

827 CL0593

# Drinkwatervoorziening

## Misión San Juan de la Costa

### Osorno Chili

Verslag veldstage september tot en met december 1992

Juni 1993

Weren de Vet



LIBRARY  
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND  
SANITATION (IRC)

**TU Delft**  
Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek  
Centre for International Coöperation  
and Appropriate Technology (CICAT)

827-CL0593-10928

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	1
<b>1. Inleiding</b>	3
1.1. Mislón San Juan de la Costa, Osorno, Chile	3
1.2. Het onderzoek	3
1.3. De begeleiding van de stage	4
<b>2. Context watersituatie</b>	4
2.1. Het waterverbruik in Mislón San Juan de la Costa	4
2.1.1. Verbruiksschatting aan de hand van de bevolkingsomvang	5
2.1.2. Metingen	5
2.2. Waardering van de gebruikers	7
2.3. Normering	7
2.4. Bron voor de drinkwaterbereiding	8
2.5. Waterbehandeling	8
2.5.1. Fysische zuivering	10
2.5.2. Desinfektie	12
2.6. Lokale organisatie	13
2.6.1. Technisch beheer	13
2.6.2. Financieel beheer	14
<b>3. Projectafbakening van de stage</b>	14
3.1. Probleembeschrijving	14
3.2. Doelstellingen	15
3.3. Randvoorwaarden en uitgangspunten	15
<b>4. Alternatieven voor verbetering waterkwaliteit</b>	15
4.1. Keuze van de bron	15
4.1.1. Grondwater	15
4.1.2. Oppervlaktewater	16
4.2. Waterzuivering	16
<b>5. Tijdelijke voorzieningen</b>	19
5.1. Pilot-studie	19
5.1.1. Doelstellingen en uitgangspunten	20
5.1.2. Meetmethoden	22
5.1.3. Resultaten	23
5.2. Fysische zuivering	25
5.2.1. Uitwerking getroffen voorzieningen	25
5.2.2. Diskussie en adviezen voor de korte termijn	28
5.3. Desinfektie	30
5.4. Versterking lokale organisatie	31
<b>6. Aanbevelingen voor de lange termijn</b>	33
<b>Literatuur</b>	35
<b>Bijlagen</b>	37

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE  
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY  
AND ORGANIZATION (ICWU)  
P.O. Box 93190, 2300 AD The Hague  
Tel. (070) 814011 ext. 141/142

RN: 10W 109.78  
LO: 827 CL.0593



Werkstaking vanwege een regenbui

## Voorwoord

In het najaar van 1992 beleefde ik mijn eerste Chileense lente. Ruim drie maanden genoot ik het voorrecht temidden van indianen in zuid-Chili te mogen werken en leven. In een missiepost, waar een oom van mij al meer dan 25 jaar missionaris is, werkte ik vrij en onverveerd aan een nieuw project ter verbetering van de drinkwatervoorziening. Het werk gold als stage in het kader van mijn opleiding Civiele Gezondheidstechniek aan de Technische Universiteit van Delft. De stage was een sprong in de diepte van de praktijk. Die was een stuk weerbarstiger dan mijn fantasie vooraf kon behappen. Na een flinke worsteling met de voertaal Spaans en het ontdekken van vele nieuwe gezichten, verhoudingen en gewoonten ontvouwde het ontwikkelingsvraagstuk zich voor mij in haar volle perspectief. In de resterende maanden kon ik al mijn verworven technische en sociale inzichten naar hartelust botvieren op de watervoorziening van het dorp. Delft was ver weg, ik kon mijn gang gaan. Ik onderzocht, experimenteerde, overlegde, ontwierp en bouwde. Veel vragen en twijfels kwamen bij me op, op technisch gebied, maar vooral ook daarbuiten. In drie maanden een technisch ontwerp realiseren is geen revolutionaire opgave. Het zó ontwerpen en organiseren, dat men er na beëindiging van de stage gebruik van kan blijven maken, dat is het werkelijke probleem. Het ontwerp is al gauw te moeilijk of gevoelig en de mensen die ermee werken lopen vast omdat ze er zelf niet uit komen en nergens op terug kunnen vallen. Wat betreft wetenschappelijk-technische infrastructuur is Chili op veel gebieden nog een echt ontwikkelingsland. Een inter-universitaire samenwerking tussen Delft en bijvoorbeeld Valdivia zou niet te versmaden zijn.

De verwerking en bespreking van mijn stage-ervaringen kostte me achteraf in Nederland meer tijd dan de hele stage zelf. In dit verslag liggen de resultaten hiervan vastgelegd. Dankzij de systematische en gedetailleerde kritieken van mijn begeleider Luuk Rietveld heeft deze stage mij een schat aan leerervaringen opgeleverd. Mijn dank aan hem is niet in dit eenvoudige voorwoord uit te drukken.

De controle en lay-out van dit verslag is verzorgd door Anja van der Aa. Gezien haar niet technische achtergrond voorwaar geen sinecure.

Dank wil ik verder betuigen aan mijn oom Ad, die mij de gelegenheid voor deze bijzondere stage geboden heeft en aan Carlos, Maria en Pancho, met wie ik geweldig heb samengewerkt. Tot slot een welgemeend bedankje aan Theresia Twickler, die net als Luuk op het CICAT werkt, omdat ze me zo goed op weg heeft geholpen.

Dit verslag is bij vlagen behoorlijk technisch; dat hoort nu eenmaal bij een stage Civiele Techniek. Via de samenvattingen aan het eind van de zwaarste hoofdstukken is dit rapport toch best toegankelijk.

Voor vragen, kritiek of andere opmerkingen houd ik me warm aanbevolen.

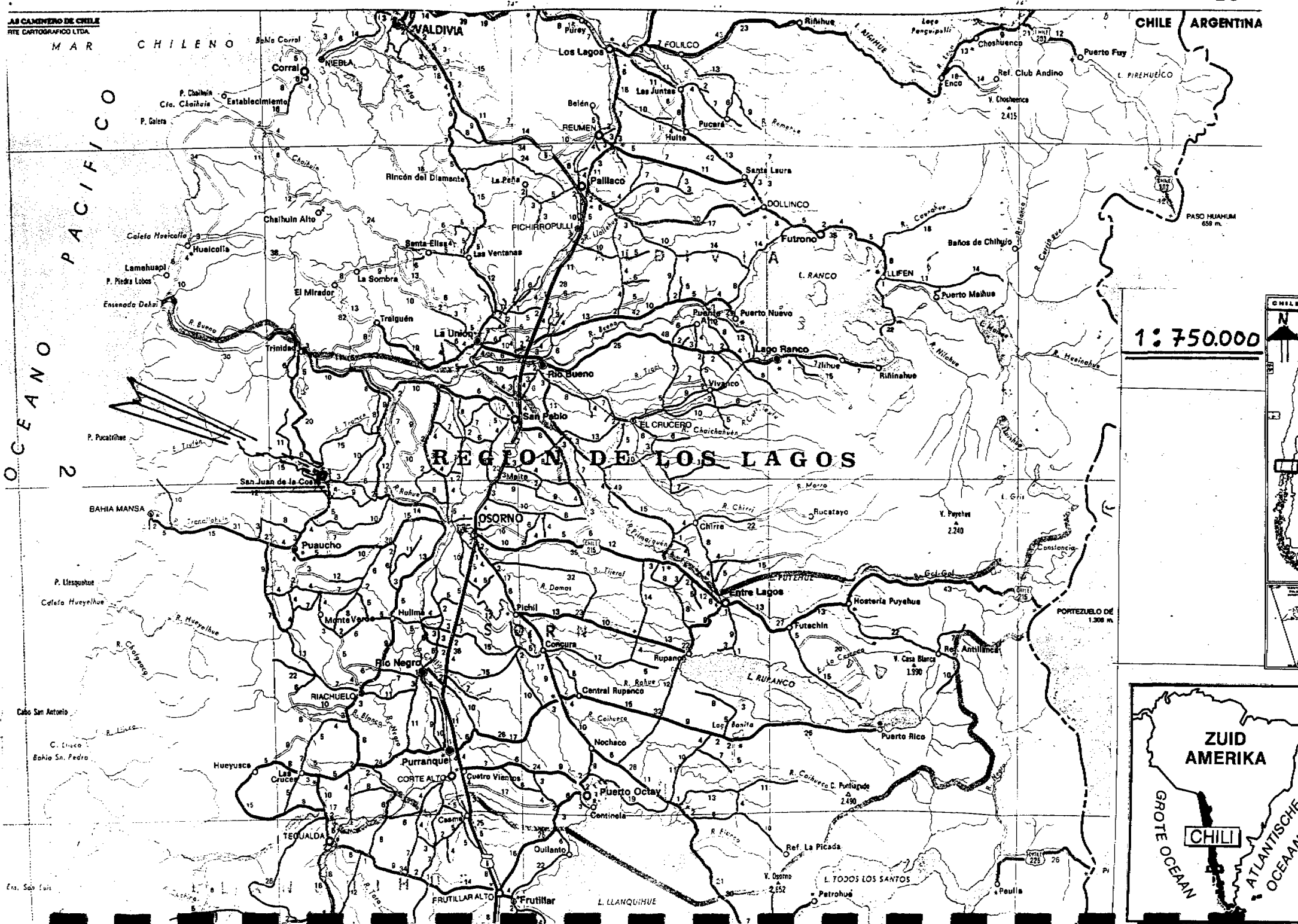
Weren de Vet

Rottendamsweg 227 2619 HE  
Delft, Holanda.

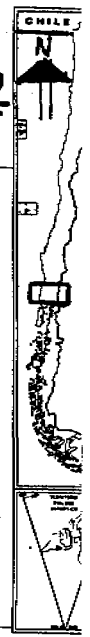
1 juni 1993

of via Luuk Rietveld.

MAR CHILENO  
OCEANO PACIFICO



1:750.000



# 1. Inleiding

## 1.1. Misión San Juan de la Costa, Osorno, Chili

De kuststreek -de Costa- van de tiende Región de los Lagos in het zuiden van Chili wordt al van oudsher door Mapuche-indianen van de Huilliche-stam bewoond. Huilliche betekent in de taal der Mapuches 'man van het zuiden'. De gemeente San Juan de la Costa ligt in het kustgebergte ingeklemd tussen de stad Osorno en de Stille Oceaan. In een gebied groter dan de provincie Utrecht wonen zo'n achtduizend mensen geïsoleerd of in dorpjes. Eén daarvan is Misión San Juan de la Costa met enkele honderden inwoners. In enkele tientallen jaren is deze missiepost uitgegroeid tot een levendig centrum van plattelandsontwikkeling. Naast zo'n twintig woonhuizen heeft het dorp een school met sporthal, internaat, ziekenhuisje met polykliniek, postkantoor, kerk, begraafplaats, burgerlijke stand, twee winkels, boerderij, kaasfabriekje en enkele werkplaatsen.

De missiepost is rond de parochie San Juan Bautista georganiseerd. In de parochie vervult Padre Adrián de Vet een centrale rol. Als rechtspersoon is de parochie eigenaar van alle onroerende goederen. Nieuwe projecten worden vrijwel steeds via de parochie gefinancierd. Hoewel men streeft naar de verzelfstandiging van alle bestaande voorzieningen en bedrijfjes, lukt dit vooralsnog alleen bij de school. De rest is nog steeds afhankelijk van het geld en de inzet van de parochie. Dit baart de betrokkenen veel zorgen, omdat ook in Chili de geestelijke stand snel aan het uitdunnen is. Daar staat tegenover dat het instituut gemeente in opkomst is. Voor het eerst is een Huilliche-man uit de streek tot burgemeester (alcalde) gekozen. De gemeente beschikt echter nog vrijwel niet over middelen.

De missiepost fungeert als contactplaats tussen de moderne wereld, zoals die bestaat in de stad Osorno, en de Huilliche-bevolking die teruggedrongen leeft in het kustgebergte. In de missiepost krijgen de kinderen modern onderwijs, worden zieken behandeld door een arts uit Santiago, en wordt gewerkt met allerlei moderne materialen en technieken.

## 1.2. Het onderzoek

Het onderzoek van de veldwerkperiode, waarover dit verslag geschreven is, beperkte zich tot de levering van betrouwbaar drinkwater.

De missieleiding poogt ook op hygiënisch vlak de moderne tred bij te benen. Ze beheert een eigen centraal drinkwaterleidingnet met aansluitingen in alle huizen en gebouwen. Toch is de situatie bepaald niet hygiënisch te noemen. Het leidingwater is smerig en besmet, en het afvalwater wordt vrijwel regelrecht geloosd op het oppervlaktewater, waaruit het drinkwater benedenstrooms bereid wordt.

In *Hoofdstuk 2* wordt de context beschreven waarin de waterlevering in de missiepost vóór het project plaatsvond. Aan de orde komen de kwalitatieve en kwantitatieve eisen die aan het drinkwater gesteld worden en de bestaande installatie en organisatie met de knelpunten daarin.

In *Hoofdstuk 3* wordt het kader van het praktijkonderzoek geschetst. De doelstellingen waren het inventariseren van de problematiek met betrekking tot de drinkwatervoorziening, het realiseren van korte termijn verbeteringen voor de waterkwaliteit en het doen van aanbevelingen voor de lange termijn.

In *Hoofdstuk 4* worden verschillende alternatieven voor de verbetering van de drinkwaterkwaliteit uitgewerkt en afgewogen. Aspecten als haalbaarheid en lokale organisatie spelen in dit project een belangrijke rol.

In *Hoofdstuk 5* wordt ingegaan op de verbeteringen aan de bestaande installatie die met geringe investeringen bereikt zijn. Deze vallen uiteen in fysische zuivering en desinfectie. Beide waren noodzakelijk, de zuivering om de troebelheid te verlagen en de desinfectie om het water hygiënisch betrouwbaar te maken. Vooraf werd een pilot-studie met modellen verricht.

*Hoofdstuk 6* sluit af met een aantal aanbevelingen voor de lange termijn. Tevens worden enkele suggesties gegeven voor een vervolgproject.

### **1.3. De begeleiding van de stage**

In de maanden voorafgaande aan de veldstage en na beëindiging ervan heb ik intensief samengewerkt met Ir. Luuk Rietveld M.Sc., die mij vanuit het CICAT van de T.U. Delft heeft begeleid. Zijn kritiek en aanwijzingen hebben zeer aan dit verslag en mijn leerproces bijgedragen. Prof. Ir. J.H. Kop droeg vanuit de sectie Gezondheidstechniek van de faculteit der Civiele Techniek van de T.U. Delft de eindverantwoordelijkheid voor mijn stage.

Voorafgaande aan het veldonderzoek ontving het CICAT uit Chili uitnodigingen van de ESSAL (het regionale waterbedrijf) en de Servicio Salud de Osorno (de gezondheidsinspectie) en de missiepost zelf om onderzoek te doen naar de drinkwatervoorziening. Tijdens de stage heb ik enkele malen overleg gevoerd met medewerkers van deze instellingen. Met name wil ik dhr. Baez van de Servicio Salud noemen. Hij leverde kritiek en suggesties en liet op mijn verzoek een bacteriologisch onderzoek uitvoeren. Vanuit de ESSAL-vestiging in Puerto Montt droeg Ir. R. Salas Arancibia de verantwoordelijkheid voor mijn begeleiding. In zijn opdracht heeft dhr. N. Turra een oriënterend bezoek gebracht aan de missiepost en adviezen gegeven. Dhr. Turra legde het contact met dhr. E. Muñoz Castillo, een vertegenwoordiger van de firma AGUASIN uit Santiago die in waterzuiveringssystemen handelt. Na een bezoek aan de missiepost bracht dhr. Muñoz een offerte uit voor een installatie met drukfilters, waarover later meer.

## **2. Context watersituatie**

### **2.1. Het waterverbruik in Misión San Juan de la Costa**

In principe is iedereen in de missiepost voor water afhankelijk van het centrale waterleidingnet. De druk in het net is normalerwijs overal voldoende. Alleen in geval van nood gebruikt men regenwater uit regentonnen of stroompjes en (fris)drank uit flessen. Gemiddeld één maal per maand doen zich storingen voor ten gevolge van grootschalige lekkages in het net of door langdurige onderbrekingen van de stroomvoorziening van de pomp. De waterbehoefte is onder gewone omstandigheden gelijk aan het verbruik.

Alle woonhuizen, bedrijven en voorzieningen hebben eigen aansluitingen. Er zijn watermeters aangeschaft, maar deze zijn nog niet geïnstalleerd. Alle gebouwen zijn voorzien van wc's met grote spoelbakken en de woonverblijven hebben meestal douches en/of badkuipen. Op het terrein van de missiepost staan twee gratis openbare tappen.

De vraag naar water varieert in de loop van het jaar en gedurende de week. Dit wordt veroorzaakt doordat het grootste deel van de bevolking bestaat uit lagere schoolkinderen. Door de week wonen zij in het internaat op de missiepost, in de weekeinden en vakanties vertrekken zij naar hun ouderlijk huis buiten de missiepost op het platteland.

### **2.1.1. Verbruiksschatting aan de hand van de bevolkingsomvang**

In de missiepost bevindt zich een vestiging van de gemeentelijke burgerlijke stand (oficina pública). Het bevolkingsregister bevat gegevens van de gehele gemeente San Juan de la Costa. Er worden geen aparte gegevens voor de missiepost bijgehouden. Gegevens over de bevolkingsomvang ten tijde van de stageperiode zijn verstrekt door het hoofd van de school en padre Adrián. Laatstgenoemde gaf ook een schatting van het huishoudelijke, industriële en publieke waterverbruik. De hoeveelheid water die door lekkages verloren gaat is onbekend.

*Huishoudelijk gebruik:* Op doordeweekse dagen wonen op de missiepost 105 volwassenen en 235 kinderen, die ieder gemiddeld 100 l/dag verbruiken. Daarnaast komen 75 kinderen van het platteland naar school. Zij verbruiken elk gemiddeld 40 l/dag. Verbruik in de gaarkeuken en het ziekenhuis zijn hierbij inbegrepen. In de weekeinden blijven de volwassenen en gemiddeld slechts 25 kinderen over.

*Overig gebruik:* De kaasfabriek gebruikt in het zomerseizoen maximaal 10 000 l/dag, de wasserette 1 000 l/dag, publieke tappen en tuinen minder dan 2 000 l/dag. De kaasmakerij funktioneert zeven dagen in de week, de wasserette alleen doordeweeks.

*Verliezen:* Deze zijn onbekend en worden gesteld op 15%.

