



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERS
INDUSTRIALS VALÈNCIA

Curs Acadèmic:

Agraïments:

Voldria agrair el recolzament que he tingut en tot moment pel meu tutor, sempre disposat a treballar conjuntament, transmetre i compartir coneixement.

Als meus pares

Resum

El sistema d'abastiment públic d'aigua de la ciutat de Batumi, Geòrgia, sofreix una rehabilitació degut l'increment de perdudes d'aigua en els últims anys. La rehabilitació consisteix en una reestructuració de la xarxa juntament amb un programa de control de pèrdues basat en la modelització de l'aigua no registrada o no facturada.

Dins de la reestructuració de la xarxa, serà un dels objectius principals d'aquest projecte el disseny de l'estació de bombeig de Mejnitskali, justificat per la falta de flux per gravetat durant certs períodes de temps. Per altra part, dins del programa de control i amb el abast del projecte, serà objectiu principal també la construcció d'un model matemàtic que modeli l'aigua no registrada o facturada.

Paraules clau: Aigua no registrada, Aigua no facturada, model matemàtic, balanç hídric, bombeig, cavitació, districtes de mesura.

Resumen

El sistema de abastecimiento público de agua de la ciudad de Batumi, Geòrgia, sufre una rehabilitación debido al incremento de pérdidas de agua en los últimos años. La rehabilitación consiste en una reestructuración de la red juntamente con un programa de control de perdidas basado en la modelización del agua no registrada o no facturada.

Dentro de la reestructuración de la red, será uno de los objetivos principales del proyecto el diseño de la estación de bombeo de Mejnitskali, justificado por la falta de flujo por gravedad durante ciertos periodos de tiempo. Por otro lado, dentro del programa de control y con el recorrido del proyecto, será objetivo principal también la construcción de un modelo matemático que modele el agua no registrada o facturada.

Palabras clave: Agua no registrada, Agua no facturada, modelo matemático, balance hídrico, bombeo, cavitación, distritos de medida.

Abstract

The Batumi's public supply system, has been undergoing a rehabilitation due to the increase of water losses in recent years. The rehabilitation consists in a restructuring of the network plus a loss control program based on the modeling of unregistered or unbilled water.

Within the restructuring of the network, one of the main objectives of the project will be the design of the Mejinitaskali pumping station, justified due to the lack of gravity flow during certain periods of time. On the other hand, within the control program, the second main objective will be the construction of a mathematical model able to model the unregistered or unbilled water.

Keywords: Non-revenue water, unbilled water, mathematical model, water balance, pumping, pump cavitation, district metering areas.

Documents inclosos en el projecte

- Memòria
- Pressupost
- Plànols

ANÀLISI DEL SECTOR SUD DE
LA XARXA D'AIGUA POTABLE
DE BATUMI (GEÒRGIA) PER A
LA GESTIÓ DE L'AIGUA NO
FACTURADA I L'OPTIMITZACIÓ
DE LES NECESSITATS DE
BOMBEIG.

memòria

ARTURO PELLICER MASERES

Índex de la memòria

I. Memòria	5
0. Antecedents	5
0.1. Localització i context històric.	5
0.2. Historia de la xarxa i la seua rehabilitació	6
1. Introducció	8
1.1. Descripció general del sistema	8
1.2. Necessitat de bombeig i descripció sector sud	10
2. Objectius.....	10
3. Balanç hídric del sistema	11
3.1. Concepte e introducció.....	11
3.2. L'IWA i el seu balanç hídric.	12
3.3. Importància d'una gestió eficient	13
3.3.1. Estratègies per a una gestió eficient.....	13
3.3.1.1. Aigua no facturada o registrada(ANR)	13
3.3.1.2. Sectorització en DMAs	15
3.3.1.3. Indicadors IWA.....	17
3.4. Càlcul de la demanda	18
3.4.1. Patró de demanda	20
4. Disseny de l'estació de bombeig.....	21
4.1. Bombeig en sistemes d'abastiment urbà	21
4.2. Primer cas de disseny, bombes submergides	23
4.3. Segon cas de disseny, bombes horitzontals.....	28
4.3.1. Càlcul de possible cavitació.....	36
5. Model matemàtic de la xarxa	40
5.1. Introducció al concepte	40
5.2. Implementació del model matemàtic	41
5.2.1. Fases de la modelització	42
5.3. Aplicació del model matemàtic per al control de perdudes.....	44
5.3.1. Afegir l'ANR al model matemàtic: càlcul de fuites utilitzant emissors	44
5.4. Simulacions del model matemàtic	46

