.410,00 €
5. MATERIAL FUNGIBLE I D'OFICINA	1.342,50 €	671,25 €	268,50 €	402,75 €	2.685,00 €
TOTAL	**10.757,63 €**	**6.081,38 €**	**10.521,75 €**	**6.362,75 €**	**33.723,50 €**
	31,9%	18,0%	31,2%	18,9%	

La part corresponent a Finançador i a CCD-UPC, correspondrien a les convocatòries a les quals caldria presentar-se per poder obtenir la quantitat de diners necessàries per endegar el projecte. Finançadors podrien ser Ajuntaments, Diputacions, la Generalitat, mentre que el CCD-UPC, és el Centre de Cooperació al Desenvolupament de la UPC i que financia accions de cooperació (principalment viatges i estades al Sud) per a membres de la UPC. Per tant, només caldrien 16.784,01 € per a l'execució del projecte.

Destacar, finalment, la importància i l'impacte que les hores de voluntariat tenen en el pressupost. L'existència d'ONG amb caràcter participatiu i formades per voluntaris redueix el cost del projecte en un 30 %, que sumat a les aportacions voluntàries de l'organització local i els beneficiaris, redueixen la necessitat de recursos econòmics per tirar el projecte endavant a la meitat.

10. CONCLUSIONS

En aquest projecte s'ha estudiat quina alternativa era més favorable per a la implantació de mòduls d'abastament d'aigua potable per a comunitats rurals aïllades de les zones àrides d'Argentina, atenent als condicionants socials i culturals de la població beneficiaria.

S'ha determinat que la dessalació per destil·lació solar és una bona alternativa per solucionar la problemàtica de manca de qualitat del recurs hídric disponible, principalment per la seva capacitat d'eliminació de contaminants, tant orgànics com inorgànics. Cal destacar també, l'eficàcia i senzillesa dels mòduls de captació d'aigua de pluja que, malgrat ésser més limitats, poden cobrir gran part de les necessitats d'aigua de les comunitats rurals.

És important que el disseny del mòdul a implantar tingui en compte les problemàtiques que han sorgit de la experimentació amb el prototipus i tingui en compte les recomanacions que se'n desprenen. Per a que siguin realment efectives en la seva missió, les destil·ladores han de ser dissenyades i construïdes amb molta cura, ja que errors de disseny provoquen caigudes en picat de la ja de per si limitada productivitat, com ha succeït en l'experimentació que ha tingut lloc en el marc del projecte.

Igualment, s'ha de tenir en compte que el valor de la predicció teòrica que genera l'aplicació informàtica creada és un indicador del màxim al qual ha de tendir la producció de la destil·ladora. Així, cal sobredimensionar la instal·lació respecte al valor que ens doni l'aplicació informàtica, assumint diferències provades entre la predicció i el resultat experimental.

Finalment, destacar la necessitat i la importància de la investigació en tecnologies apropiades per als països en vies de desenvolupament per cobrir les necessitats bàsiques de la seva població respectant les seves singularitats i fent-la partícep dels processos de decisió i definició de la seva implantació. I la importància que aquesta feina es desenvolupi des de l'opció del voluntariat, tant per una qüestió econòmica com per una qüestió de responsabilitat i compromís amb un món més just i solidari.

11. AGRAÏMENTS

Es vol agrair sincerament a les següents persones l'ajut i el suport rebut per tal que aquest projecte fos realitzat:

A l'Enric Velo, pel seu acompanyament durant tot el procés de concepció i elaboració.

A l'Albert Granados, per les seves lliçons magistrals de MATLAB i el seu afecte constant.

A l'Isabel Vallès i en Lluis Batet del Departament de Nuclear, per facilitar-me l'experimentació.

Al meu avi Ramon , per transmetre'm els coneixements sobre construcció amb ciment i ajudar-me en la construcció del prototipus.

Al meu pare, Joan Puig, pels magnífics dibuixos que omplen de llum aquest document.