Het geschatte gemiddeld minimale dagverbruik is:

$$130 * 100 \text{ l/dag} + 10\ 000 + 2\ 000 + \text{verlies} = 25\ 000 \text{ l/dag} + 15\% = 29\ 000 \text{ l/dag}$$

Het geschatte gemiddeld maximale dagverbruik is:

$$240 * 100 \text{ l/dag} + 75 * 40 \text{ l/dag} + 13\ 000 + \text{verlies} = 50\ 000 \text{ l/dag} + 15\% = 58\ 000 \text{ l/dag}$$

Met een piekfaktor = 1.25 wordt dan:

$$\text{Het piekdagverbruik } 1.25 * 58\ 000 = 72\ 500 \text{ l/dag}$$

$$\text{Het daldagverbruik } 0.8 * 29\ 000 = 23\ 000 \text{ l/dag}$$

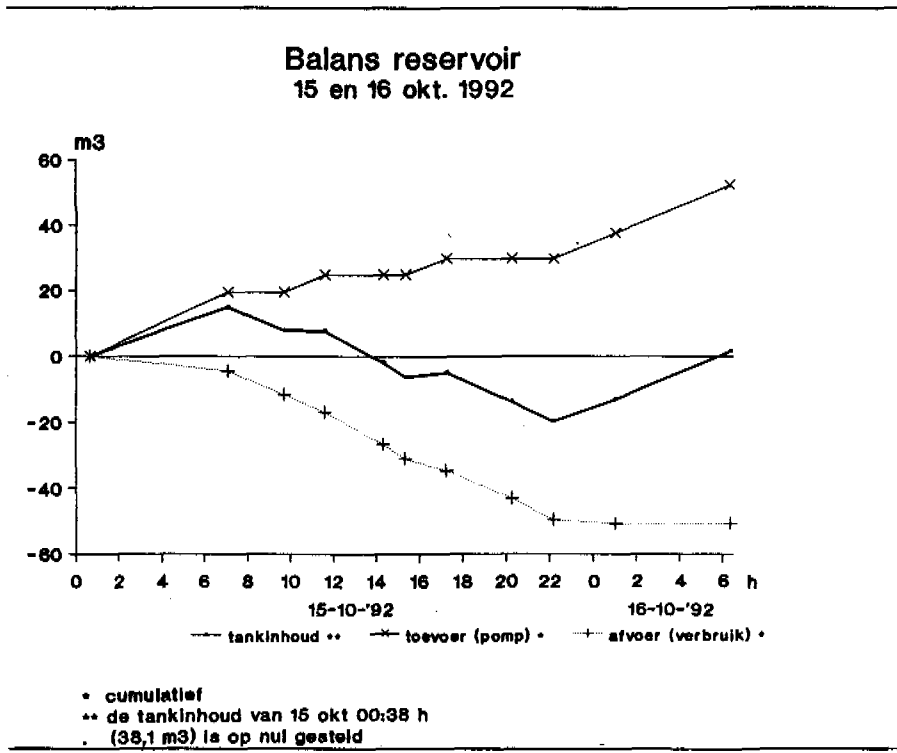
Door het ontbreken van cijfers over de bevolkingsgroei gedurende de afgelopen jaren is het moeilijk de toekomstige waterbehoefte te voorspellen. Het hoofd van de missiepost verwacht echter geen ontwikkelingen die het waterverbruik doen toenemen, maar voorziet juist een bezuiniging op het water door efficiëntieverhoging in de kaasfabriek en de installatie van watermeters. Het ontwerpdagverbruik wordt gesteld op 72 500 l/dag.

### **2.1.2. Metingen**

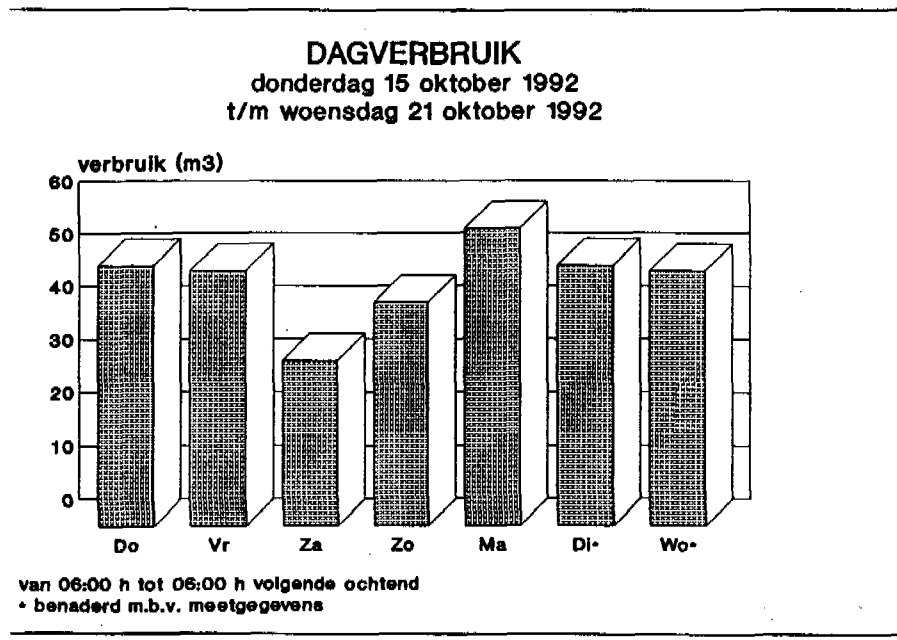
Gedurende week 42, 43 en 44 (oktober 1992) werd het waternivo in het reservoir een aantal malen per etmaal gemeten. Zie bijlage 1. Door metingen tussen 0.00h en 6.30h 's nachts, wanneer het verbruik zeer klein is, werd uit de toename van de reservoirinhoud het pompdebiet bepaald. Daarbij was het probleem dat er zich drie pompsituaties voordeden in de meetperiode: met de versleten pomp (1), met de gereviseerde pomp met een vastgelopen lager (2)



en met diezelfde pomp in opgeknapte staat (3). Gedurende de nacht van 1 november 1992 werd het distributienet afgesloten om de netto-invoer voor de laatste situatie te bepalen. Omdat de pomplooptijden dagelijks werden genoteerd door de beheerder kon achteraf het pompdebiet en het verbruik worden bepaald. Uit de metingen kan afgeleid worden dat het dagverbruik door de week varieerde tussen 48 en 56 m<sup>3</sup>. Op zaterdag was het verbruik 31 m<sup>3</sup> en op zondag 42 m<sup>3</sup>. Dit wordt weergegeven in de onderstaande figuren.



**Figuur 1. Verbruik gedurende een etmaal**



**Figuur 2. Verbruik gedurende een week**

Deze resultaten stemmen redelijk overeen met de schattingen uit paragraaf 1.1.1., behalve wat betreft de zondagen. Eén verklaring hiervoor kan het feit zijn dat veel schoolkinderen al op zondagmiddag in het internaat terugkeren.

## 2.2. Waardering van de gebruikers

Gebruikers beoordeelden het leidingwater negatief op vier punten:

1) Het water zag er onaantrekkelijk uit; de "bruine kleur" werd dieper na een regenbui. Dit bezwaar gold voor alle gebruikers. Bovendien werd door een gebruiker opgemerkt dat het water in de zomer soms donker was en "zwaar" rook.

2) Het water kon gevaarlijk zijn om te drinken. Bij mensen die niet van het platteland afkomstig waren, leidde het drinken van ongekookt kraanwater vrijwel steeds tot diarree. De leiding van de missiepost liet niet na hiervoor te waarschuwen. Er bestaat angst dat het oppervlaktewater dat gebruikt wordt als bron voor de watervoorziening besmet was met geloosd afvalwater uit de missiepost zelf. De indianen uit de streek zijn gewend water uit stroompjes te drinken. Hun kinderen drinken op het internaat ook gewoon uit de kraan, hoewel hen dit niet toegestaan wordt. Juist hiertegen verzet de Servicio Salud zich fel.

3) Het water kon bij vlagen "bruisen" en "wit zien" van de chloor. Vooral voor de kaasmakerij leverde dit veel problemen op bij de bereiding van kaas. Ook gewone gebruikers vonden dit onsmakelijk. Andere klachten over de smaak van het water waren er niet.

4) De levering van water was niet altijd gegarandeerd; door lekkages in de transportleiding of distributieleiding zat men geregeld en onverwacht soms wel een halve dag zonder water. Tijdens mijn stageperiode was het gemiddeld een maal per maand raak.

## 2.3 Normering

Het Instituto Nacional de Normalización (INN) de Chile stelt normen met betrekking tot winning en desinfectie van drinkwater en kwaliteitseisen voor bronnen, drinkwater en water voor andere doeleinden.

Voor drinkwater zijn de relevante kwaliteitseisen:

---

	INN	WHO
pH	6.5 - 8.3	6.5 - 8.5
Troebelheid	< 5 NTU	< 5 NTU
Colliformen	< 10% van de monsters	0
Vrij chloor	> 0.20 ppm in ieder punt van net, in 20% van monsters minder, in 5% 0 ppm toegestaan.	geen norm

---

Tabel 1. Drinkwaternormen

De controle op de bacteriologische kwaliteit wordt verricht door de *Servicio Salud de Osorno, Departamento Programas sobre el Ambiente*. Uit controles op een groot aantal plattelandsscholen in de provincie Osorno is gebleken dat het drinkwater in 95% van de gevallen faecale coliform bevat. Derhalve heeft

de Servicio Salud de Osorno in Resolutie nr. 368 van 28 mei 1992 bepaald dat drinkwater voor scholen gedesinfecteerd dient te worden door chlorering. De bodemwaarde voor het chloorresidu is gesteld op 0.5 ppm. Dit is strenger dan de INN-norm.

Eén keer in de 28 dagen komt de Servicio 1 of 2 monsters nemen uit willekeurige kranen in het leidingnet van de missiepost. Het niveau van rest-chloor wordt dan bepaald. Het aantal faecale en totale coliformen per 100ml water wordt daarna in het laboratorium vastgesteld. Bij regelmatig onbevredigende resultaten is de Servicio bevoegd hoge boetes op te leggen of tot sluiting over te gaan van betrokken publieke voorzieningen, hetgeen zij recentelijk meermalen in de regio heeft gedaan.

#### **2.4. Bron voor de drinkwaterbereiding**

Als bron voor drinkwaterbereiding wordt het water uit een stroompje dat door de missiepost loopt, de Pullanque, gebruikt. Dit water komt uit de heuvels en stroomt langs door schapen en koeien begraaide weiden.

Er werden twee *debiet*metingen aan de stuw in het stroompje verricht, één na enkele dagen droog weer, en één na enkele dagen volop regen. De gemeten waterhoogten boven de stuw, 0.12 m en 0.36 m, leveren een debiet van 110 respectievelijk 540 l/s ( $Q = 1.87 * (L - 0.2H) * H^{1.5}$ ). Uit deze gegevens is geen uitputtingsverloop voor de basisafvoer af te leiden. Hiervoor zou een aantal jaren hydrologisch onderzoek nodig zijn. Volgens de beheerder C. Ancatripay is het debiet tot nu toe gedurende het gehele jaar steeds ruim voldoende gebleken om het benodigde water te onttrekken.

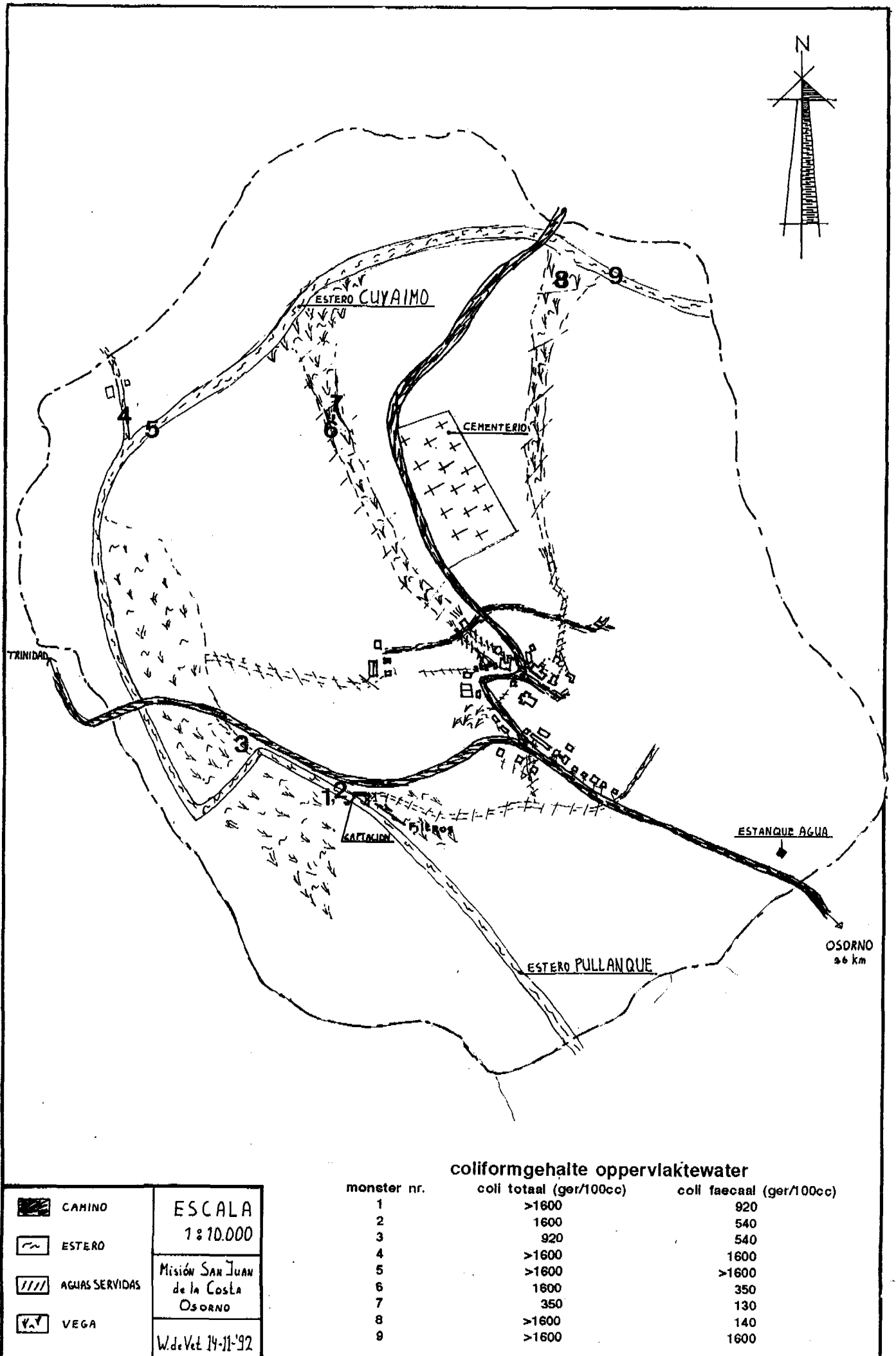
Slechter is het gesteld met de *bacteriologische kwaliteit* van de bron. Op zeven plaatsen in de missiepost werden oppervlaktewater-monsters genomen in vooraf gesteriliseerde flessen. Deze werden met spoed, d.w.z. binnen anderhalf uur, vervoerd naar het laboratorium van de Servicio Salud. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3 op de volgende pagina. Hoewel herhaling van de metingen noodzakelijk is voor exactere bepaling, geven de gevonden waarden duidelijk aan dat de buitensporig grote bacteriologische verontreinigingsgraad veroorzaakt wordt door bronnen buiten de missiepost. Het faecaal coliformgehalte bij het innamepunt benadert de maximaal toelaatbare INN-norm voor drinkwaterbronnen (1 000 stammen/100 cc). Het is zeer wel mogelijk dat het coliformgehalte in de droge periode door geringer debiet en hogere temperatuur verder stijgt.

Een andere bedreiging is de directe en ongezuiverde lozing van allerlei chemische middelen (detergentia, medicijnen) op het water van de Pullanque. Zeer spoedig na lozing wordt hetzelfde water ingenomen als basis voor drinkwaterbereiding (zie figuur 3). Dit behoeft zeker verder onderzoek.

Tot slot zou de constatering van een zware geur kunnen duiden op een hoog gehalte aan organische afbraakprodukten en dientengevolge een hoog Biochemisch Zuurstofverbruik (BOD). In de zomer, bij laag debiet, kan dit tot zuurstofloosheid leiden.

#### **2.5. Waterbehandeling**

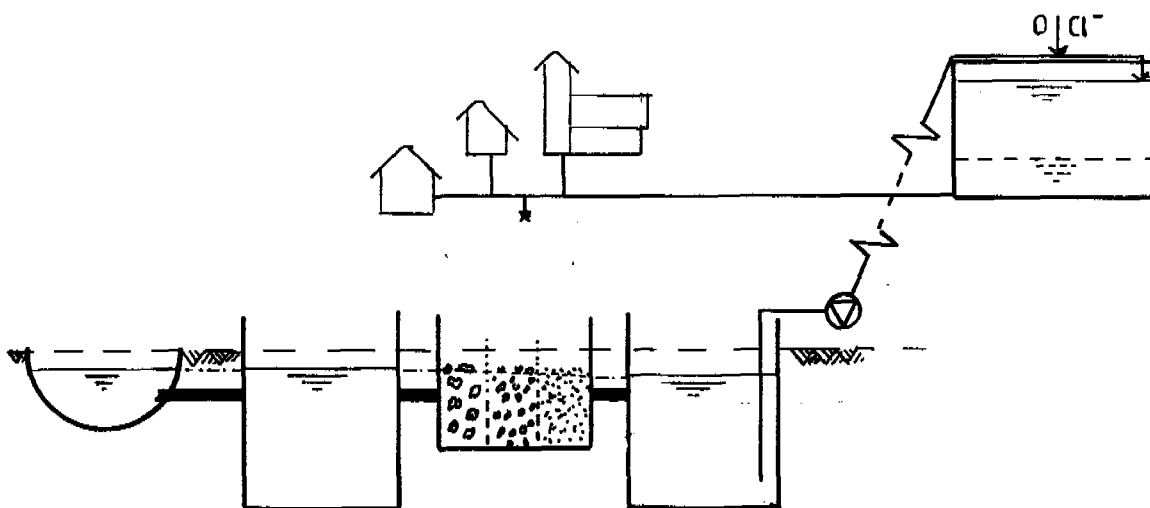
De behandeling van het oppervlaktewater ter bereiding van drinkwater voor de missiepost bestaat uit een fysische zuivering ter reductie van troebelheid en desinfectie door chlorering ter garantie van hygiënische betrouwbaarheid.