5.4.1. Simulacions amb la planta de Chakvi en funcionament	47
5.4.2. Simulacions amb un abastiment exclusiu de bombeig	52
6. Conclusions.....	57
7. Bibliografia.....	57

Llistat de gràfics

Gràfic 1. Flux eixida Injalo	20
Gràfic 2. Patró de demanda	21
Gràfic 3. Suma corba motriu dos bombes idèntiques en paral·lel	23
Gràfic 4. Corba motriu catàleg, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm	26
Gràfic 5. Corba motriu i de rendiment, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm	27
Gràfic 6. Corba motriu catàleg, bomba horitzontal RNI 150-40 1450 rpm	31
Gràfic 7. Augment rpm, model RNI 150-40.....	32
Gràfic 8. Corba motriu catàleg, bomba horitzontal RNI 150-40 1470 rpm	33
Gràfic 9. Corba motriu i de rendiment, RNI 150-40 1470 rpm	34
Gràfic 10. Corba NPSHr catàleg, bomba horitzontal RNI 150-40 1450 rpm.....	37
Gràfic 11. Corba NPSHr model, bomba horitzontal RNI 150-40 1450 rpm	38
Gràfic 12. Variació de la corba NPSHr amb el regim de gir, N(rpm)	39
Gràfic 13. Caudal injectat zona sud, Chakvi en funcionament.....	47
Gràfic 14. Altura dipòsit Injalo, Chakvi en funcionament.	48
Gràfic 15. Nivell del tanc Injalo, cicle, Chakvi en funcionament.	49
Gràfic 16. Diferència pendent de buidat entre els dos models, Chavki en funcionament	50
Gràfic 17. Diferència de l'evolució de pressions als dos models, Chakvi en funcionament.	50
Gràfic 18. Demanda instantània, Chakvi en funcionament.....	51
Gràfic 19. Evolució del toll d'Aigua tanc Injalo, bombeig pur.	52
Gràfic 20. Caudal bombejat, bombeig pur.....	53
Gràfic 21. Hores del cicle de bombeig, bombeig pur.....	54
Gràfic 22. Evolució de pressió al nus segons estat de la xarxa (Chakvi operativa o fora de servici).	55
Gràfic 23. Evolució del rendiment de bombeig, bombeig pur.	56
Gràfic 24. Evolució de la potencia absorbida per bomba, bombeig pur.....	56

Llistat de taules

Taula 1.Entrada Injalo	18
Taula 2.Eixida Injalo	19
Taula 3.Entrada DMAs	19
Taula 4.Aigua registrada per DMA.....	19
Taula 5.Característiques per a la corba resistent del sistema, cas bombes ubmergides	24
Taula 6.Corbes H/ η -Q, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm	26
Taula 7.Coefficients corba motriu model, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm.....	27
Taula 8.Punt de funcionament real, bombes submergides SD 9-2F1 2900 rpm	28
Taula 9.Coefficients corba model rendiment, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm.....	28
Taula 10 Característiques per a la corba resistent del sistema, cas bombes horitzontals.....	29
Taula 11. Corbes H/ η -Q, RNI 150-40 1470 rpm.....	33
Taula 12. Coefficients corba motriu model, bomba horitzontal RNI 150-40 1470 rpm.....	34
Taula 13. Punt de funcionament real, bombes horitzontals RNI 150-40 1470 rpm	35
Taula 14. Coefficients corba model rendiment, bomba horitzontal RNI 150-40 1470 rpm.....	35
Taula 15.Punts gràfic NPSHr per a la obtenció de la corba model	37
Taula 16.Conclusions energètiques i de treball entre els dos casos estudiats.....	40
Taula 17.Càlcul dels fluxos dels termes d'ANR.....	44
Taula 18.Distinció flux d'ANR depenent de la pressió	45
Taula 19.Càlcul de la demanda base per al model amb ANR i el seu coeficient emissor	45
Taula 20.Diferencia de caudals en la simulació.....	48