A la meva mare, Rosa Sadurni, per tota la logística i l'estima necessàries per afrontar aquesta carrera.

Al Grup ESF-Argentina, sense el suport, l'afecte i compromís de lluita del qual mai hagués sorgit la possibilitat de realitzar aquest projecte i tantes altres coses.

I a la Delegació, el Cine-Club, el Teatre i tots aquells que dia a dia fan d'aquesta escola un espai més humà i participatiu, allunyant-la d'aquest sistema deshumanitzant i cruel.

12. BIBLIOGRAFIA

Referències bibliogràfiques

[1] GLEICK. P.H., Basic water requirements for human activities. Meeting basic needs. Water international, Vol 21. (1996.)

[2] A.VALERO, J. UCHE, L SIERRA, La desalación como alternativa al PHN, Informe para el Gobierno de Aragón, enero 2001

[3] A. HANSON ET AL., Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies. Solar Energy 1364 (2003)

[4] M.S. SODHA ET AL., Energy Conversion and Management, 20 (1980)

[5] R. YATES AND T WOTO, Small Scale Desalination for remote areas of Botswan, Final Report of a research project funded by the International Development Research Centre, Ottawa, Canada, (1988)

[6] G. N. TIWARI AND Y.P. YADAV, Energy Conversion and Management, 27-4, (1985)

[7] H. AL-HINAI ET AL., Effect of Climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still, Energy Conversion et Management 43, (2002)

[8] S.N. RAI ET G.N. TIWARI, Energy Conversion and Management 23 , (1983)

[9] H. MCCRAKEN AND JOEL GORDES, Understanding Solar Stills, Technical Paper #37 , Volunteers in Technical Assistance, (1985)

[10] E. SARTORIUS, A mathematical model for predicting heat and mass transfer from a free water surface, Proc. ISES Solar World Congress, Hamburg, Germany, pp 3160-3164, (1987)

[11] R. V. DUNKLE, Solar water distillation; the roof-type and a multi effect diffusion still, Proc.1961 ASME Int. Heat Transfer Conf. pp 895-902, (1961)

Bibliografia complementaria

DUFFIE J.A. AND BECKMAN, Solar engineering of thermal processes. Willie, N.Y. (1980)

FARRINGTON DANIELS, Uso Directo de la Energia Solar, H. Blume Ediciones, (1977)

B.J. BRINKWORTH, Energia Solar para el Hombre, H. Blume Ediciones, (1981)

DAVID DICKINSON, Tecnologia Alternativa, Ediciones Orbis 1985
INCROPERA&DEWITT, Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice Hall (1996)
A. SCHARL, K. HARRS , Solar Distillation, Gate Technical Information, GTZ, (1993)
M. G. GREEN, D. SCHWARZ, Extracting Drinking Water from Salt Water: An Overview of Desalination Options for Developing Countries, InfoGATE (2001)
DIVERSOS AUTORS, Solar Distillation, Technical Brief, Intermediate Technology Developement Group (1996)
L.OJINAGA, R.E.FOSTER, Experiencias en el Uso de Destiladores Solares en San Luís Potosí i Chihuahua, , Ponencia XXV Semana Nacional de Energia Solar, (Mexico 2001)
EDUARDO ZARZA MOYA, Desalación del Agua Mediante Energias Renovables, CIEMAT (2002)
IRENE DE PAUL, Comportamiento de un Destilador Tipo Batea Con Pendiente Alta en las Cubiertas, ASADES (2001)
ONU, Agua Para Todos, Agua Para la Vida, Resumen del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, Agencies Participants: OMS, FAO, UNICEF, PNUMA (2003)
T. FERNANDEZ, Mejora de las técnicas constructivas tradicionales en zonas rurales del Camerun, Projecte Final de Carrera, ETSEIB (1999).

Recursos d'internet

www.cepis-oms.org
www.gtz.de/gate/gateaid.afp
www.idrc.ca
www.desline.com
www.sciencedirect.com
www.infomet.fcr.es