Figuur 3. Plattegrond Misión San Juan de la Costa 9

### 2.5.1. Fysische zuivering

De installatie is te verdelen in vijf elementen. Er is een stuw met inlaat, gecombineerde zuiverings/pompeenheid, transportleiding, hoogreservoir en distributienetwerk.



Figuur 4. Schema waterzuivering missiepost

Het is zinnig terug te kijken naar het ontstaan van de huidige installatie. In 1977 is in de missiepost een geheel nieuwe drinkwaterinstallatie aangelegd. In dat jaar waren de nieuwe en grotere school en het internaat gereed gekomen. Hierdoor was het oude drinkwatersysteem niet langer toereikend.

De nieuwe installatie werd in de buurt van de oude aangelegd. Deze lokatie lijkt vanwege de lozingen in de missiepost zelf niet optimaal (zie [figuur 3](#)). Toch waren er zwaarwegende argumenten voor deze plaatskeuze. Aanleg van een nieuwe krachtstroomleiding was zo niet nodig en de beheerder C. Ancatripay bleef naast zijn 'planta' wonen.

De *inlaat* bestaat uit een onbeschermd 3.5-duims ( $d = 8.9$  cm) PVC-slang. De opening bevindt zich in een klein bassin bovenstrooms van de stuw, op 0.5 m van de bodem. De stuw bestaat uit een U-vormige muur met een rechthoekige stroomopening. De oevers en de bodem zijn onbeschermd zodat een flinke stroomopening buiten langs de stuw om is uitgesleten en de bodem achter de stuw is weggewoeld.

Van de *zuiveringseenheid* bestaat een ontwerptekening uit 1976, van de hand van aannemer don Juan Smulders. Volgens dit plan bestond de zuivering uit een ruwwatertank gevolgd door een soortement horizontaal roughing filter dat in vier compartimenten verdeeld was. Waarschijnlijk was het de bedoeling om een deel van de oude installatie als voorbezinkingsbassin te gebruiken. Dit onderdeel was niet verder uitgewerkt. Er was geen zandfilter gepland. Het plan omvatte dus alleen voorbehandeling. De eigenlijke zuivering van het water ontbrak.

In realiteit is het horizontale filter niet volgens plan uitgevoerd. De top van het filterbed lag ruim een halve meter onder het piëzometrisch nivo in het filter. Er was daardoor sprake van een kortsluitstroom over het filterbed. Het filter funktioneerde dus in het geheel niet. Het was verantwoord het filter leeg te halen; het filter werd toch al ieder voorjaar schoongemaakt. In één lange dag werd de gehele eenheid door acht man met de hand schoongemaakt. Het filterbed bleek niet uit grind, maar hoofdzakelijk uit grof zand vermengd met wat grind en stenen te bestaan. De installatie werd geheel opgemeten en er werd een accurate tekening van gemaakt. Zie tekeningen: Planta Existente.

De *ruwwatertank* voor het filter verdient het predikaat bezinktank niet. Als wordt verondersteld dat de gehele tank bijdraagt aan het doorstromingsoppervlak dan is  $Reynolds = (v_0 * R) / \mu = 950$  en de doorstroming laminair. Het Camp-getal  $(v_0^2 / g * R) = 1.9 * 10^{-8}$  is erg klein, waardoor instabiliteit van de stroming van belang wordt. Inlaat en uitlaat zijn ook verkeerd ontworpen. Het zijn twee tegenover elkaar liggende gaten boven in de tank. Bij deze openingen treedt turbulentie op. Van gelijkmatige verdeling over de breedte, laat staan de diepte van de tank, is aan de inlaatzijde geen sprake. De uitstroming is evenmin over de breedte verdeeld. Een kortsluitstroom is het gevolg. Het bezinken wordt hierdoor nog sterker belemmerd.

Ook het *filter* doet zijn naam geen eer aan. De filtratiesnelheid is 9 m/h, wat veel te hoog is voor horizontale roughing filtratie. Er zijn drie compartimenten, van elkaar gescheiden door gesloten verticale betonnen muurtjes. Gezien een stroomopening onder een van de twee muurtjes was het waarschijnlijk de bedoeling een afwisseld op- en neerwaartse stroming door de grindfrakties in de kamers te krijgen. Het filter zou, gevuld met grind, een pebbledbed flocculator genoemd kunnen worden, maar het is zeer de vraag of dit ooit gepland is. Als roughing filter werkte het niet om vier redenen. (1) De in- en uitlaat was verkeerd, namelijk in het midden van het bed geplaatst, en een constructie voor een gelijkmatige verdeling ontbrak. (2) De tussenschotten waren niet doorlatend en reikten niet tot aan het piëzometrisch nivo. (3) Het filterbed bestond niet uit grind in aflopende diameters, maar uit een laag zand vermengd met wat grind en stenen. Ooit reikte deze laag tot boven het piëzometrisch nivo. Vanwege de geringe doorlatendheid van de zandlaag was men gedwongen geweest om een flinke laag uit het filter te scheppen, teneinde de pompen te beschermen en de waterbehoefte te bevredigen. (4) Tot slot ontbrak een onderdrainage om het filter te spoelen.

Direkt na het 'filter' ligt een 'rein'watertank van 17 m<sup>3</sup>. Van hieruit voeren beurtelings twee pompen het water op via een transportleiding naar het hoogreservoir. In bijlage 2 is de *pomp* karakteristiek gegeven, gebaseerd op gegevens van de leverancier van de pompen. Het optimale rendement van 46% wordt bereikt bij een  $Q = 10,5$  m<sup>3</sup>/h en  $H = 120$  m. Het pompdebiet van beide pompen kan bij benadering uit de meetgegevens aan het reservoir van bijlage 1 afgeleid worden. De totale opvoerhoogte werd afgelezen van een bij de pomp gemonteerde manometer. Het electriciteitsverbruik van de pompmotoren werd bijgehouden op de meters in het pomphuis.

Er geldt  $P_{\text{electrisch}} = R_{\text{rendement}} * \rho * g * Q * H$

	Pomp 1	Pomp 2	Optimum*
Opvoerhoogte (m)	110	115	120
Pompdebiet (l/min)	45	150	175
Opgenomen elektrisch vermogen (kW)	7.62	8.53	7.46
Rendement	11%	33%	46%

\* volgens fabrieksopgave

**Tabel 2. Pomprendementen Leader 407; 10Hp = 7,46 kW**

Eén van de twee pompen was in 1992 gereviseerd. Toch bleek er één lager versleten te zijn. Dit werd ontdekt door de beheerder. Hij hoorde 'iets vreemds' aan de pomp en voelde dat het lager warm liep. Na vervanging van het lager nam het rendement toe. ( $H = 115 \text{ m}$  ;  $Q = 9 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

De andere pomp was hard aan een grote revisie toe. Het pompdebiet bedroeg slechts een derde van dat van de andere pomp. ( $H = 110 \text{ m}$  ;  $Q = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Het opgenomen elektrisch vermogen verminderde echter niet, zodat het aantal pompuren per etmaal sterk toenam, en het rendement sterk verminderde. Op grond hiervan besloot de eigenaar tot onmiddellijke stillegging van deze pomp. De *transportleiding* bestaat uit PVC 3.5-duims, is 1.3 km lang en overbrugt ongeveer 90 m hoogteverschil. Met Strickler is een leidingkarakteristiek te bepalen (zie [bijlage 2](#)).

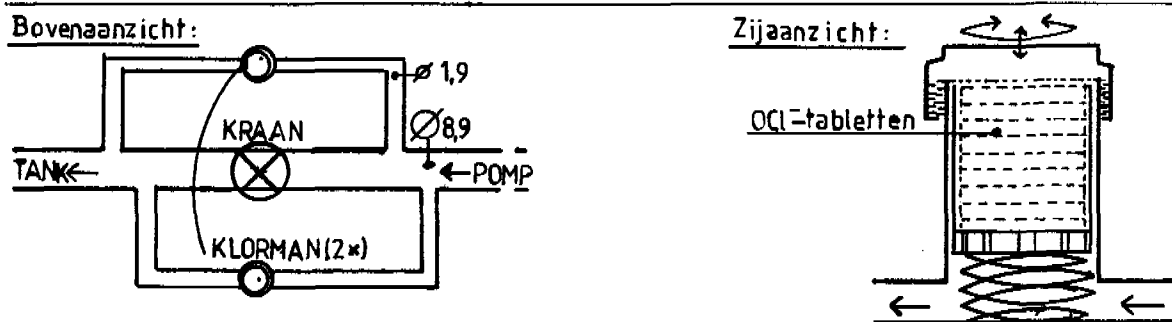
Volgens deze figuur zijn pomp en leiding goed gedimensioneerd. Het werkpunt ligt vlakbij het optimale rendementspunt van de pomp. Een gemiddelde pompduur van 5 uur per etmaal bij een debiet van  $9 \text{ m}^3$  betekent bovendien dat de pomp voldoende reservecapaciteit heeft voor eventuele uitbreidingen in de toekomst. Het is natuurlijk wel noodzakelijk de versleten pomp zo spoedig mogelijk te laten reviseren, zodat er weer twee goede pompen zijn. Bij de pomp en na 350 m bevinden zich terugslagkleppen. De leiding is ook in 1977 aangelegd en sindsdien vele malen gerepareerd met band en ijzerdraad. Na de tweede terugslagklep zit een kleine lekkage.

Het betonnen *hoogreservoir* heeft een netto inhoud van  $89 \text{ m}^3$ . Het ligt op de enige heuvel in de missiepost die circa 20 m boven de bebouwing ligt. Het *distributienet* is vertakt. Ook hierin doen zich geregeld lekkages voor. Hiervan zijn geen metingen gedaan. Normalerwijs, wanneer er geen sprake is van leidingbreuk, is de druk in alle punten van het net voldoende.

### **2.5.2. Desinfektie**

Om aan de eisen van de Servicio Salud te voldoen had de missiepost twee *Klorman* tabletlchloroerders laten installeren in by-passes vlakbij de inlaat van de transportleiding in het reservoir. Deze funktioneerden in het geheel niet. De hypochloriet-tabletten, genaamd *Sanitabs*, losten nauwelijks op en gaven onvoldoende hypochloriet af. De tabletten bleken meer dan een jaar oud te zijn

en niet meer verkrijgbaar in Osorno. De importeur in Santiago de Chile bleef onbereikbaar voor advies.



**Figuur 5. Klorman chloereiders gemonteerd in by-passes**

Sinds enkele maanden gooide de beheerder af en toe 's ochtends enkele liters chloorbleekmiddel (hypochlorietoplossing) in het hoogreservoir aan de zijde van de distributieleiding. Dit leverde echter niet het gewenste resultaat op. De eerste uren na toevoeging was de chloorconcentratie in het leidingwater veel te hoog. Gebruikers klaagden hierover. Voor de in de kaasfabriek gebruikte micro-organismen was deze dosering dodelijk. De rest van de dag bevatte het water geen residueel chloor.

De vierwekelijkse controles door de Servicio Salud stelden al jaren vrijwel zonder uitzondering veel te hoge coliformgehalten vast. (Op 22-8-'91 werden bijvoorbeeld in de genomen monsters 2 resp. 5 stammen/100 cc gevonden.) Sinds de in werkingtreding van strengere regels medio 1992 was het gedaan met de soepele houding van de Servicio. Voor de leiding van de missiepost was de dreiging met harde maatregelen het meest urgente probleem.

## **2.6. Lokale organisatie**

De drinkwaterlevering in de missiepost is lokaal georganiseerd. Regionale instellingen als de ESSAL vervullen geen enkele functie in het management, beheer of onderhoud. Namens de eigenaar de parochie San Juan Bautista treedt Padre Adrián de Vet op als eerstverantwoordelijke. Zijn hoofdbezigheid is pastoor van een grote gemeenschap en het drinkwater is, hoewel van essentieel belang, slechts één van de vele storende factoren in zijn bestaan. Beslissingen over investeringen en aanvulling van exploitatietekorten worden door hem in ruggespraak met andere leden van zijn congregatie genomen. De dagelijkse activiteiten zijn gedelegeerd aan drie personen uit de missiepost.

### **2.6.1. Technisch beheer**

De pompbediening en de administratie van pompuren en electriciteitsverbruik worden verricht door Carlos en Maria Ancatripay. Carlos draagt zorg voor het dagelijks toezicht op pompen, leidingen en reservoir. Hij voert regulier onderhoudswerk aan pompen en leidingen uit. Hij zou 'hoofd uitvoering openbare werken' genoemd kunnen worden, want naast het drinkwater verzorgt hij het onderhoud van wegen, beerputten en electriciteitsaansluitingen; een manusje-van-alles.

Met de problemen in de bestaande installatie kon Carlos niet uit de voeten.



Schoon drinkwater ging hem zeer aan het hart, maar hij beschikte niet over genoeg kennis en organisatievermogen om veranderingen te bewerkstelligen.

### **2.6.2. Financiële beheer**

Mede door de lage waardering was het animo om voor het water te betalen gering. Ook de vaststelling van de bijdrage riep veel vraagtekens op. Door het ontbreken van meters wordt er niet aangeslagen naar waterverbruik. Via de electriciteitsrekening wordt een bijdrage geïnd evenredig met het electriciteitsverbruik. Verbruikersbetalingen worden bijgehouden door broeder Frans Couwenberg, die de administratie voert voor de parochie. Achterstand in betaling is voor de particuliere gebruikers normaal, electriciteitsafsluiting wegens langdurige wanbetaling komt voor.

Lang niet alle kosten worden door de waterverbruikers opgebracht. De geïnde bijdrage omvat alleen elektriciteitskosten voor de pompen. Grootgebruikers in de missiepost - het ziekenhuis, de parochie en het internaat - verdelen de gemaakte materiaalkosten voor onderhoud van de waterinstallatie. Voor arbeidsloon of bijzondere uitgaven, zoals deze stage, zijn geen voorzieningen getroffen. In Misión San Juan de la Costa houdt dit in dat de parochie geregeld extra in de buidel moet tasten. Wanneer de parochie na verloop van tijd mocht verdwijnen ontstaan tekorten in de exploitatie.

***Samenvatting:** de bron voor de waterbereiding, een stroompje, is sterk vervuild. Lozingen van afvalwater geschieden vrijwel ongezuiverd op dit water. De zuiveringsinstallatie is verkeerd ontworpen en kan niet functioneren. Het leidingnet en een pomp zijn versleten. Het drinkwater is dan ook van zo'n slechte kwaliteit dat de gezondheidsinspectie (Servicio Salud) dreigt met harde maatregelen. De financiële exploitatie is niet sluitend.*

*Er is onvoldoende technisch en organisatorisch management. De beheerder Carlos Ancatripay voert alleen het dagelijkse onderhoud uit.*

## **3. Projectafbakening van de stage**

### **3.1. Probleembeschrijving**

Kwalitatief onbetrouwbare drinkwaterlevering levert in Misión San Juan de la Costa volgens de regionale gezondheidsinspectie, de Servicio Salud, risico's voor de volksgezondheid. In de streek rond Osorno zijn de laatste jaren enkele geïmporteerde gevallen van cholera geconstateerd. Hoewel nog geen sprake is geweest van epidemische omvang is de angst hiervoor in de regio wel degelijk aanwezig. Bovendien is het drinkwater zo troebel dat ook bij de gebruikers de waardering laag is. Hierdoor ontstaan problemen bij de financiële exploitatie.

### **3.2. Doelstellingen**

#### Hoofddoelstelling:

Het voorstellen van praktisch uitvoerbare verbeteringen in de drinkwatervoorziening van Misión San Juan de la Costa, Osorno, Chili.

#### Subdoelstellingen:

- > Inventariseren van klachten en wensen bij gebruikers en verantwoordelijken;
- > Analyseren van bestaande drinkwaterinstallatie: beschrijving naar onderdeel; hoe functioneert het? wat zijn de onvolkomenheden?
- > Analyseren van 'operation en maintenance structure': wie is verantwoordelijk? wat zijn de taken? hoe is het onderhoud en de financiering geregeld?
- > Genereren van diverse verbeteringsalternatieven;
- > Overdragen van bevindingen aan belanghebbenden en geïnteresseerden.

### **3.3. Randvoorwaarden en uitgangspunten**

#### Randvoorwaarden:

- > Bepaalde veldonderzoekstermijn van 12 weken;
- > Ontbreken van uitgebreide meet- en analyseapparatuur.

#### Uitgangspunten:

- > Officiële normen van de Servicio Salud;
- > Vertrouwelijk contact met plaatselijke verantwoordelijken;
- > Zo groot mogelijke inbreng lokale gebruikers en beheerders op de te treffen voorzieningen;
- > Bij voorkeur lokale financiering met een sluitende begroting;
- > Toepassing van regionaal goed verkrijgbare materialen.

## **4. Alternatieven voor verbetering waterkwaliteit**

De geschetste situatie roept om maatregelen op allerlei vlak. Wat betreft het technisch gedeelte van het probleem drong de vraag zich op of de bestaande installatie verbeterd kon worden of dat een nieuw systeem gebouwd moest worden. De benadering van deze vraag was tweezijdig. Van de ene kant theoretisch: welke systemen zijn mogelijk en hoe inpasbaar zijn die voor de missiepost? Van de andere kant pragmatisch: hoe kan de bestaande filtereenheid met zo weinig mogelijk investeringen verbeterd worden en hoe effectief is het resultaat?

Als bron voor drinkwaterbereiding kan grondwater of oppervlaktewater gebruikt worden. Grondwaterwinning verdient de voorkeur omdat minder zuivering nodig is. Voor oppervlaktewater bestaan verschillende zuiveringsmethoden.

### **4.1. Keuze van de bron**

#### **4.1.1. Grondwater**

Reeds lange tijd was de eigenaar van het waterbedrijf padre Adrián van plan om in de missiepost naar grondwater te laten zoeken. Reeds aan het begin van deze stage werd besloten dat er eerst naar grondwater gezocht zou worden, alvorens er sprake kon zijn van investeringen in oppervlaktewaterbehandeling.

Dit uitgangspunt bleek van groot belang voor het onderzoek.

Hoewel de kans op het aantreffen van bereikbare aquifers in San Juan de la Costa door velen niet erg groot werd ingeschat, bestonden er toch enige aanwijzingen voor. Pater H. Boellaars, een collega van padre Adrián, had veel ervaring met het opsporen van grondwater. Op vele plaatsen in de wereld was op zijn aanwijzing met succes naar grondwater geboord. In de missiepost had hij tweemaal op dezelfde plaats winbaar grondwater opgespoord. Er zou sprake zijn van een sterke smalle aquifer op 14 m diepte. Het vaststellen van de juiste lokatie kostte enkele weken. Om de kans te verkleinen dat men de smalle watervoerende laag juist zou missen, werd de voorkeur gegeven aan het graven van een put boven het maken van een boorgat. Zo gingen enkele weken verloren met het contracteren van een ploeg putdelvers. Uiteindelijk nam die de opdracht niet aan, omdat een ondoordringbaar harde laag boven de aquifer werd verwacht.