Llistat de figures

Figura 1. Localització Batumi. Google imatges.....	5
Figura 2. Microestació de Bombeig. Font TFM Jose Francisco Pons Ausina	7
Figura 3. Àrees rehabilitació. Font TFM Jose Francisco Pons Ausina	8
Figura 4. Actual sistema d'abastament.....	9
Figura 5. Balanç hídric literatura tècnica	11
Figura 6. Balanç hídric IWA	12
Figura 7. Dependència dels termes de l'ANR	14
Figura 8. ANR distribució (AEAS)	15
Figura 9. Sectorització en DMAS, Batumi. Font TFM Jose Fco Pons Ausina.....	16
Figura 10. Sectorització en àrees de facturació, sector sud.....	17
Figura 11. Indicadors IWA.	18
Figura 12. Corba motriu, associació paral·lel	22
Figura 13. Opcions catàleg bombes submergides	24
Figura 14. Croquis bomba submergida. BIPS	25
Figura 15. Bomba en aspiració. Google imatges	29
Figura 16. Opcions catàleg bombes horitzontals.....	30
Figura 17. Croquis bomba horitzontal. BIPS.....	30
Figura 18. Augment rpm, model RNI 150-40.....	32
Figura 19. Diagrama fases de la modelització,1.	42
Figura 20. Diagrama fases de la modelització,2.	43

I. Memòria

0. Antecedents

0.1. Localització i context històric.

La xarxa hidràulica d'estudi es troba a la ciutat de Batumi, Geòrgia. És la tercera ciutat més gran de Geòrgia, situada en la costa oriental del mar Negre, amb una població de 190.000 habitants. És la capital de Adjària, una república autònoma en el interior de Geòrgia. Serveix com un important port, centre comercial, estació ferroviària, balneari i base militar. A 2010, la construcció de nous edificis de gran altura i la renovació del casc antic, renoven la imatge de la ciutat.

Climàticament, està situada en la perifèria septentrional del Àsia subtropical. Degut a la seua localització geogràfica, el clima tropical i la seua proximitat a la frontera d'un país no culturalment rus com és Turquia, fa que gran part de l'economia local giri al voltant del turisme. Esta característica prové de que durant l'era soviètica, va ser un dels destins estivals preferits per l'elit russa.

Les indústries de la ciutat inclouen la construcció naval, indústria d'aliments i la manufactura liviana.



Figura 1. Localització Batumi. Google Imatges

Al termini de la Primera Guerra Mundial, amb el desmembrament del Imperi rus a causa de la revolució russa, Batumi, com a part de la primera República de Geòrgia, fou independent entre 1918 i 1921. El Exèrcit Roig va ocupar el país, i la ciutat va caure baix domini soviètic, adquirint un renovat valor estratègic, tant per la seua localització, l'instal·lació d'una base militar, com pels seus ports petrolers.

Mitjançant el tractat entre Rússia i Turquia del 16 de març de 1921, les províncies de Kars i Ardahan tornaren a la nova República de Turquia, però Batumi es va quedar baix el control de la nova Unió Soviètica. Al accedir al poder els bolcheviques en Moscú, el 16 de juny de 1921 es va convertir en la capital de la República Socialista Soviètica Autònoma de Adjària dins de la R.S.S. de Geòrgia.

El 9 d'abril de 1991, poc abans del col·lapse de la Unió Soviètica, Batumi, en el marc de la segona República de Geòrgia –recuperà la independència, com a la república de Adjària, al interior de Geòrgia.

0.2. Història de la xarxa i la seua rehabilitació

Des de la dècada de 1800 l'explotació de la xarxa estava en mans de l'empresa pública "Batumi Tskali. Als últims anys aquesta experimentava pèrdues d'aigua del voltant del 85%, a causa del deteriorament i la falta de manteniment durant l'era soviètica.

La disposició general del sistema d'abastament era el resultat d'un desenvolupament amb canvis de criteri en les decisions, canvis d'estratègia entre abastament per gravetat i bombeig de pous. Aquesta xarxa tenia una longitud total de 300km segons fonts oficials. No obstant finalment es trobà la longitud total del sistema complet amb 201 km incloent canonades de transmissió principal, i una longitud de 153 km sense incloure-les.