Het afspreken van boringen kostte meer dan een maand. Precies een week voor het einde van mijn stageperiode gelukte het de firma Moor uit Osorno met een reusachtige rotatieboor de boringen aan te vangen. Samen met een groep van drie tot zeven man werkte ik aan aanpassingen van het bestaande filter, waarop ik in *hoofdstuk 5* terugkom. Gedurende de zes boordagen moest deze bouwgroep tevens al het ondersteunende werk verrichten voor de boringen. Zo werden er twee wegen aangelegd. Na vijf dagen boren op twee lokaties, 24 en 48 m diep, verliet de firma Moor onverrichterzake de missiepost. De optie grondwater lijkt verleden tijd.

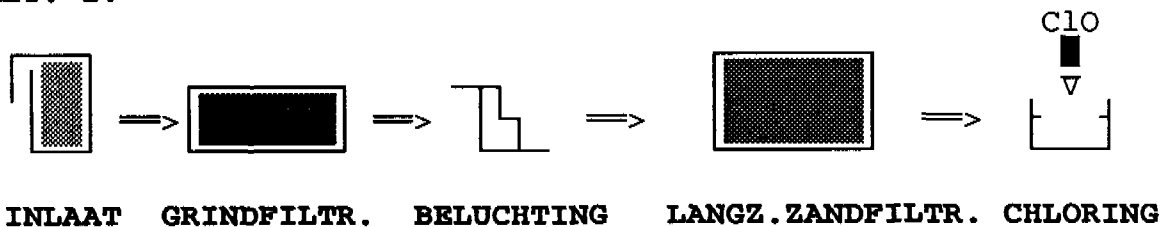
#### **4.1.2. Oppervlaktewater**

Als oppervlaktewater levert alleen het riviertje Pullanque gedurende het gehele jaar voldoende water voor drinkwaterbereiding. Alleen de keuze van de winplaats is variabel. Factoren als investeringskosten, bedieningsgemak en toezicht, en afstand tot het hoogreservoir zijn hierbij van belang. Omdat dit niet onderzocht is, wordt voor de korte termijn de huidige lokatie gehandhaafd. Wanneer besloten wordt dat op langere termijn het gehele systeem grondig vernieuwd zal worden, dient de lokatiekeuze wel opnieuw afgewogen te worden. Allereerst dienen dan de randvoorwaarden vastgelegd te worden voor de lokatiekeuze. Binnen dit kader moet een expliciete afweging gemaakt worden tussen de voordelen van handhaving van de huidige lokatie, zoals lagere investeringen en beter toezicht door de opzichter die erbij woont, en die van mogelijke nieuwe lokaties. In het laatste geval wordt de afstand van de bron tot het hoogreservoir kleiner, wordt de transportleiding vernieuwd en komt het innamepunt bovenstrooms van de missiepost.

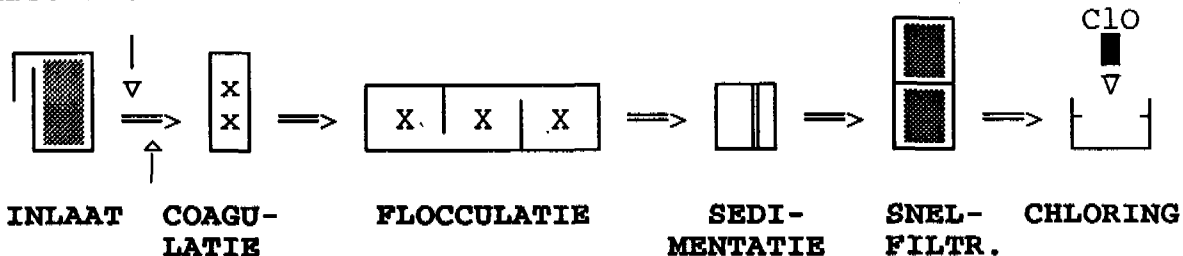
#### **4.2. Waterzuivering**

Indien van *oppervlaktewater* gebruikt gemaakt moet worden, bestaan er twee hoofdconcepten voor zuivering: *langzame* of *snelle zandfiltratie*. Bij hoge tot zeer hoge troebelheid van de bron, zoals het geval in de missiepost, is voorbehandeling noodzakelijk. Anders zullen de filters snel dichtslaan hetgeen in beide gevallen kortere looptijden betekent. Voor de voorbehandeling kan uit drie methoden gekozen worden: dynamische rivierfiltratie, roughing filtratie of vlokvorming met sedimentatie. Bodem- en oeverfiltratie zijn niet van toepassing vanwege de zeer geringe doorlaatbaarheid van de leembodem.

ALT. I:



ALT. II:



Figuur 6. Schema's drinkwaterzuivering

Als ontwerpuitgangspunten gelden:

- 1) De Parochie stelt eenmalig voldoende geld beschikbaar voor investeringen
- 2) Kwantitatieve ontwerpcriteria zijn: - max. zuiveringsdebiet 75 m<sup>3</sup>/etmaal  
- pompdebiet 9 m<sup>3</sup>/h

Theoretisch verdient langzame filtratie in kleine rurale drinkwatersystemen de voorkeur. Bij een juist ontwerp is de effluentkwaliteit hoger en het beheer eenvoudiger dan bij snelfiltratie.

De effecten van beide filtratiemethoden in de missiepost kunnen in een ongewogen Multi Criteria Analyse worden vergeleken. Bij hoge troebelheid is steeds voorbehandeling nodig. De waardering geldt ten opzichte van de uitgangssituatie ofwel de 0-optie.

	voorbehandeling		hoofdzuivering		
	langzame zandfiltratie	snel-filtratie	dynamic river filtration	horizontal roughing filtration	coagulatie flocculatie sedimentatie
inpasbaarheid	--	-	--	0	-
investeringen	--	-	-	-	-
exploitatiekosten	-	--	0	0	-
beheer	0	-	-	0	-
onderhoud	-	+	-	-	0
effluentkwaliteit	++	+	-	-	-
verlaging NTU	+	+	+	+	++
bedrijfszekerheid	++	-	0	+	--
(-- zeer ongunstig	- ongunstig	0 onveranderd	+ gunstig	++ zeer gunstig)	

Tabel 3. Multi Criteria Afweging zuivering en voorbehandeling

Hieruit spreekt een voorkeur voor langzame zandfiltratie, voorafgegaan door een horizontaal roughing filter.

Enkele ontwerpen voor zandfilters, gecombineerd met een geschikte methode van voorbehandeling zijn uitgewerkt in tekeningen: Propuestas.

De mogelijkheid om voor de voorbehandeling en de snelfiltratie gebruik te maken van *drukfilters* is op aanraden van de begeleider van de ESSAL, dhr. N. Turra onderzocht. Drukfilters worden in Chili geleverd door de firma AGUASIN uit Santiago, die zich zoals de naam aangeeft toelegt op AGUAS INDUSTRIALES, industrieel afvalwater. De vertegenwoordiger van deze firma, dhr. Muñoz, heeft na een bezoek aan de missiepost en een laboratoriumonderzoek van een ruwwatermonster uit de Pullanque een offerte voor een zuiveringsinstallatie uitgebracht. Een volledige installatie, bestaande uit vlokmiddeldosering en flocculatietank, een grof en een fijn drukfilter, kon eind 1992 geleverd worden voor een slordige Ch\$5.000.000,-- ofwel f23.000,-- exclusief transport, constructie en BTW (IVA).

Afgezien van bezwaren tegen deze niet geringe investering, is een dergelijk systeem ook om andere redenen niet aan te raden. De bediening is niet eenvoudig, met name de dosering van vlokmiddel en vlokhelpmiddel. De controle van de drukfilters gebeurt door aflezing van manometerdrukken. Wanneer het verval over het filter bij het ontwerpdebiet een bepaalde vastgestelde waarde overstijgt, dient het filter gespoeld te worden. Een defect aan een of meerdere manometers, een regelmatig optredend euvel, legt de installatie en de waterlevering binnen no time stil en kan tot schade leiden aan pompen, leidingen en afsluiters. Regelmatige onderhoudsbeurten en vlotte levering van reserve-onderdelen vanuit Santiago liggen tot slot niet in de lijn der verwachting.

***Samenvatting:*** de missiepost is voor haar drinkwaterbereiding geheel afhankelijk van het oppervlaktewater uit het stroompje Pullanque. Grondwater kan niet gewonnen worden. Wanneer besloten wordt op langere termijn de waterzuivering grondig te rehabiliteren zal lokatiekeuze en zuiveringstype uitgebreid ter discussie moeten staan.

Voor- en nadelen van verschillende zuiveringsalternatieven zijn in een Multi Criteria Analyse vergeleken. Een nieuw te bouwen langzaam zandfilter voorafgegaan door een roughing filter kwam hieruit naar voren als meest geschikte zuiveringssysteem. Dit vraagt echter om een investering die ten tijde van het onderzoek niet gedaan kon worden.

Een goedkoper alternatief, dat als tijdelijke voorziening kan dienen, wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

## 5. Tijdelijke voorzieningen

Tijdens de stageperiode geldt een belangrijke *randvoorwaarde*: er kunnen geen grote investeringen worden gedaan in een verbeterd systeem voor oppervlaktewaterbehandeling. De eigenaar heeft aangegeven dat er geen nieuwe pompinstallaties of filtertanks aangelegd kunnen worden. Hierdoor gaan de criteria 'inpasbaarheid' en 'investeringen' extra zwaar wegen. Dit vertaalt zich in twee extra korte termijn *ontwerpuitgangspunten*:

- > de bestaande lokatie blijft voorlopig gehandhaafd voor de waterbehandeling;
- > de ontwerpen worden ingepast in de bestaande installatie.

Het bestaande filter heeft voldoende oppervlakte om een snel zandfilter te installeren. Bij een pompdebiet van 9 m<sup>3</sup>/h levert een filteroppervlak van 3 m<sup>2</sup> een filtratiesnelheid van 3 m/h. Dit komt overeen met snelle zandfiltratie.

Twee problemen dienen daarbij opgelost te worden:

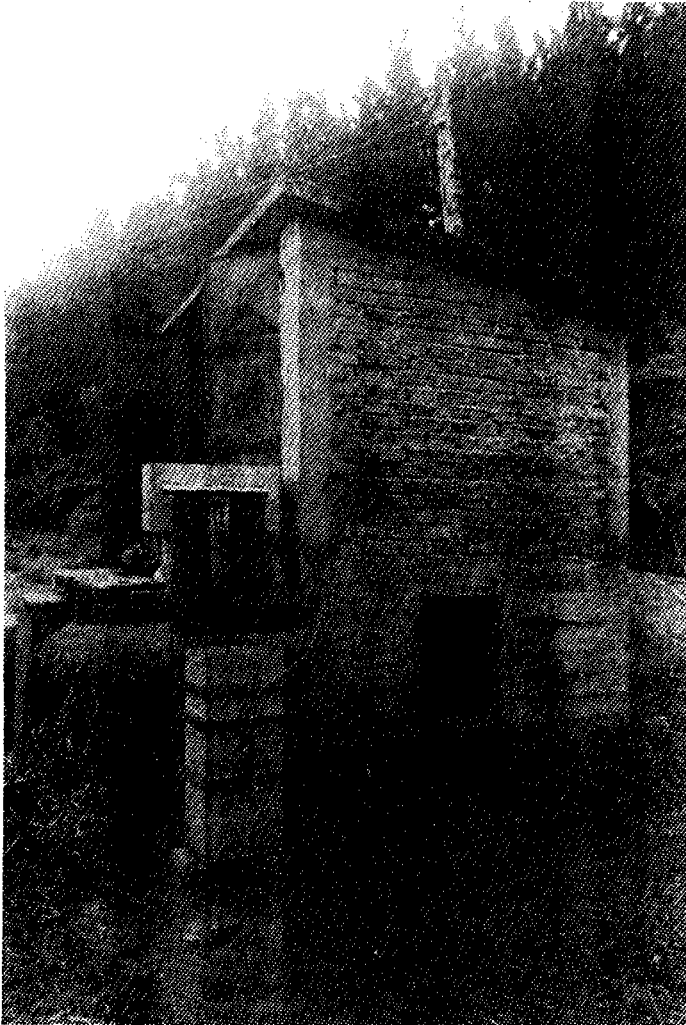
1) In de droge periode is het minimale nivo ten opzichte van de bodem van de filterbak slechts 1.20 m; een normaal snelfilter is tussen 2 en 4 m diep. De verhouding tussen de steunend drainagelaag, de zandlaag en het bovenstaande water is 1 : 2 : 3. Het is bekend dat de filterwerking wordt beïnvloed wanneer deze laagdikten verhoudingsgewijs worden verkleind. Naar verwachting zal de filterlooptijd op basis van effluentkwaliteit afnemen, evenals de reductie van troebelheid in dat effluent. Onderzocht dient te worden in welke mate.

2) Horizontal roughing filtration kan niet toegepast worden, want deze zou in dezelfde ruimte aangelegd worden als het snelfilter. Er zal een andere voorbehandeling aangelegd moeten worden. Een mogelijkheid is het verbeteren van de inlaat door aanleg van een dynamisch filter in of naast het riviertje Pullanque. Het is een degelijk systeem dat eenvoudig te beheren is. Ook van zo'n filter zal de werking in de praktijk onderzocht dienen te worden. Omdat hiervoor een nieuwe filterbak gebouwd moet worden, dient ook van zo'n filter de werking eerst in een pilot-filter onderzocht te worden.

### 5.1. Pilot-studie

Omdat het echte filter dagelijks in gebruik was, zijn experimenten in schaalmodellen van een dynamisch roughing filter en snel zandfilter uitgevoerd. Deze modellen zijn in het atelier van Adolfo Carmona in Osorno gemaakt van gegalvaniseerde platen staal. De leidingen waren van koper (met  $d = 22$  mm) en de drainage van PVC. In *bijlage 3* staan tekeningen hiervan. De filterbedden van beide filters klonken na het eerste gebruik in. Ze werden na een dag tot het oorspronkelijke nivo aangevuld.

Als voeding kon gebruik gemaakt worden van een tap die verbonden was met de pompen. Dit had twee voordelen: de filters liepen gelijktijdig met de pomp en maakten dus dezelfde uren als het grote filter, en er was voldoende druk en volume water beschikbaar voor de spoeling van het zandfiltermodel. De kanttekening wordt gemaakt dat het 'ruwwater' niet rechtstreeks uit de stroom Pullanque werd gehaald. Het stroomde eerst door het bestaande systeem. Verondersteld wordt dat het zuiveringsrendement hiervan verwaarloosbaar was, omdat het ruwwater niet door enig filterbed stroomde en de troebelheid niet door bezinking alléén verminderde.



**De twee modellen naast het pomphuisje**

Er is gekozen voor een declining rate snelfilter: bij gelijkblijvende  $\Delta H$  (stijghoogteverlies) neemt het filtratiedebiet  $Q$  geleidelijk af gedurende de looptijd van het filter. De benodigde minimale filtratiesnelheid door het snelfilter werd bepaald door het pompdebiet te delen door het werkelijk filteroppervlak:

$v_{\min} = (2.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) / (3 \text{ m}^2) = 8.33 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Het snelfiltermodel met een filteroppervlak van  $0.12 \text{ m}^2$  moest een debiet van  $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  leveren.

Het debiet door het dynamisch grindfilter is hieraan gelijk omdat dit dient als voeding voor het snelfilter. De filterbedafmetingen bepalen de filtratiesnelheid van het dynamisch filter. Bij een geschikte filtratiesnelheid van  $6.67 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  wordt de oppervlakte  $0.15 \text{ m}^2$ . Gezien de schaalverhouding 1 : 25 moet het werkelijke filter een oppervlakte van bijna  $4 \text{ m}^2$  krijgen.

### **5.1.1. Doelstellingen en uitgangspunten**

#### **Doelstellingen**

- > Voor het dynamische filter model: bepalen troebelheidsreductie;
- > Voor het snelfiltermodel: (1) bepalen van eventuele veranderingen in filtratiedebiet en -efficiëntie gedurende de filterlooptijd bij verschillende

filterbedmaterialen en (2) bepalen van de spoelparameters voor het snelfilter.

#### *Uitgangspunten*

> Als alle verticale afmetingen in een model gelijk gehouden worden met die in het echte filter komt de werking van dit model overeen met de werkelijke situatie. Aldus zijn de snelheden in de filters gelijk. De modellen zijn op een schaal van 1 : 25 uitgevoerd. De filtratiedebieten van de modellen moeten met 25 vermenigvuldigd worden om het resultaat voor het werkelijke filter te krijgen.

> Er worden lokaal verkrijgbare materialen gebruikt.

Voor de zandfiltervulling kon gebruik gemaakt worden van zwart rivierzand uit Osorno in twee gradaties: grof en fijn. Zie voor de zeefkrommen bijlage 4. Ook was gratis wit zand van het strand in Maiculpué aan de Stille Oceaan te halen. Dit was veel fijner dan het rivierzand. Er is geen zeefkromme van gemaakt.

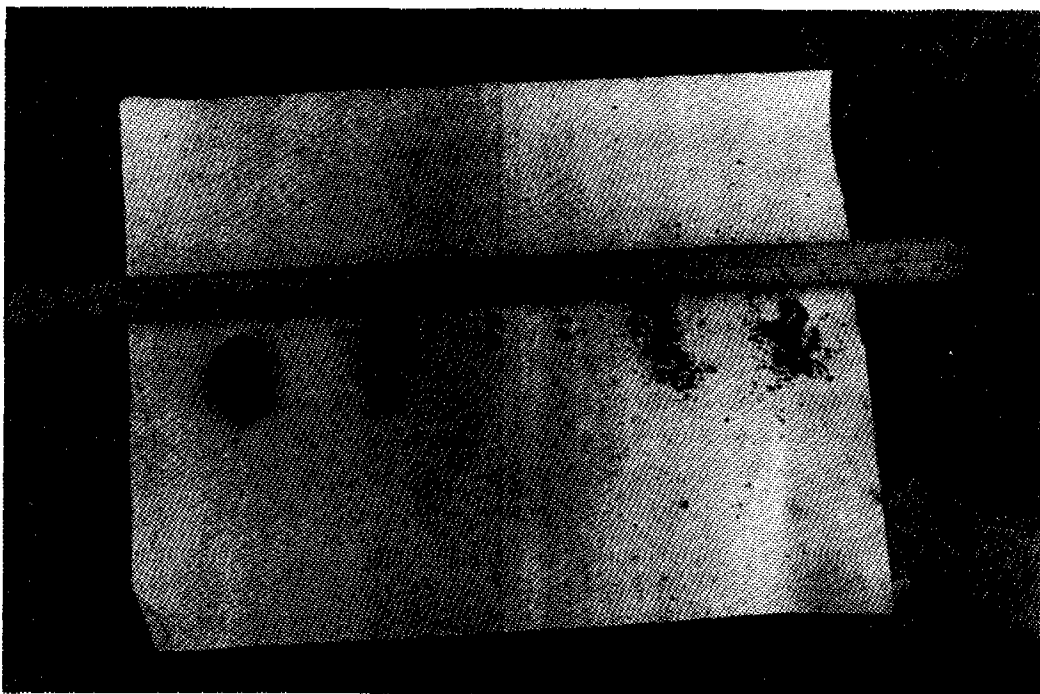
---

	Fijn zand	Grof zand
$D_e = D_{10}$ (mm)	0,20	0,42
$D_{60}$ (mm)	0,35	0,88
$D_{90}$ (mm)	0,49	2,4
$U = (D_{60}/D_{10})$	1,75	2,1

---

**Tabel 4. Parameters van lokaal verkrijgbare zandsorten**

Uit deze gegevens blijkt dat de uniformiteits-coëfficiënt  $U$  van het groffe zand te groot is om het als filtermateriaal in een snelfilter te kunnen gebruiken. Bij terugspoeling van het filter zal stratificatie (laagvorming) optreden. Bovenop het filterbed zal een dunne zeer fijne laag ontstaan ondersteund door een flinke laag grof zand. Bij het fijne zand treedt dit verschijnsel minder sterk op. Als filtermateriaal voor het snelfilter is gekozen voor dit fijne zand.



**Het filterbedmateriaal**



Grind gemengd met grof zand werd geleverd vanuit Osorno. Om grindfrakties te krijgen is enkele dagen gezeefd.



**De zeefwerkplaats**

De zeven werden zelf gemaakt. Het waren 5 stapelbare houten frames van 40 bij 80 cm, bespannen met gaas van  $13 / 9 / 5 / 3 / 1\frac{1}{2}$  mm. Dit waren de gangbare maten gaas die in Osorno gekocht konden worden. Zo onstonden vier begrensde grindfrakties, met diameters die telkens met minder dan een factor 4 toenemen, de maximale stapgrootte voor ondersteunende lagen.

### **5.1.2. Meetmethoden**

Aangezien wordt uitgegaan van een nabehandeling door chlorering kunnen als belangrijke parameters voor het functioneren van beide modellen gelden: debiet en troebelheid.

> Debietmeting geschiedde met een jerry-can van 5,5 l en een stopwatch.

> Troebelheid bepalen was moeilijker; er was geen troebelheidsmeter te leen, en de meest nabije was in Osorno. Om toch redelijk nauwkeurige bepalingen te krijgen zijn twee vergelijkingsmeters ontwikkeld:

1) De eerste bestond uit twee aan elkaar verbonden transparante wc-buizen met een totale lengte van 95 cm. Aan één zijde was een donkere dop aangebracht. Hierin werd met een warm voorwerp een gat van 6 mm doorsnede gemaakt dat met transparante lijm waterdicht werd gemaakt. Onder het gat werd bij zonlicht een wit vel gehouden. De hoeveelheid monsterwater die men in de buis kon gieten zodat het gat in de bodem juist nog zichtbaar was, gaf een maat voor de troebelheid van 10 tot 50 NTU.

2) De tweede bestond uit een tiental reageerbuisjes met een verschillende geijkte troebelheid, van 0 tot 100 NTU. Voor iedere vergelijking was het nodig om bezonken leem door schudden weer in suspensie te brengen.

Beide meters werden geijkt op een HAG turbidity-meter in het laboratorium van het waterbedrijf van de ESSAL in Caipulli bij Osorno.

### 5.1.3. Resultaten

#### *Bij het dynamisch grindfilter*

Zoals boven aangegeven werd is het filtratiedebiet ingesteld op  $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ , bij een  $\Delta H = 6.5 \text{ cm}$  hetgeen overeenkomt met een voor het pompdebiet benodigd filteroppervlak van  $3,75 \text{ m}^2$ . Het dynamisch filter kan niet in de bestaande behuizing worden ondergebracht. Er zal een nieuw filter als inlaatkonstruktie in of naast de bron gebouwd moeten worden.

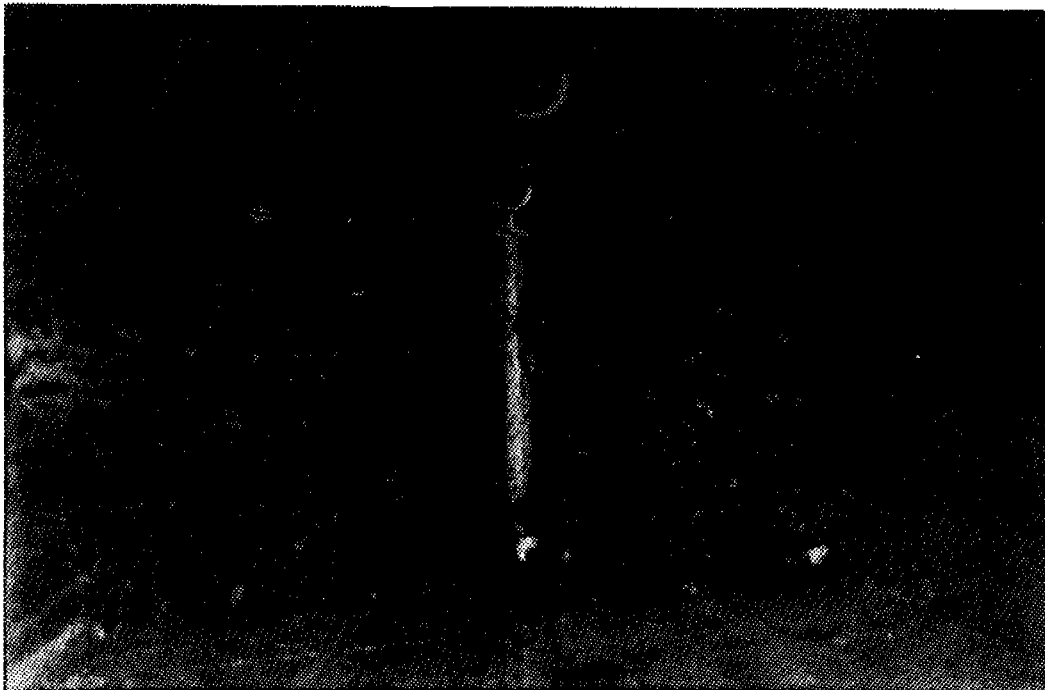
Aldus werden de reducties in troebelheid bepaald.

---

	Influent	Effluent
Begin	30	25
Na 1 dag	25	20

---

Tabel 5. Troebelheidsreductie grindfilter (NTU)



De drainage in de filterbodem

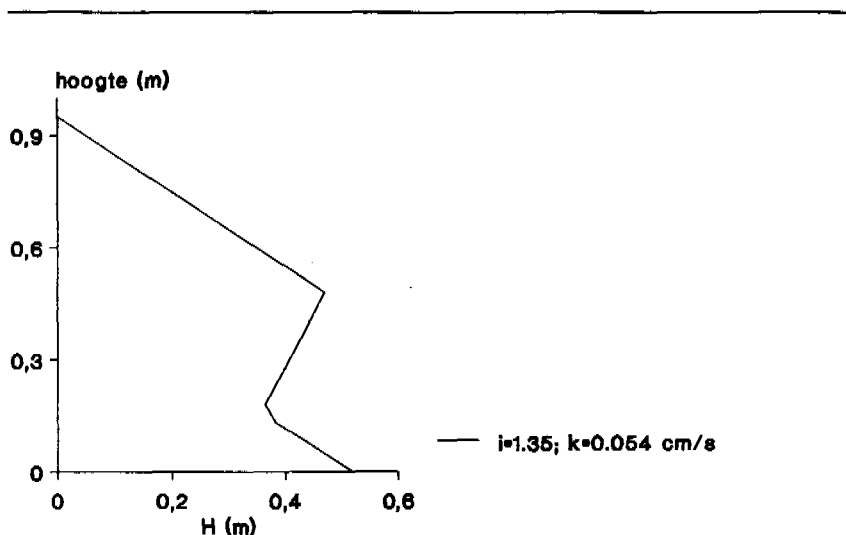
#### *Bij het snel zandfilter*

> Voor het eigenlijke filterbed werd zeezand en fijn rivierzand gebruikt. De laagdiktes werden genomen zoals in bijlage 3 is aangegeven. De dikte van het zandbed was  $0.30 \text{ m}$ ,  $\Delta H$  werd konstant gehouden op  $0.45 \text{ m}$ . Bij grotere filterweerstand kon  $\Delta H$  niet verder toenemen: het filter liep dan eenvoudig over. Bij aanvang van filtratie was het filtratiedebiet voor zeezand  $< 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  bij  $\Delta H = 0.45 \text{ m}$ . Voor het werkelijke filteroppervlak van  $3 \text{ m}^2$  betekende dit een debiet van  $< 0,75 \text{ l/s}$ . Dit is in verhouding tot het pompdebiet ( $= 2,5 \text{ l/s}$ ) veel te laag. Na een periode van filtratie zal dit debiet verder afnemen doordat het filter gedeeltelijk dichtslaat. Het zeezand is dus ongeschikt als filterbed voor het snelfilter.

Voor het rivierzand was de filtratiedebiet  $8.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  aan het begin van de filtratie, hetgeen overeenkomt met een  $v_{\text{filtratie}} = 7.3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Deze waarde is slechts 12% lager dan het benodigde minimum. Dit verschil is op drie manieren te overbruggen. De zandlaag kan nóg dunner gemaakt worden, maar dit reduceert de toch al niet formidabele filterwerking verder. De bovenstaande waterlaag kan 25% dikker gemaakt worden tot 0.55 m. Hierop wordt in paragraaf 5.2.2. teruggekomen. Verder kan de druk in het filterbed verlaagd en daarmee het drukverhang ( $i$ ) vergroot worden door de ontluchting in de effluentafvoer te sluiten. De uitstroomopening van de drainage wordt zo verlaagd waardoor hevelwerking optreedt. Belangrijk hierbij is dat er geen onderdruk in het filter ontstaat om het risico van luchtbinding te vermijden.

Ter controle kunnen lokale verhangen in het filterbed benaderd worden m.b.v. Darcy:  $i = v/k$ ; hierin is de doorlatendheidscoëfficiënt  $k \text{ (m/s)} = 1 \cdot 10^{-2} \cdot [D_{10}(\text{mm})]^2$  voor  $D_{10} \geq 0.20 \text{ mm}$  [Hazen 1983];

Bij schoon zand is de drukverdeling in het pilot-filter zoals aangegeven in onderstaande figuur.



**Figuur 7. Drukverloop in het bed van het pilot-filter**

Aangezien de vrije uitstroomopening zich 0.52 m boven de filterbodem bevindt, moet de druk geheel onder in de filterbodem 0.52 m zijn. Het drukverlies over de ondersteunende lagen is ongeveer 0.025 m, waaraan de laag grof zand vrijwel geheel debet is. ( $D_e = 0.42 \text{ mm}$  en  $i = v/k = (7.3 \cdot 10^{-4}) / (1 \cdot 10^{-2} \cdot (0.42)^2) = 0.41$ ; met een laagdikte  $d_{\text{grof zand}} = 0.05 \text{ m}$  is het verlies dus 0.02 m). In de groffere lagen is het drukverlies verwaarloosbaar en treedt een hydrostatisch drukverdeling op.

In de fijn-zand-laag geldt  $i = \Delta H / \Delta x + 1 = [0,105/0.30] + 1 = 1.35$

Uit de zeefkromme voor fijn zand, bijlage 4 blijkt dat  $D_e = 0.20 \text{ mm}$ . Hieruit volgt:  $k = 1 \cdot 10^{-2} \cdot (0.20)^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  en  $v = k \cdot i = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Deze berekende waarde voor de filtratiesnelheid is aanzienlijk kleiner dan de ingestelde en gemeten waarde. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het gezeefde monster een zeer klein volume had, of dat er een gedeeltelijke kortsluitstroming is opgetreden in het pilot-model.

Uit de metingen kan vice versa uit  $v$  en  $i$  een waarde voor  $k$  en daarmee een benadering voor  $D_e$  berekend worden. Bij  $v = 7.3 \cdot 10^{-4}$  m/s volgt voor  $k = v/i = 5.4 \cdot 10^{-4}$  m/s.  $D_e$  zou dan 0.23 mm zijn, een afwijking van 10% met de zeefproef.

Het debiet werd ingesteld op  $0.88 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s. Enkele dagen liep het filter met een filterbed van fijn rivierzand gelijk op met de pomp. Opvallend was dat het filtratiedebiet na een dag niet afgenomen was:  $Q$  bleef  $0.88 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s bij  $\Delta H = 0.45$  m. In paragraaf 5.2.2. volgt meer hierover. De troebelheidsreductie werd gemeten:

	Influent	Effluent
<b>Begin</b>	25	<10
<b>Na 1 dag</b>	20	15
<b>Gespoeld</b>	20	10

**Tabel 6. Troebelheidsreductie snelfilter (NTU)**

In de drainagepijp waren om de 2.5 cm twee gaten gemaakt met  $d = 6$  mm. Het verlies aan snelheidshoogte is 3 mm. Het intreeverlies is 1 mm.

> Het spoeldebiet werd met een V-notch bovenaan het filtermodel gemeten. Volgens het IRC [Hofkes 1981] is een  $v_{\text{spoel, } D_{50} = 0.4 \text{ mm}}$  van 0.23 m/min nodig.

$v_{\text{spoel}}$  volgens Unda [1969] moet liggen tussen 0.38 en 0.63 m/min. Bij een gemiddelde waarde van 0.5 m/min is een spoeldebiet van  $1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s nodig. In paragraaf 5.2.1. wordt op dit verschil ingegaan.

Er werd met  $Q_{\text{spoel}} = 1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s  $\Leftrightarrow v_{\text{spoel}} = 0.5$  m/min een dag gespoeld gedurende 5 min en een andere dag gedurende 10 min. Na 5 min was het spoelwater helder.

## 5.2. Fysische zuivering

### 5.2.1. *Uitwerking getroffen voorzieningen*

(zie tekeningen: projecto minimo)

#### *Voorbehandeling*

Dynamische grindfiltratie is niet werkelijk uitgevoerd. Ze levert een gering rendement en er was geen tijd en geld beschikbaar tijdens het veldwerk voor de bouw van zo'n inlaatfilterkonstruktie.

Als voorbehandeling is de bestaande bergbezinktank aangepast. Er is een vertikaal schot in de tank geplaatst met een onderdoorgang, zodat de kortsluitstroming wordt verminderd. Verder zijn twee scheve schotten aangebracht waardoor het sedimentatieoppervlak toeneemt. De schotten zijn opgebouwd uit 5 cm-dikke balken van Eucalyptus-hout. Voor de zo onstane tank blijft Reynoldts gelijk aan 950.  $Ca_{p}$  wordt  $3.2 \cdot 10^{-7}$ , dat is groter dan de oorspronkelijke waarde, maar nog te laag voor een stabiele stroming. Bij langdurig doorpompen is de verblijftijd in de tank, uitgaande van een volledige verdeling van de stroming over de doorstroomde oppervlakken, ruim 1 uur.

### Hoofdzuivering

Volgens het model van het snelfilter kan in de bestaande filterbehuizing met snelfiltratie een significante troebelheidsreductie worden bereikt. Omwille van overwegingen van organisatorische aard (zie paragraaf 5.4.) heb ik besloten deze filterverbetering tijdens mijn stage uit te voeren.

Uitgangspunten:

- > Het snelfilterbed zal overeenkomstig dat van het schaalmodel worden uitgevoerd. Er is dus geen nieuwe pompinstallatie nodig om meer stijghoogte te krijgen;
- > Het filter moet beveiligd zijn in geval het dichtslaat;
- > Het filter moet eenvoudig en gemakkelijk te bedienen zijn.

Het ontwerp uit de tekeningen behoeft op een aantal punten toelichting.

I) By-pass: Ter beveiliging, dat wil zeggen om de pomp te beschermen wanneer het filter onverhoopt geheel of gedeeltelijk dichtslaat, is een rechtstreekse leiding met een gering verhang aangelegd tussen de ruwwatertank en de reinwatertank. Op het hoogste punt is een ontluchting aangebracht. De uitgang in de reinwatertank is een halve meter onder de filterbodem en een meter boven de tankbodem gemonteerd. Een vlotter sluit de by-pass af, wanneer het filter normaal funktioneert. Wanneer het filter dichtslaat of om onderhoudsredenen wordt afgesloten, zal het waternivo in de reinwatertank zover dalen dat de vlotter zich opent. Op deze manier krijgt de pomp altijd voldoende water.

II) Indeling in drie compartimenten vanwege spoelen: Wanneer het werkelijke filter in haar geheel in een keer gespoeld wordt, is hier overeenkomstig het schaalexperiment een debiet van  $8,3 \text{ l/m}^2\text{s} \cdot 3 \text{ m}^2 = 25 \text{ l/s}$  voor nodig. Volgens de pompkarakteristiek (bijlage 2) kan met de pomp dit debiet niet worden gehaald. Zelfs bij  $H = 0$  is de  $Q$  slechts  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (5 l/s). De minimum toelaatbare  $H$  is echter 70 m. Dan is het debiet  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (4 l/s). Bij een indeling van het filter in drie spoelcompartimenten van ieder  $1 \text{ m}^2$  wordt een spoelsnelheid van  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  bereikt. Omdat achteraf in Nederland de  $D_e$  is bepaald, kan een theoretische spoelsnelheid worden bepaald met:

$$v^{1.2} = [g / (130 \cdot \mu^{0.8})] \cdot [(\rho_{\text{zand}} - \rho_{\text{water}}) / \rho_{\text{water}}] \cdot [\rho_e^3 / (1 - \rho_e)^{0.8}] \cdot D_e^{1.8} \text{ met}$$

$$\rho_e = (\text{porositeit}_{\text{zand}} + E) / (1 + E);$$

$$E = \text{gewenste expansie} = 0,50;$$

$$\mu_{20^\circ\text{C}} = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s};$$

$$\rho_0 \text{ wordt gesteld op } 0,40.$$

$v_{E=0,50} = 2,05 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ , dit is  $2,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  per compartiment. Bij gelijktijdige spoeling van twee compartimenten is  $4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (4.1 l/s) nodig. Volgens de pompkarakteristiek wordt een debiet =  $4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  geleverd bij een  $H = 70 \text{ m}$ . Het spoeldebiet kan verkregen worden met de bestaande pompen zonder dat de transportleiding afgesloten behoeft te worden. De indeling van het filter in drie compartimenten is geschikt voor de spoeling.