Crida l'atenció el fet de que es trobaren instal·lades a la xarxa 215 microestacions de bombeig oficials. El propòsit era incrementar la pressió de servici. Batumi Tskali era responsable del funcionament, manteniment i pagava les factures de la llum d'aquestes microestacions de bombeig. Generalment estes bombes es trobaven en unes pobres condicions i sotmeses a reparacions freqüents. Treballaven unes 12h diàries, al matí entre les 8 i les 12 hores, i per la vesprada nit entre les 15 i 23h. Estes bombes estaven connectades directament al sistema utilitzant la xarxa com un tanc de succió i directament subministraven a les instal·lacions domèstiques. Rarament es tenien tancs de sobrepressió ni ningun tipus de control instal·lat.



Figura 2. Microestació de Bombeig. Font TFM Jose Francisco Pons Ausina

Serà causa de estudi i disseny ,com veurem mes avant, el bombeig contra dipòsit.

Les instal·lacions domèstiques en blocs d'apartaments seguien els estàndards del disseny Rus. Cada apartament disposava de quatre canonades entrant que subministraven per separat la cuina, el retret, i els banys. Era estrany que les instal·lacions disposaren d'anells horitzontals. Aquestes instal·lacions eren de canonades d'acer. Les aixetes d'ús domèstic i equipament sanitari es trobaven normalment en pobres condicions i amb fuites, no tancant adequadament i alguns models de retrets antics necessitaven de varies descarregues. Tot açò contribuïa al alt consum específic d'aigua.

A 2006 l'empresa publica "Batumi Tskali" es dissol per formar una nova empresa municipal d'aigua, amb el suport de la consultora alemanya MACS Energy and Water amb fons del Banc Alemany de Desenvolupament (KfW). S'optà per implementar un nou programa de rehabilitació i redissenyar l'antic sistema d'abastament.

El programa de rehabilitació de la infraestructura municipal de Batumi tenia com objectiu aconseguir un abastament d'aigua estable i orientat a la demanda. Així com l'eliminació i el tractament ecològic de les aigües residuals.

El suport tècnic que es va donar es centra en la implementació d'un programa de control de perdudes. En este aspecte, una de les idees principals del TFG es exposar el procediment i metodologia seguida per a construir un model matemàtic del sistema que ens permet el control de perdudes d'aigua.

Una de les fases del programa fou l'adoctrinament del personal de l'empresa d'Aigües Municipals en la gestió de la transformació i la comercialització.