De drie afdelingen hebben een onafhankelijk drainagestelsel met kraan. De scheidingsmuren zijn 1,0 m hoog gemaakt. Hierdoor wordt het zand bij wassing niet uit het compartiment gespoeld, terwijl bij filtratie het ruwwater ongehinderd naar alle compartimenten kan toestromen.

De compartimenten worden twee aan twee 5 minuten gespoeld; de spoelvolgorde is a + b en b + c. Hierdoor zal de uitgewassen troebelheid uit

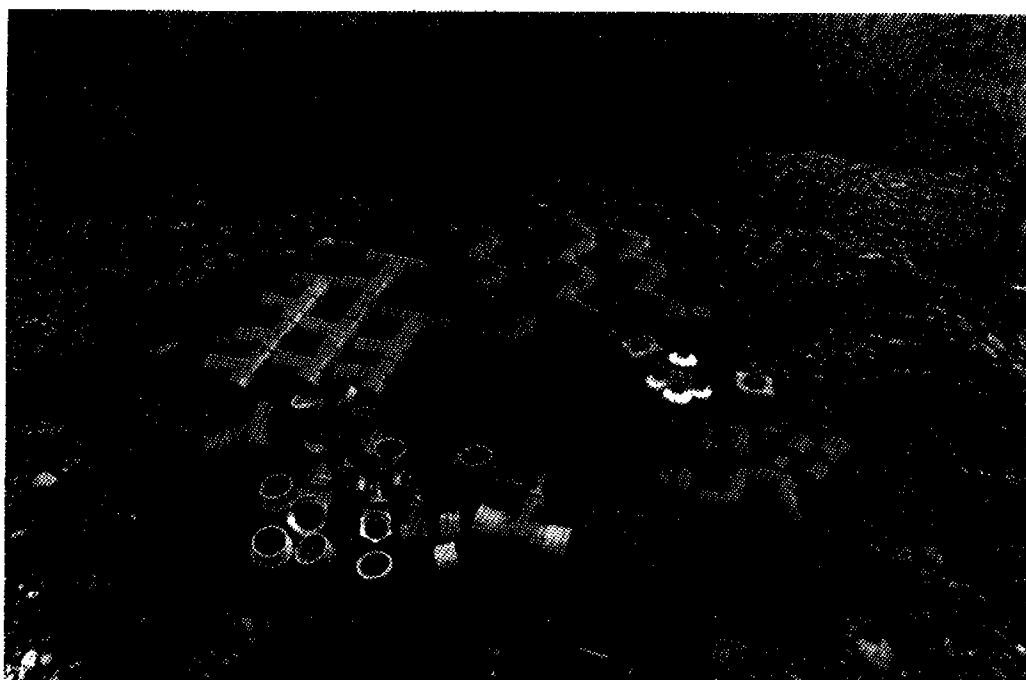
alle compartimenten zich in twee stappen naar de opening boven het eind van afdeling c begeven. Het spoelregime is een essentiële beheerstaak die dagelijks moet worden uitgevoerd.

III) Drainage: Voor de drainage is gebruik gemaakt van de 2.5-duims PVC-leiding waarin met een boormachine per 5 cm lengte rondom telkens vier gaten met  $d = 8 \text{ mm}$  gemaakt. Het intree-oppervlak is  $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{m}$ .

In compartiment a, b en c is respectievelijk 1.10, 1.40 en 1.60 m drainagepijp met een totaal intree-oppervlak van respectievelijk  $4.4 \cdot 10^{-3}$ ,  $5.6 \cdot 10^{-3}$  en  $6.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ .

Bij spoeling van a + b is het totale uittree-oppervlak  $0.010 \text{ m}^2$  en de gemiddelde snelheid  $0.41 \text{ m/s}$ . Voor compartiment a geldt een spoeldebiet van  $1.8 \text{ l/s}$ , voor b van  $2.3 \text{ l/s}$ ; de variatie in spoeldebiet per compartiment is 12%. Bij spoeling van compartimenten b + c geldt iets overeenkomstigs. In b is het debiet nu  $1.9 \text{ l/s}$ , in c is het  $2.2 \text{ l/s}$ .

De filterbodemweerstand mag niet te klein zijn, omdat anders gelijkmatige verdeling van het spoelwater niet gewaarborgd is. Bij benadering geldt dat  $\Delta H_{\text{bodem}} \geq 0.15 \cdot H_{\text{bed}} + 17 \cdot \Delta h = 0.09 \text{ m}$ .  $\Delta h$  is hierin een maat voor de druktoename tussen het begin en het eind van een drainagebuis, gelijk aan  $H_{\text{snelheid aan begin drainagepijp}} (= V_{\text{begin}}^2/2g) - \Delta H_{\text{wrijving}} \approx 0.7 \cdot V_{\text{begin}}^2/2g$ , en  $V_{\text{begin}}$  = de snelheid aan het begin van de drainagepijp. De werkelijk bodemweerstand kan benaderd worden met  $1/12 \cdot (Q_{\text{spoel}}^2)/(n^2 d_0^4)$  voor ieder compartiment. Hierin is  $n$  het aantal openingen per  $\text{m}^2$  filterbodem en  $d_0$  de diameter van die openingen. De zo gevonden bodemweerstand, ongeveer  $0.005 \text{ m}$ , is te laag.



Creatief met PVC

IV) Kranen: In het totaal zijn zes schuifafsluiters gemonteerd. De in- en uitlaat zijn voorzien van een 3-duims kraan (opening  $d = 6.2 \text{ cm}$ ). De spoelleiding en de drainages van ieder compartiment hebben een 2-duims kraan met een

opening van  $d = 4.2$  cm. De kraanassen zijn verlengd, zodat de kranen buiten het filter bediend kunnen worden.

V) Verliezen bij filtratie: Bij een ontwerpdebiet =  $9 \text{ m}^3/\text{h}$  zijn de totale verliezen  $\partial H_{\text{totaal}} < 0.15$  m:

$\partial H_{\text{snelheid}} = 0.070$  m; tweemaal bij uitstroming uit de inlaat- en uitlaatbuis

$\partial H_{\text{drainage}} < 0.014$  m; intreeverliezen

$\partial H_{\text{wrijving}} < 0.066$  m; over 3.5 m lengte

Bij een totale filterbedhoogte =  $0.5$  m en en  $\Delta H$  tussen bovenstaande waterlaag en filteruitlaat  $0.55$  m is dus een totale stijghoogte  $\leq 1.2$  m nodig, juist gelijk aan het beschikbare minimum piëzometrisch nivo in het filter.

VI) Ontluchting en schoonmaak: In het hoogste punt van de filteruitlaat is een ontluchtingsbuis aangebracht. De opening hiervan bevindt zich bovenop het filter. Bij schoonmaak kan al het water uit het filter worden getrokken. Daartoe bevindt zich de opening van de filteruitlaat in de reinwatertank  $70$  cm onder de filterbodem. Wanneer de ontluchtingspijp met een speciale dop afgesloten wordt, dan zal het filter bij schoonmaak geheel leeggeheveld worden. Bij normaal functioneren mag de ontluchting nooit afgesloten worden, omdat dan onderdruk in het filterbed gecreëerd kan worden.

### **5.2.2. Diskussie en adviezen voor de korte termijn**

#### *Diskussie*

De hiervoor geschetste en in de missiepost verrichte ingrepen zijn van tijdelijke aard. Bij metingen aan de modellen bleek al dat een verlaging van de troebelheid bereikt kon worden van ongeveer  $60\%$ . Een resttroebelheid van  $10$  tot  $15$  NTU is weliswaar een verbetering ten opzichte van de uitgangssituatie, maar zeker niet voldoende om aan de drinkwaternormen te voldoen.

Wanneer de verschillende onderdelen in de vorige paragraaf doorgerekend worden, komen een aantal ontwerpfouten aan het licht; ten dele vallen deze te wijten aan beperkende randvoorwaarden zoals het beschikbare investeringsbudget en meet- en analyse-appatuur; deels zijn ze het gevolg van tijdgebrek en onvolledige dimensioneringsberekeningen. Zo was de meetcyclus aan de modellen te beknopt.

De bergbezinktank is verbeterd, maar voldoet nog steeds niet aan de voorwaarde van stabiele stroming. De verblijftijd van  $1$  uur is veel te kort om zonder verdere voorbehandeling een significante reductie van het gesuspenderde materiaal te verkrijgen.

Het filterbed bestaat uit te fijn materiaal met  $D_e = 0.20$  mm. Hierdoor zal het bij terugspoeling met een laag debiet niet goed gereinigd worden. Klei-neerslag blijft kleven aan de zandkorrels en zo kunnen na verloop van tijd mudballs ontstaan die het filter verstoren.

De weerstand in de filterbodem is te klein om een voldoende gelijkmatige verdeling van spoelwater over het filter te bewerkstelligen. Hierdoor ontstaat het risico van sandboils, kraters in het filterbed ten gevolge van extreme lokale spoelsnelheden.

De ligging en vormgeving van de spoelwateruitlaat is onorthodox, maar gezien de randvoorwaarden het best mogelijke.

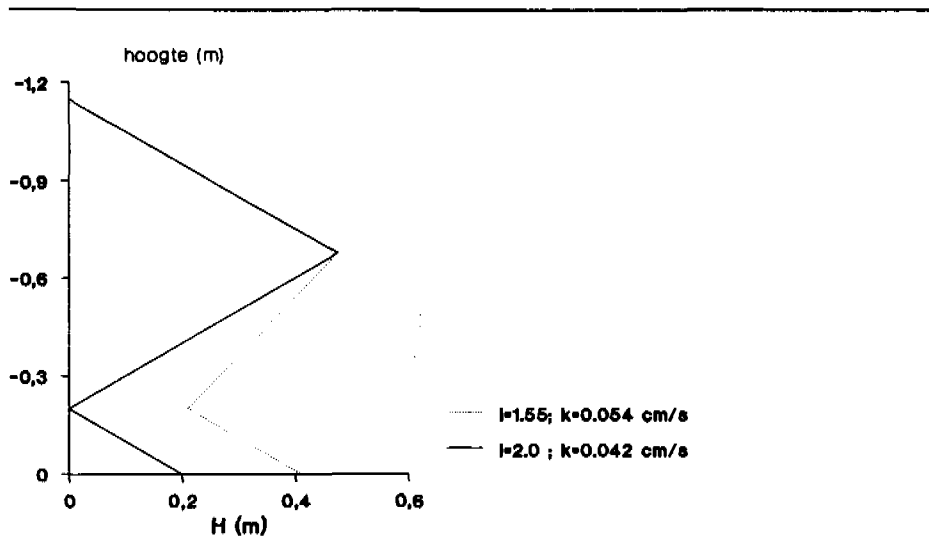
### Korte termijn adviezen

De reductie in troebelheid is te gering vanwege de geringe filterbeddikte. Aangezien het drukverloop in het filterbed in de pilot-studie steeds ruim positief was, is het mogelijk het filterbed te verhogen. Wanneer daarbij als uitgangspunten genomen worden:

- >  $k_0 = 5.4 \cdot 10^{-4}$  m/s, zoals afgeleid in paragraaf 5.1.3.;
- > vanwege de afname van de doorlatendheid gedurende de looptijd wordt gesteld  $k_{\min} = k_0 / 1.3$ ;
- >  $v_{\text{filter}} = 8.3 \cdot 10^{-4}$  m/s; dan is  $i_{\min} = v_{\text{filter}} / k_0 = 1.55$ ;  
 $k_{\min} = 4.2 \cdot 10^{-4}$  m/s en  $i_{\max} = v_{\text{filter}} / k_{\min} = 2.0$ ,

dan volgt bij een ondersteunende laag van 0,20 m en een supernatant waterlaag met dikte  $b$  de maximale beddiepte  $a$  uit:

$$b - 1 \cdot a = 0 \text{ en } a + b = 0.95 \iff a = 0.475 \text{ m en } b = 0.475 \text{ m}$$



**Figuur 8. Filterdrukverlopen bij vergrote filterbeddikte**

Ter verbetering van het uitgevoerde project wordt geadviseerd het filterbed met fijn zand aan te vullen tot 47.5 cm. De benodigde stijghoogte wordt verkregen door afsluiting van de ontluchting op de filtraatafvoer, waardoor deze als hevel gaat werken. De spoeling kan geoptimaliseerd worden door de spoelkraan zo ver te openen dat bij een druk van 700 kPa een debiet van 4.1 l/s wordt ingesteld. Er moet tweemaal 5 minuten gespoeld worden, eerst de compartimenten a en b, daarna b en c.

Voorbehandeling door vlokvorming met aluminiumsulfaat kan het uiteindelijke zuiveringsresultaat gunstig beïnvloeden. Aan de praktische toepassing ervan zitten echter zoveel haken en ogen dat het voor eigen verantwoordelijkheid geschiedt. Naast de kosten levert met name het operationele beheer vaak grote problemen op. De optimale dosering van het aluminium komt erg precies en zal bij voorkeur dagelijks moeten worden bepaald met een jartest (een proef met bekgelazen en diverse doseringen aluminium). Tevens zal zo de optimale Gt-waarde, een maat voor de energie-inbreng, bepaald moeten worden voor de vlokvorming. Bij de instroming in de sedimentatietank zal een regelbare



doseerinrichting en een bij voorkeur statische menger geïnstalleerd moeten worden. Het gebruik van aluminiumsulfaat wordt in ieder geval afgeraden, tenzij dagelijkse controle van troebelheidsreductie, pH en aluminiumresidu mogelijk is.

Voor de uitvoering van deze korte termijn adviezen is F. Rivera Salazar de aangewezen persoon. In februari 1993 stuurde hij reeds een fax naar Nederland waarin hij om advies vroeg over een zelf-ontworpen installatie voor vlokvorming met aluminiumsulfaat.

### **5.3. Desinfektie**

Omdat desinfectie voor de hygiënische kwaliteit van het water vereist is, is hieraan vanaf het begin de nodige aandacht besteed. Het leek voor de handliggend een doseerpomp te installeren op het hoogreservoir. Hiervoor was een elektrische verbinding van meer dan een km lengte nodig. Bovendien was er na de slechte ervaring met de Klorman-apparaten enige scepsis over een nieuw systeem. Daarom is gepoogd met eenvoudige middelen de chlorering te verwezenlijken.

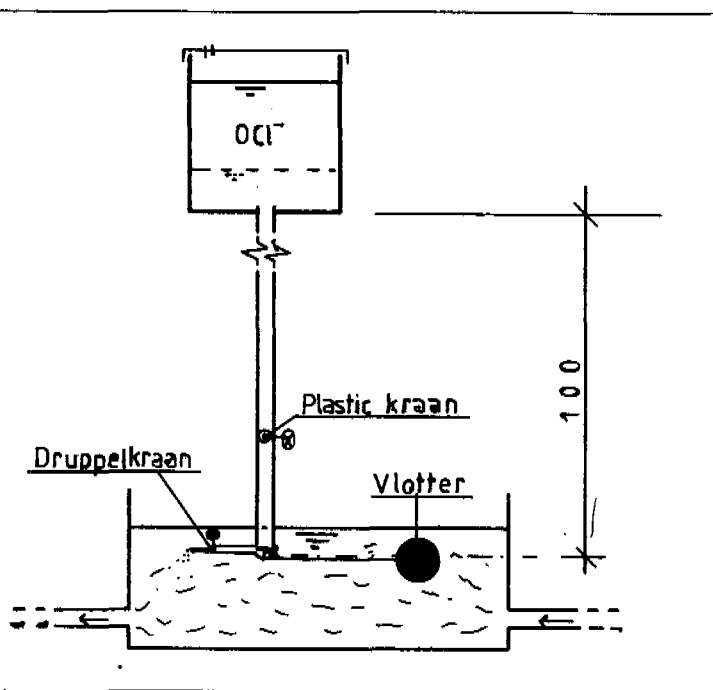
De verbeteringen zijn in drie stappen verlopen. Allereerst werd met behulp van een proef bepaald hoeveel initieel chloor gedoseerd moest worden, opdat er na een bepaalde contacttijd voldoende (volgens de norm van de Servicio Salud  $\geq 0.5$  ppm) residueel chloor aanwezig was. Als chloreringsmiddel werd het vloeibare schoonmaakmiddel 'Clorinda' gebruikt. Dit werd door de Universidad Católica aanbevolen voor dit doel. Daar had men de concentratie van actief chloor in Clorinda vastgesteld op 6.6%.

Aan vijf flessen met ongezuiverd kraanwater werd een verschillende initiële chloorhoeveelheid toegevoegd. Gedurende 28 uur werd een aantal maal het chloorresidu bepaald met een Hach kleurcomparator. Zie voor de resultaten bijlage 5. De contacttijd komt ruwweg overeen met de verblijftijd in het hoogreservoir en leidingnet, die varieert tussen de 18 en 36 uur. De begindosering is zo bepaald op 2.5 à 3.0 ppm.

Het chloor werd aanvankelijk door direkte injectie via de Klorman-apparaten toegevoegd bij de inlaat van het reservoir. Per dag werd een vaste hoeveelheid chlooroplossing in korte tijd via druppelflesjes geïnjekteerd. Dit resulteerde in grote schommelingen gedurende het etmaal.

Om de chloordosering beter te spreiden en te regelen, heb ik een nieuw systeem ontwikkeld en in gebruik gesteld. Het bestond uit een voorraadtank, een regelgedeelte en een mengbak. De voorraadtank was een van inhoudsaanduiding voorziene emmer. Hij werd bovenop een afvoerpijp van 1 meter lengte gemonteerd, zodat de stijghoogte (en dus het druppeldebiet) nagenoeg onafhankelijk werd van de emmervulling. De mengbak was een zorgvuldig gereinigde accubak waarvan deksel en binnenwerk gesloopt waren. Deze werd op de plaats van een Klorman-apparaat in een by-pass geïnstalleerd.

Het bedieningsgedeelte omvatte een hoofdkraan, een vlotter en een druppelkraan. De vlotter zorgt ervoor dat alleen chloor toegevoegd wordt wanneer er gepompt wordt. Dan immers stijgt het vrije wateroppervlak in de mengbak. De druppelkraan zorgde voor de fijnafstelling van de dosering. Deze was gemaakt van een infuuskraantje.