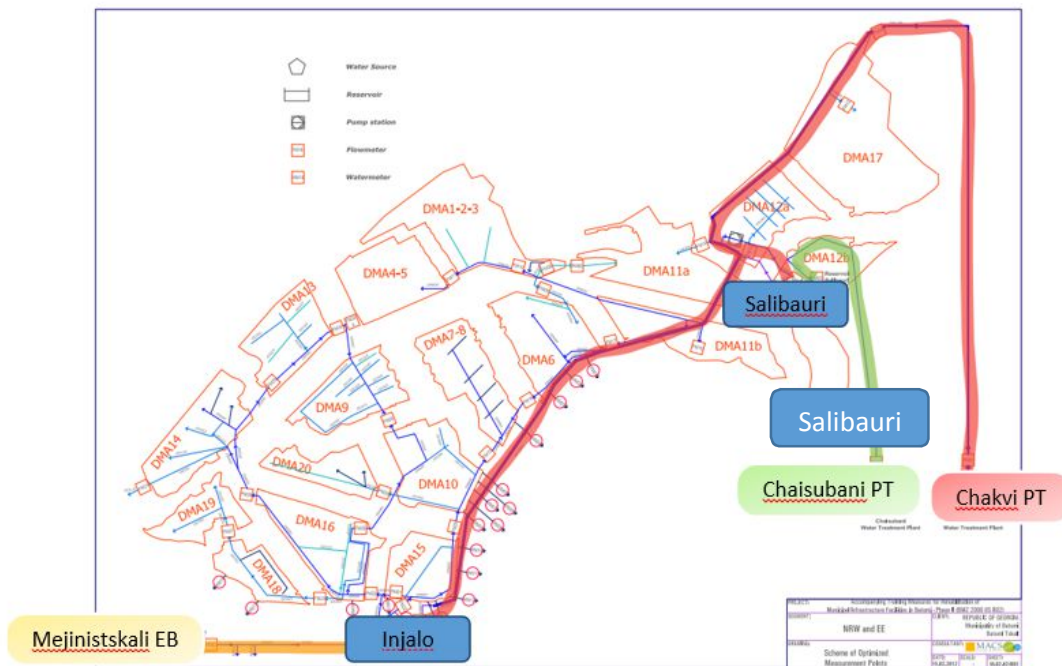


Figura 4. Actual sistema d'abastament

- Planta de tractament Chakvi: agafa aigua del riu Chakvi i alimenta el sistema per gravetat. Des d'aquest es possible alimentar els dos dipòsits mitjançant la canonada principal, Chakvi, que travessa la ciutat.
- Planta de tractament Chaisubani: la planta agafa aigua del riu Chaisubani alimentant el sistema per gravetat, omplint normalment el dipòsit de Salibauri.
- Estació de bombeig Mejinitskali: està situada en la part inferior de la ciutat. Bombeja aigua de diferents pous. Alimenta el dipòsit de Injalo. Serà cas de estudi dissenyar aquest bombeig.
- Dipòsit de Salibauri: està alimentat tant per la planta de Chakvi com de Chaisubani .
- Dipòsit de Injalo: està alimentat tant per la planta de Chakvi com de l'estació de Mejinitskali.

El sistema està alimentat per tres punts. Ambdós dipòsits es troben situats en puigs que tenen la mateixa altura. Al tractar-se de una ciutat bastant plana, tota àrea de la xarxa està sotmesa sota la mateixa pressió.

1.2. Necessitat de bombeig i descripció sector sud

L'abastament d'aigua potable a pressió adequada és necessari durant tot l'any. Aquest abastament depèn en gran mesura de les plantes de tractament que aporten aigua per gravetat a la xarxa. No obstant, uns 30 dies al any, aquesta aportació es veu interrompuda. Açò es degut al poc cabal que trafeguen els rius a l'estiu o a períodes de turmenta que ocasionen terbolesa en l'Aigua. Doncs necessitem una aportació extra al limitat flux per gravetat, aconseguit per l'estació de bombeig de Mejinitskali.

Durant condicions normals proporcionarem aigua per gravetat a tots els consumidors de Batumi des de la Chakvi PT a través dels dipòsits de Injalo i Salibauri. En períodes en que Chakvi PT estigui fora de servei o no treballi a la seua màxima capacitat, ja sigui a causa de turmenta o poc cabal del riu, tindrem una combinació de subministrament per gravetat de Chaisubani i el bombeig de Mejinitskali.

El dipòsit d'Injalo és l'encarregat d'abastir en gran mesura la zona sud del sistema. Aquest dipòsit té dues entrades de flux, des de l'estació de bombeig de Mejinitskali i la planta de tractament de Chakvi. És per aquest motiu que per tractar de dissenyar el bombeig de Mejinitskali ens centrarem en la zona sud del sistema. Per fer aquesta acció possible aïllarem la zona sud de la resta del sistema.

2.Objectius

Una vegada tenim aïllada la zona sud de la resta de la xarxa, un dels nostres objectius serà:

-Anàlisi de l'aigua no registrada (ANR) del sector sud (ferramenta per a la gestió de pèrdues).

També serà la nostra intenció i objectiu:

_ Disseny del bombeig contra dipòsit des de Mejinitskali fins el tanc d'Injalo.

Ambdós propòsits estan relacionats, de forma que una reducció controlada de l'aigua no registrada (que modela les pèrdues) disminueix la quantitat de flux extra a aportar al sistema mitjançant el bombeig, amb el conseqüent abaratiment en els costos d'abastament.

3. Balanç hídric del sistema

3.1. Concepte e introducció

En qualsevol abastament d'aigua es deu considerar el balanç existent entre el volum d'aigua injectada a la xarxa i l'ús que es fa d'aquesta. Per fer açò possible és necessari saber de manera precisa l'aigua que introduïm al sistema i el destí final d'aquesta. El flux injectat a la xarxa deu ser mesurat, ja que és essencial per al disseny i el diagnòstic. Amés, el coneixement del mínim flux consumit per la nit permet una estimació de les fuites.

Un balanç que contempla sols l'aigua consumida i les fuites, deixant de banda tots els possibles termes potencials, és tant simple com insuficient.

El següent diagrama inclou els termes potencials segons la literatura tècnica:

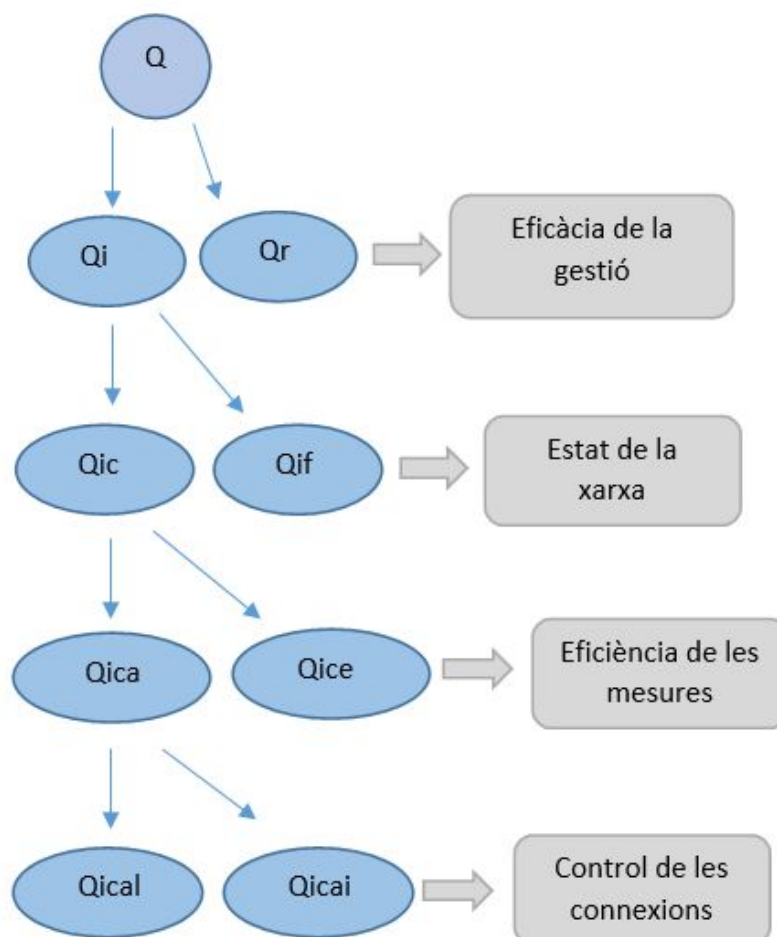


Figura 5. Balanç hídric literatura tècnica

Sobre el diagrama jerarquitzat trobem distints nivells. El primer d'ells és el caudal total injectat al sistema "Q" mesurat als punts d'entrada de flux a la xarxa.

Al nivell següent es trobem al criteri que contempla l'eficàcia de la gestió. Distingim entre el caudal registrat "Qr", mesurat pels comptadors dels abonats al sistema, i caudal incontrolat "Qi", és a dir sense coneixement del seu us o destí.

Al tercer nivell trobem el criteri que contempla l'estat de la xarxa i les escomeses. Distingim entre el caudal que en cara que incontrolat es consumit per els usuaris "Qic", i el volum incontrolat perdut en fuites "Qif".

Al quart nivell trobem l'eficiència de les mesures."Qica" representa el caudal incontrolat, consumit i no mesurat per l'absència de comptadors. Per altra part "Qice" caudal incontrolat, consumit i no registrat per culpa d'un error de mesura en el comptador.

Seguidament tenim un quint nivell al qual contemplem el control de les escomeses. Distingim entre el caudal incontrolat, consumit i no mesurat per l'absència de comptadors en escomeses autoritzades legalment, "Qical. Per altra part "Qicai" caudal incontrolat consumit per escomeses il·legals.