**Figuur 9. Noodvoorziening chlorering**

De gemeten chloorresiduen gedurende een aantal etmalen zijn weergegeven in bijlage 6. Het systeem bleek redelijk te voldoen. Toch kleefden er nadelen aan. De fijnregeling van de druppelkraan was lastig en niet erg exact, omdat dit gebeurde door het tellen van de druppels gedurende 1 minuut. Bovendien nam de chloordosering na enkele dagen geleidelijk af door gedeeltelijke verstopping.

Vanwege deze onzekerheden is uiteindelijk toch geadviseerd een doseerpomp voor chloor te installeren. Dit advies is inmiddels opgevolgd.

#### **5.4. Versterking lokale organisatie**

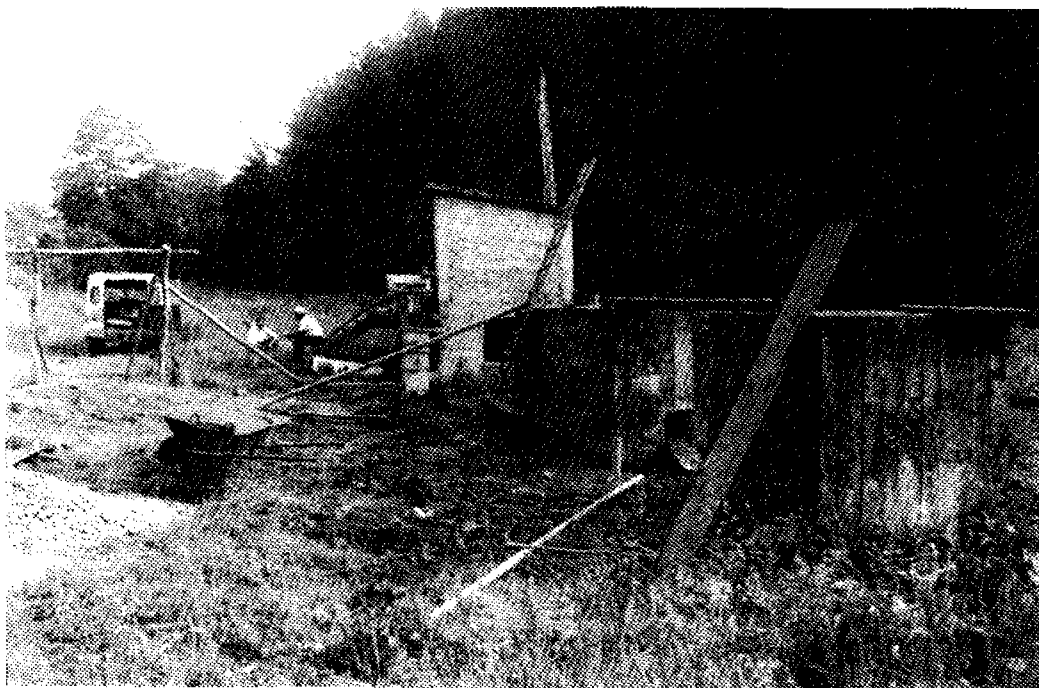
Gedurende de stage heb ik veel samengewerkt met Carlos Ancatripay, de technisch beheerder van de watervoorziening. Hij was actief geïnteresseerd in verbeteringsvoorstellen. Een probleem hierbij was dat hij geen technische tekeningen kon lezen. Hij wilde de zaken in de praktijk zien. Aan concepten had hij een broertje dood. Voor de voorstellen tijdens de stage betekende dit dat veel overleg in de praktijk en met handen en voeten werd gevoerd. De schaalmodellen waren dan ook noodzakelijk om Carlos te betrekken bij de veranderingen die in zijn installatie konden worden doorgevoerd. Deze vorm van overleg verliep uitstekend.

In het vervolg van de stage moest ook rekening gehouden worden met deze handicap. Het was zeer gewenst om constructieve aanpassingen die nauw kwamen onder eigen toezicht te laten uitvoeren. Dit heeft geresulteerd in de paragraaf 5.2.2. beschreven aanpassingen.

Alle goede wil van Carlos ten spijt was het wenselijk het technisch en organisatorisch management uit te breiden met een persoon die gewend was theoretisch te denken. Hierdoor zou het proces van verbetering een eigen dynamiek krijgen en advisering achteraf vanuit Nederland effectiever kunnen worden.

De eerste die hiervoor in aanmerking kwam was de persoon die de bestaande installatie ontworpen en gebouwd had, aannemer don Juan Smulders. Als welbekende van de missiepost voert hij er alle bouwactiviteiten uit. Hij is zeer behulpzaam geweest bij de voorspoedige levering van bouwmaterialen en door het inzetten van bouwvakkers bij de uitvoering van de werkzaamheden. Don Juan kon wèl goed tekeningen lezen. Hij had echter veel aan zijn hoofd en kon om die reden zelf geen continu toezicht op de uitvoering van bouwactiviteiten houden. Dit resulteerde in vertraging en soms afwijking van oorspronkelijke bouwplannen.

Door een gelukkig toeval werd Francisco Rivera Salazar, alias Pancho, ruim een maand voor het eind van de stage bij het project betrokken. Ook hij was een oud-bekende van de missiepost. Bovendien had hij vier jaar gewerkt bij de ESSAL Osorno. Hij werkte onder meer in de waterzuiveringsinstallatie in Caipulli. Daar werkt men met dezelfde soort bron (rivier) en zuivering (snelfilter). Hij heeft er ervaring opgedaan met het gebruik van aluminiumsulfaat als coagulant.



**Het management bij de installatie**

Pancho is zowel bij het experimenteren met modellen als de bouwactiviteiten aan het werkelijke filter (zie paragraaf 5.2.2.) betrokken geweest. Vanaf januari 1993 is hij part-time aangesteld om het project voort te zetten. Hij is begonnen met de afbouw en in gebruikname van het filter, het inwerken van Carlos Ancatripay als dagelijks beheerder en de aanleg van een chloor-doseerinstallatie. Voorts zal hij rapporteren aan padre Adrián en via hem aan mij in Nederland. Hij zal naar eigen inzicht en met behulp van adviezen uit Nederland pogen de waterzuivering te optimaliseren.

De overdracht heeft plaatsgevonden in een twee-uur-durend gesprek, waarin Pancho zijn eigen takenpakket heeft geformuleerd.

**Samenvatting:** een zuiveringssysteem waarin een snel zandfilter centraal staat, kon in de bestaande konstruktie ingebouwd worden. Dit kon als korte termijn voorziening een verbetering bieden. In een pilot-studie is het rendement van een dynamisch grindfilter gevolgd door een spoelbaar snel zandfilter uitgetest. De filterlaag van het grindfilter bestond uit grind met  $3\text{mm} < D < 5\text{mm}$ . Voor het zandfilter werden verschillende lokale filterbedmaterialen vergeleken: grof en fijn rivierzand en zeer fijn zeezand. Op grond van debietmetingen werd gekozen voor fijn rivierzand, met  $D_e = 0.2\text{ mm}$  en  $U = 1,75$ .

Het dynamische filter reduceerde de troebelheid met 17 tot 20%. Het zandfilter haalde een rendement van 50 tot 60%. Vanwege investeringen voor de bouw in de reële situatie is van grindfiltratie afgezien. Het zandfilter kon wel in de bestaande installatie ingepast worden. Hiertoe werd de bestaande filterbak voorzien van drainage, bedieningskranen, spoeluitlaat en filterbed. Er worden enige suggesties gedaan om het zuiveringsrendement te verhogen.

Desinfektie door chlorering is in alle gevallen nodig. Er is met een eenvoudig zelfgemaakt doseersysteem geëxperimenteerd. Vanwege het grote belang van desinfectie is geadviseerd om toch een doseerpomp op het hoogreservoir te installeren.

Uitbreiding van het organisatorisch kader in de persoon van Fr. Rivera S. is essentieel voor het welslagen en de continuïteit van het project.

## **6. Aanbevelingen voor de lange termijn**

Voor een definitieve oplossing van het watervraagstuk in de missiepost wordt aan de missieleiding geadviseerd een vervolgproject te starten. Allereerst moet er een masterplan gemaakt worden voor de drink- en afvalwatervoorziening in de missiepost. Deze consultatie kan geschieden door een ervaren ingenieur, bijvoorbeeld van de T.U. Delft. Het masterplan zal een overzicht van de alternatieven bevatten voor te treffen voorzieningen en te nemen maatregelen, met een globaal prijskaartje. Deze kunnen bijvoorbeeld op de T.U. Delft in de vorm van projectonderwijs uitgewerkt worden.

Daarna is het mogelijk dat de T.U. Delft supervisie bij de planrealisatie levert, in de vorm van een afstudeerproject of een ISP-project.

Voorwaarde voor verdere projecten is wel, dat er een samenwerkingsverband tot stand komt met studenten en onderzoekers van de Universiteit van Valdivia. Op deze manier staat een groter instrumentarium aan meet- en analyse-

apparatuur ter beschikking en is praktijkbegeleiding beter mogelijk. Bovendien blijven projecten zonder voldoende geschoold lokaal kader steken in los zand.

*Vervolgproject ISP*

De situatie in Misión San Juan de la Costa en het omliggende kustgebergte biedt allerlei aanknopingspunten voor een breed opgezet project. Belangrijke onderzoeksgebieden zijn de economische en bestuurlijke verzelfstandiging van de Huilliches en de ontwikkeling van duurzame bestaansmogelijkheden om de grootschalige bosroof een halt toe te roepen.

Naast het ontwerpen van een nieuwe drinkwatervoorziening zijn op civiel gebied projecten gewenst op gebied van afvalwater- en vastvuilverwerking, wegebouw en bodemverbetering.

## Literatuur

- 1 Babcock Russell H., Instrumentación y Control en el Tratamiento de Aguas Potables, Industriales y de desecho, Limusa-Wiley Mexico, 1971
- 2 Carrisma Confrater, periodiek Missieprokuur Kapucijnen, jaargang 23 nummer 2 en 3, jaargang 24 nummer 1, Tilburg, Holland, 1989 en 1990
- 3 Diktaten N2, N3, N4, Mi20, faculteit der Civiele Techniek, T.U. Delft, 1991
- 4 Galvis Gerdado C. / Fernandez Javier E., Verslag Seminario Internacional sobre Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, Cinara/ IRC, Cali, Colombia, 4-8 nov. 1991; uit: Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento de Filtros Gruesos Dinámicos, 1991
- 5 McGhee T.J., Water Supply and Sewerage, 6-th edituion, McGraw-Hill, New York, 1991
- 6 Hazen A., in: Dictionary of Geotechnics, Somerville S./Paul M., Butterworth & Co UK, 1983
- 7 Hofkes E.H., Small Community Water Supplies, International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation (IRC),, Den Haag, 1981
- 8 Huisman L. e.a., Chemische Waterzuivering, Vakantiekursus Drinkwatervoorziening, 1972
- 9 International Development Research Centre, Rural Water Supply in Developing Countries, Workshop Malawi 1980, Ottawa, Canada, 1981
- 10 Norma Chilena Oficial
  - > NCh777.Of71; Agua Potable. Fuentes de Abastecimiento y Obras de Captación, Terminología, Classificación y Requisitos Generales, 1971
  - > NCh409/1.Of84; Agua Potable - Parte 1: Requisitos, 1984
  - > NCh409/2.Of83; Agua Potable - Parte 2: Muestreo, 1983
  - > NCh1333.Of78 (modificada en 1987); Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos, 1987
- 11 Paz Marotto J./ Paz Casane J., Abastecimientos de Agua, tomo 1, Escuela Tecnica Superiora de Ingenieros, Chile, 1962
- 12 Reiding J., Procesos y Operaciones Unitarias I, Universidad Nacional de Ingenieria, Managua, Nigaragua, 1988
- 13 Schaepman K., Landendocumentatiemap Chili, Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam, 1989
- 14 Smet J.E.M./ Visscher J.T., Pre-treatment Methods for Community Water Supply, IRC PRET, 1989

- 15 Schultz Chr./ Okun D., Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries, United States' Agency for International Development, Washington D.C., U.S. of America, 1984
- 16 Unda Opazo F., Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saniemiento y Salud Publica, Unión Gráfica Mexico, 1969
- 17 Visscher J.T./ Paramasivam R./ Raman A./ Heijnen H.A., Slow Sand Filtration for Community Water Supply, IRC TP 24, Den Haag, 1987

# Bijlage 1. Metingen aan reservoir en pomp

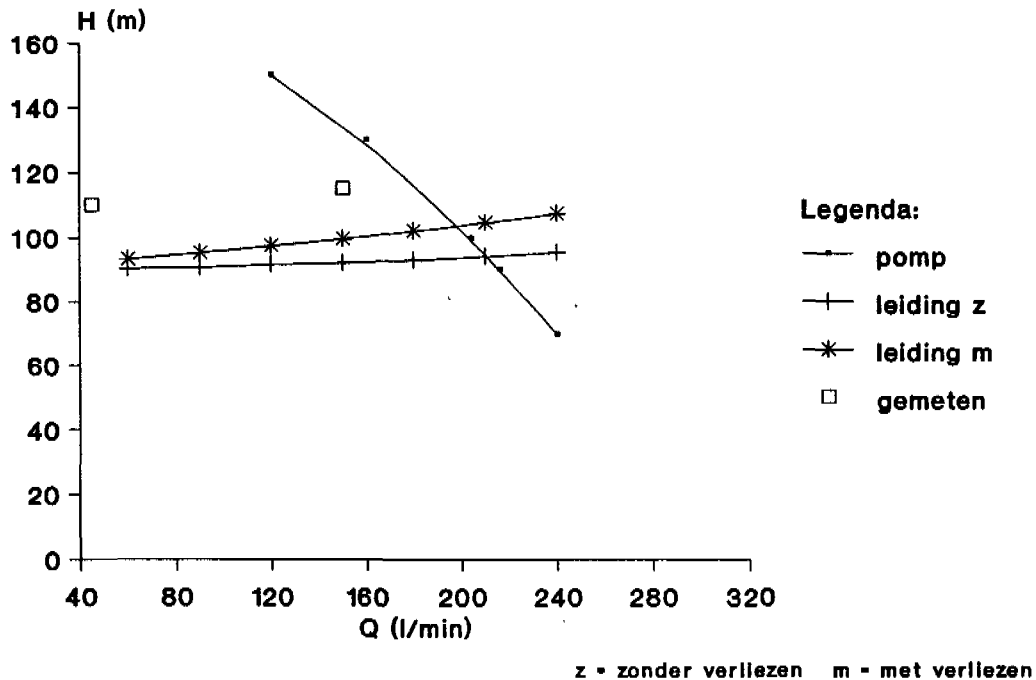
## POMPDEBIET en VERBRUIKBEPALING

DAG	BOMBA		USoelec		ESTANQUE			
	nr.	horas	hora	kWh	hora	NIVEL (m)	CONTENIDO (m <sup>3</sup> )	
WOENSDAG					16.15	1.00	49.5	
14-10-'92	1	22.05	20.10	3035.5	22.05	0.62	30.7	
		↓			00.38	0.77	38.1	
DONDERDAG	1	07.20	07.55	3106.0	07.05	1.07	53.0	
	1	09.41			09.41	0.93	46.0	
	1	11.35	12.00	3124.0	11.35	0.925	45.8	
	15-10-'92	1	15.21			14.20	0.73	36.1
		1	17.10			15.20	0.64	31.7
		1	17.10	19.55	3138.2	17.15	0.62	33.1
		1	22.12			26.15	0.56	24.8
		↓			22.10	0.37	18.3	
VRIJDAG	1	07.15	07.35	3207.2	06.21	0.80	39.6	
16-10-'92					07.06	0.795	37.4	
					11.38	0.595	27.5	
ZATERDAG	1	15.17			07.00	20.50	224.8 (overloop)	
17-10-'92			20.10	3337.0	14.55	0.33	16.3	
	2	21.55			22.00	0.23	11.4	
		↓			22.20	0.275	13.6	
ZONDAG	2	07.15	07.25	3416.0	07.05	1.20	59.4	
18-10-'92			14.50	3432.1	15.15	1.12	55.5	
			20.40	3459.6	22.05	1.015	50.2	
	2	22.35						
		↓						
MAANDAG	2	06.30	07.30	3521.7	07.05	1.62	80.2	
19-10-'92					15.00	1.095	57.3	
	2	22.40			22.35	0.66	32.7	
DINSDAG	2	06.30			07.00	1.10	54.5 (overloop)	
ZATERDAG	2	22.16	21.45	4759.5	22.15	0.94	46.5	
31-10-'92			22.27	Afsluiting Net				
ZONDAG	2	07.00	07.20-07.20	Opening Net	00.05	1.17	57.9	
01-11-'92					04.45	> 1.95	> 96.5 (overloop)	
			08.00	4834.0	07.15	1.90	94.0	



## Bijlage 2. Pomp- en leidingkarakteristiek

theoretische waarden



### Bepaling van de leidingkarakteristiek

Wrijvingsverlies Strickler:  $l \text{ (m/km)} = [v / (0.0316 * K * R^{2/3})]^2 = 2.3 * 10^5 * Q^2$

Snelheidsverlies, de maximale snelheid in de uitgang van de pomp (1.5-duims).  
Uitstroomverlies  $\partial H_u$ . Het theoretische verband luidt:

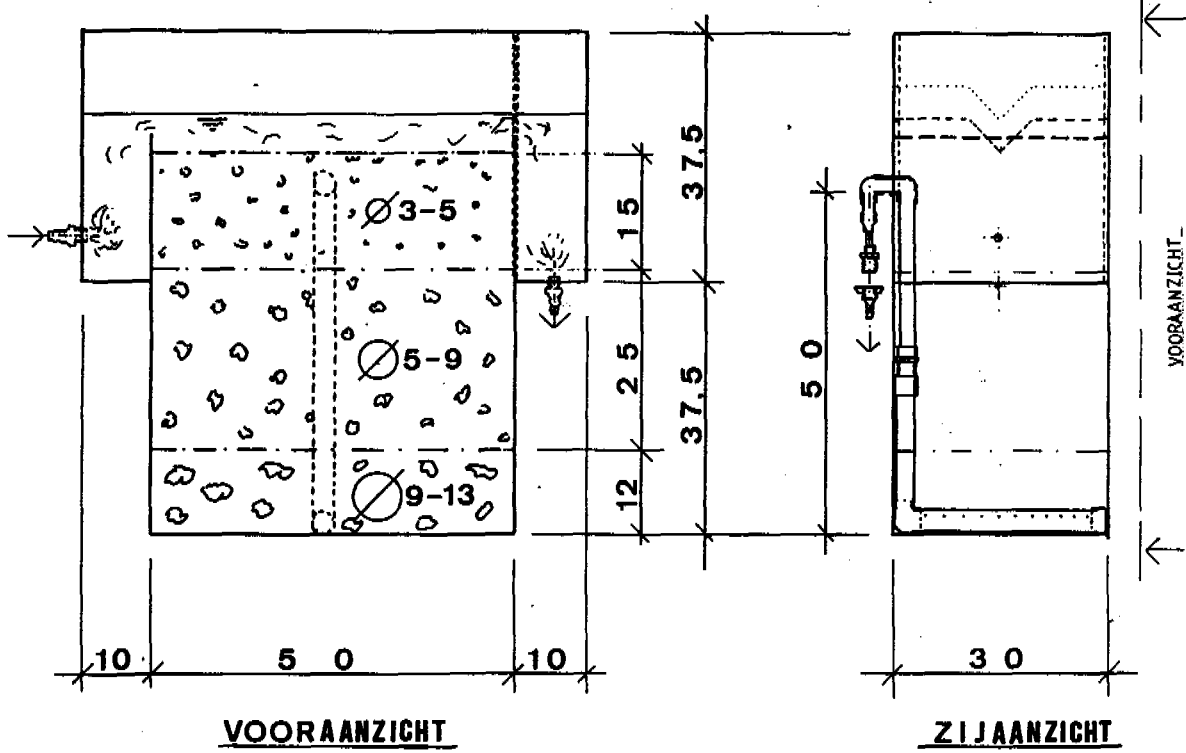
$$H = 90 + 3.4 * 10^5 * Q^2 + \partial H_u$$

### Toelichting

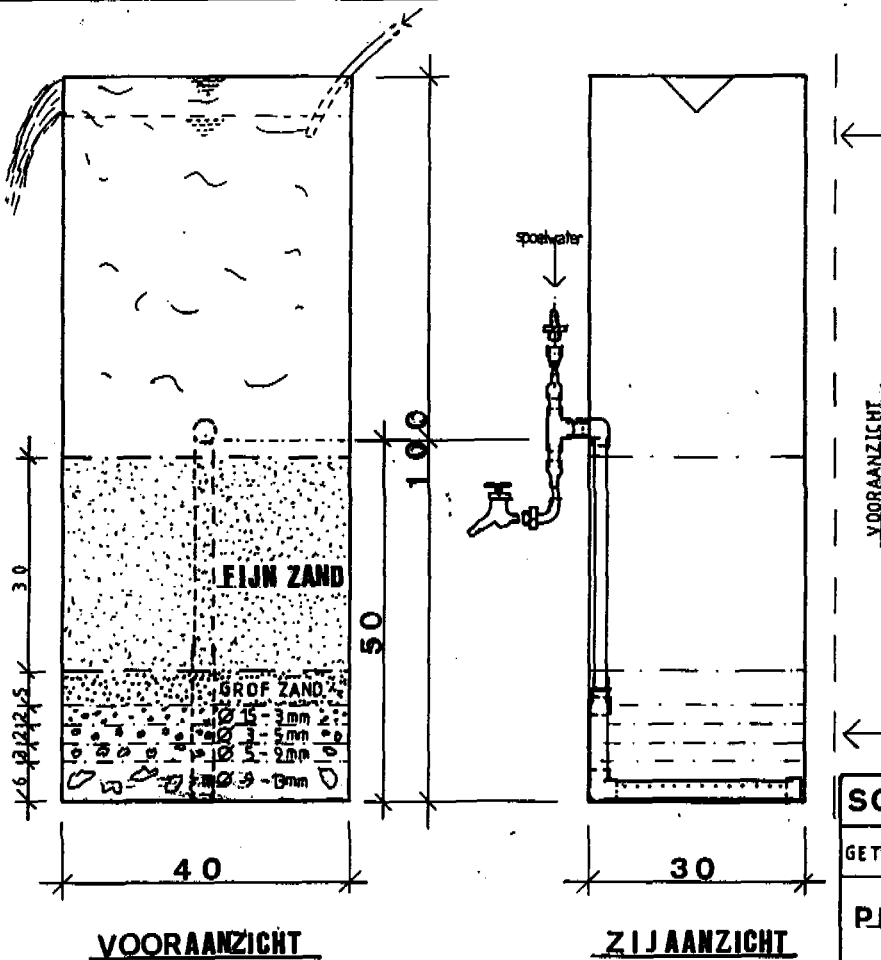
De praktische metingen wijken te zeer af van de theoretische karakteristiek. Als verklaringen hiervoor gelden lekkages, gedeeltelijke verstoppingen van terugslagkleppen en vernauwingen door boomwortels. Geconcludeerd mag worden dat de transportleiding nodig aan vernieuwing toe is. Theoretisch is een rendementsverbetering van 35% mogelijk, hetgeen de pompuren en dus de elektriciteitskosten met 25% doet dalen.

# Bijlage 3. Schaalmodellen

## DYNAMISCH FILTER

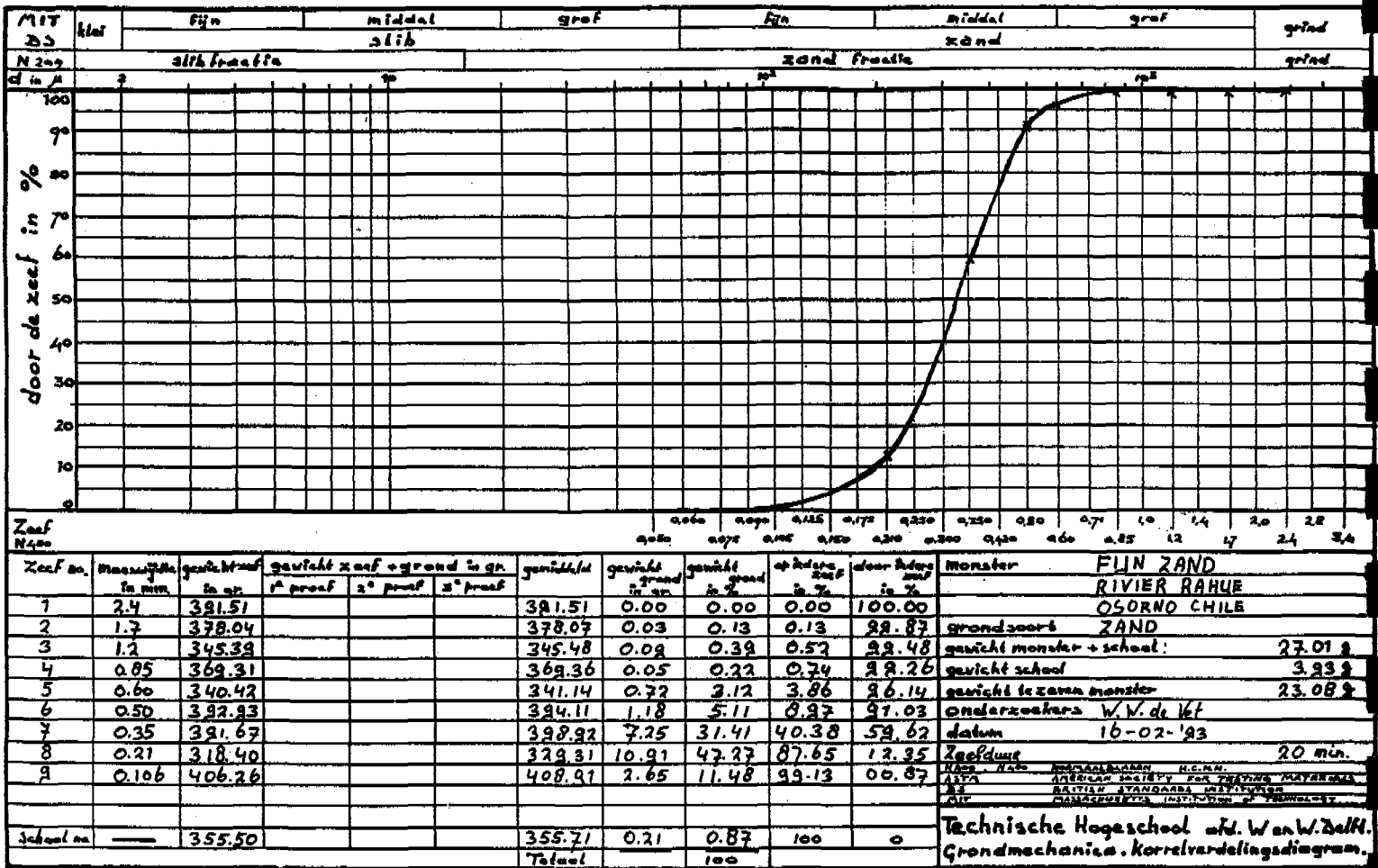


## SNELFILTER

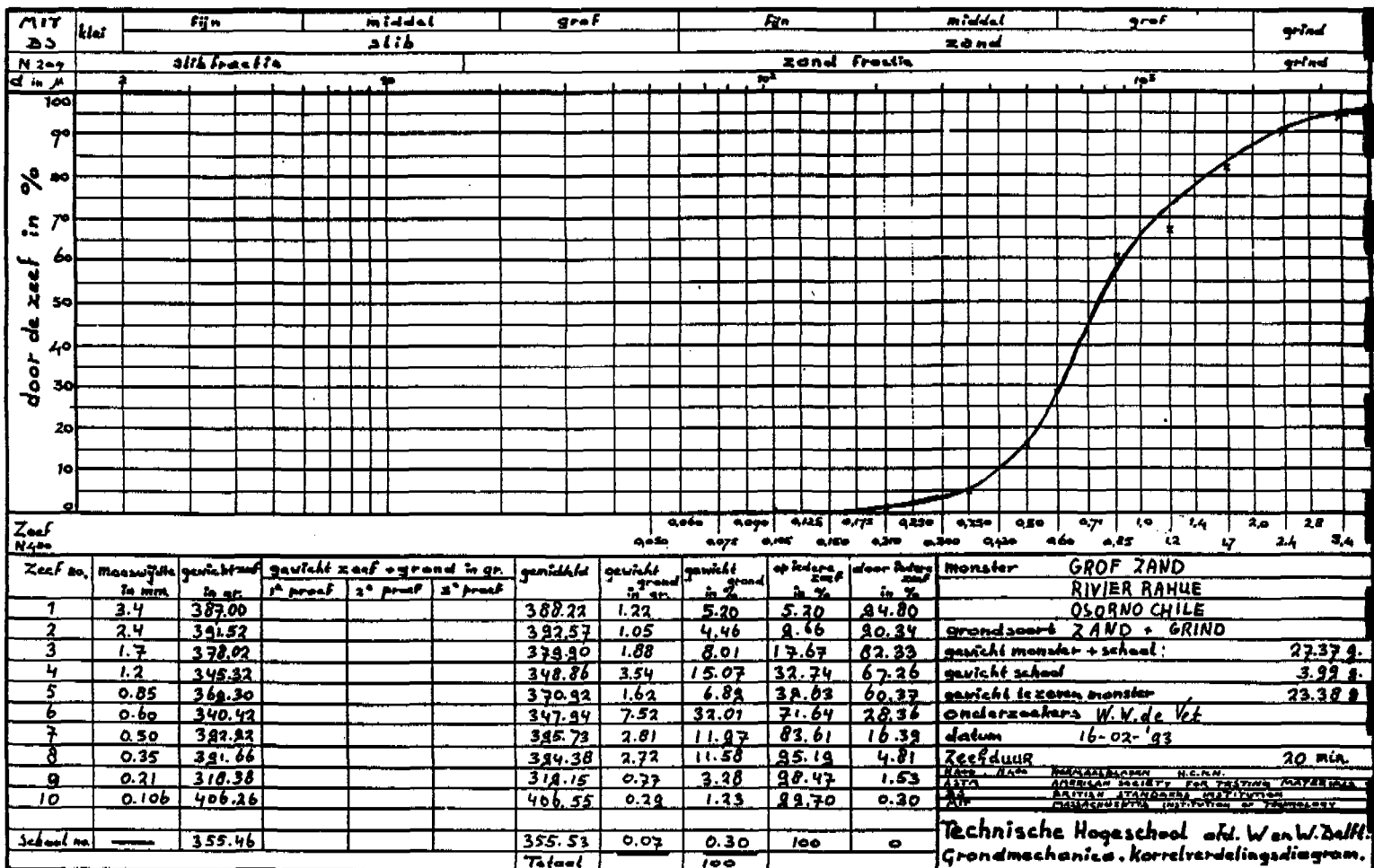


SCHAAL: 1:10	DATUM
GETEKEND: W. DE VET	17-11-92
PILOT FILTERS	
MISIÓN SAN JUAN DE LA COSTA	

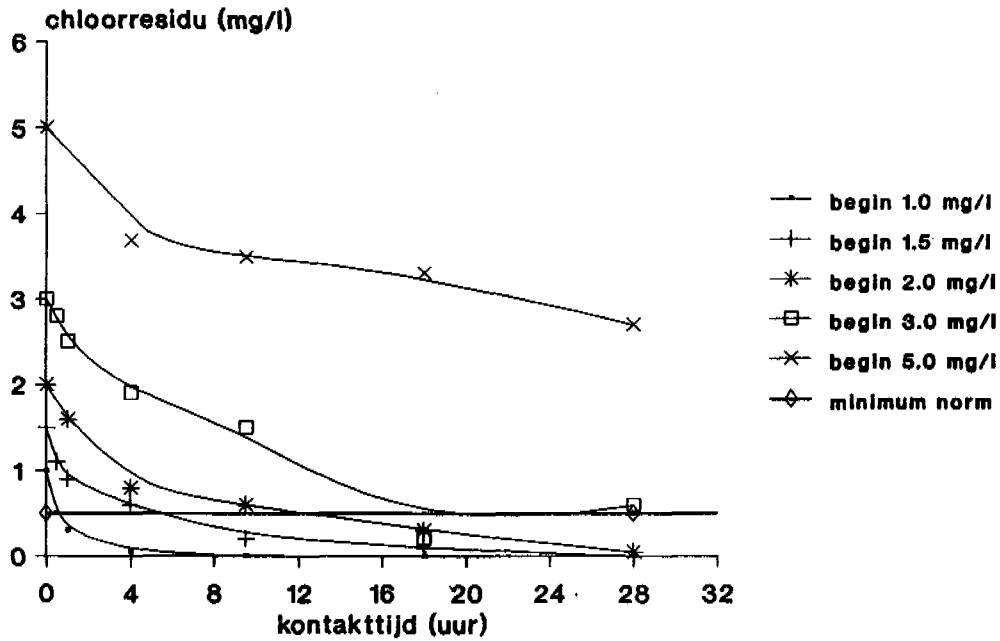
# Bijlage 4. Zeefkromme Fijn Zand



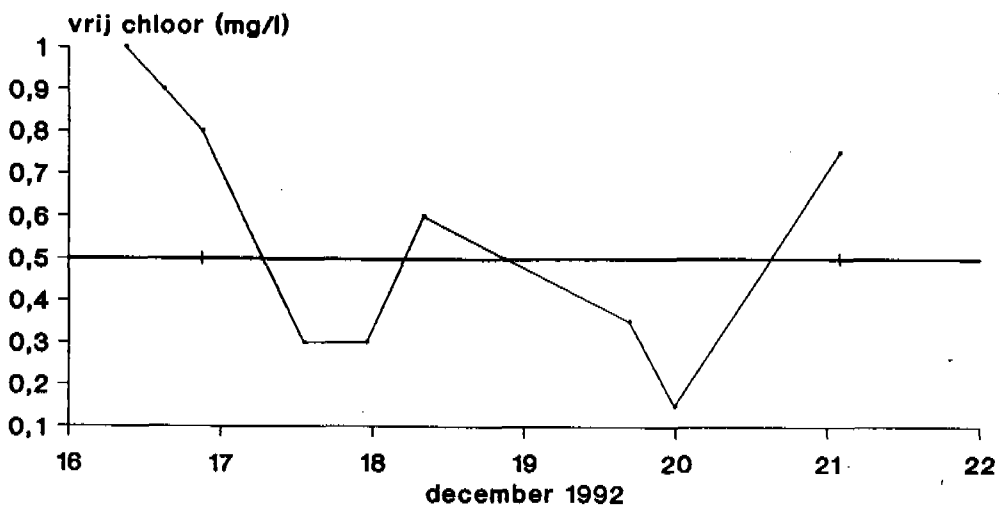
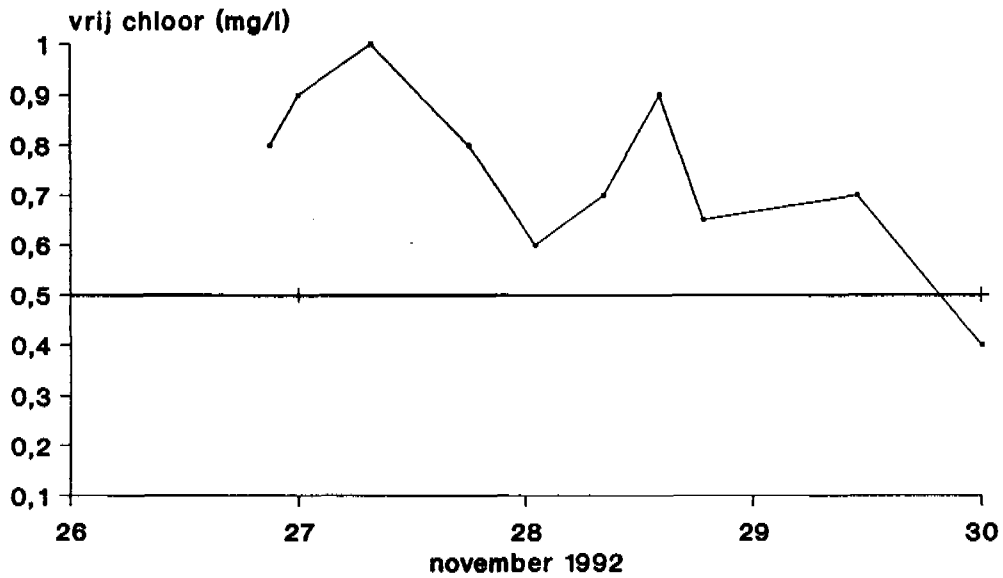
# Zeefkromme Grof Zand



## Bijlage 5. Bepaling begindosering chloor



## Bijlage 6. Noodchlorering



— residu in leidingnet    — minimum norm



De grote voorjaars schoonmaak