3.2. L'IWA i el seu balanç hídric.

L'IWA (International Water Association) és un òrgan, format per professionals, establert en 130 països, que treballa en distintes àrees que contribueixen en la progressió de la gestió de l'aigua en tot el món. Per realitzar una auditoria completa l'IWA proposa el següent balanç d'aigua:

Volum injectat al sistema	Consum autoritzat	Consum autoritzat facturat	Consum facturat mesurat	Aigua Facturada
			Consum facturat no-mesurat	
		Consum autoritzat no facturat	Consum no-facturat mesurat	Aigua no Facturada
			Consum no-facturat no-mesurat	
	Pèrdues d'aigua	Pèrdues aparents	Consum no autoritzat	
			Imprecisions de mesura	
			Error sistemàtics en el maneig de dades	
		Pèrdues reals	Fuites en canonades	
			Fuites i sobreeiximents ens <u>deposits</u>	
			Fuites en acometides fins el punt de mesura	

Figura 6. Balanç hídric IWA

El balanç hídric de l'IWA busca quantificar els volums totals injectats a la xarxa, considerant tant els consums autoritzats facturats, com aquells que no ho són, els volums mesurats i els no mesurats. Doncs, a falta de comptadors, el balanç contindrà estimacions de l'aigua consumida. També es podrà generalitzar que tots els càlculs són aproximats, tenint doncs un grau d'incertesa (Lambert y Hirner, 2000; Mckenzei y Lambert, 2010). Aleshores els resultats del balanç deuen ser acompanyats del grau de fiabilitat.

En l'aspecte més ampli el balanç hídric contempla els termes corresponents a volum captat, volum produït, volum d'aigua importada, i volum d'aigua exportada. No obstant, aquests termes no foren inclosos dins de la terminologia del balanç hídric estandarditzat proposat per l'IWA, per no ser aplicables a tots els abastiments.

3.3. Importància d'una gestió eficient

L'abastament d'aigua és un factor important per al desenvolupament de les àrees urbanes. Està considerada com un dret social, un bé confós com il·limitat però que no ho és.

La demanda creix a un ritme insostenible mentre que els recursos disminueixen i empitjoren en quant a qualitat. Les restriccions socials i ambientals són cada vegada més estrictes.

Doncs els sistemes d'abastament deuen ajustar-se a les exigències de la societat, treballant en reduïts marges d'una manera eficient i respectuosa amb el medi.

Cada vegada més la societat té en ment la importància de fer un ús respectable de l'Aigua. No obstant en zones de desenvolupament, aquest pensament no està tant enraigat; es troben connexions il·legals a la xarxa, poca responsabilitat en l'ús de l'aigua, etc. Front aquesta situació no és suficient sols solucions ingenierils, si no també accions socioculturals.

3.3.1. Estratègies per a una gestió eficient

3.3.1.1. Aigua no facturada o registrada (ANR)

Un dels termes que apareix al balanç hídric és el nomenat ANR (aigua no registrada). Aquest terme simbolitza la diferència entre l'aigua injectada al sistema i el volum d'aigua sobre el qual tenim control,

ja fora amb mesura de caudalimetres o una aproximació a un consum amb una tarifa fixa. També pot ser definida com la suma del consum autoritzat no facturat i les pèrdues d'aigua.

Part de l'aigua no registrada segueix el mateix patró que la corba de demanda (consum) i la resta és funció de la pressió en la xarxa (fuites):

Volum injectat al sistema	Consum autoritzat	Consum autoritzat facturat	Consum facturat mesurat	Aigua Facturada		
			Consum facturat no-mesurat			
		Consum autoritzat no facturat	Consum no-facturat mesurat	Corba de demanda		
			Consum no-facturat no-mesurat			
	Pèrdues d'aigua	Pèrdues aparents		Consum no autoritzat	Aigua no Facturada	
				Imprecisions de mesura		
				Error sistemàtics en el maneig de dades		
		Pèrdues reals		Fuites en canonades		Funció de la pressió
				Fuites i sobreiximents ens <u>deposits</u>		
				Fuites en acometides fins el punt de mesura		

Figura 7. Dependència dels termes de l'ANR

El valor o quantitat de la ANR és una mesura de l'eficiència del sistema d'abastament, i valors alts d'aquesta significa una mala gestió i unes pobres condicions físiques del sistema.

Per tindre una estimació sobre com es reparteix aquest volum d'aigua no registrada entre els distints termes que el componen, podem recórrer a les conclusions que aplega l'Associació Espanyola d'Abastiments i Sanejaments (AEAS).

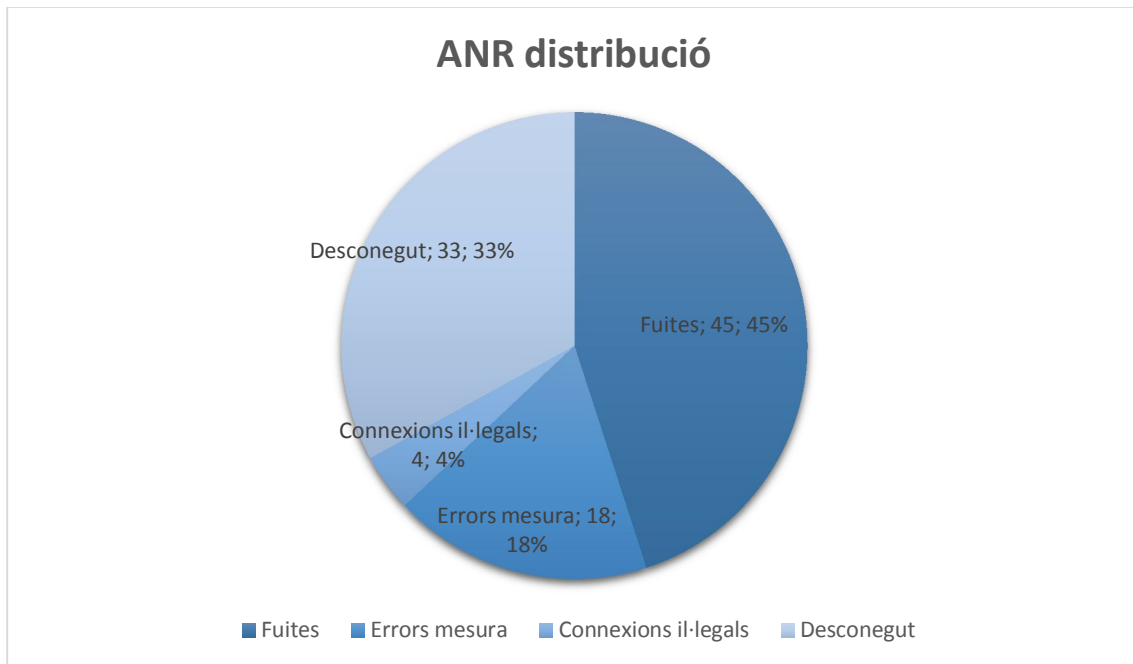


Figura 8. ANR distribució (AEAS)

-Fuites = 45%

-Errors de mesura= 18%

-Connexions il·legals= 4%

-Altres/Desconegut= 33% -----Consum autoritzat no facturat (Com podria ser el consum utilitzat ens institucions públiques etc.)

Podem fer aquesta estimació, plantejada sobre sistemes d'abastament moderns, ja que la nostra xarxa ha sigut rehabilitada fa poc.

3.3.1.2. Sectorització en DMAs

Per facilitar aquesta tasca e implementar correctament el programa de control de perdudes d'aigua basat en la metodologia IWA, la xarxa es divideix en Districtes de Mesura (DMAs-District Metering Areas). Cada DMA es monitoritzat a traves de mesures mensuals de entrades i eixides de cabal i comparat amb l'aigua facturada per tal de calcular la quantitat d'ANR en eixe DMA.

La recopilació d'aquesta informació ens permetrà fixar objectius, com podrien ser inspeccions detallades de la zona, de forma que podríem identificar fuites reals i diferenciar-les de les pèrdues aparents (connexions il·legals, mesures errònies i errors de lectura de caudalímetres).

Originalment el sistema estava dividit en tant sols quatre àrees d'abastament (DMAs). Cada DMA d'aquests, abraçava aproximadament 10.000 escomeses . Un DMA òptim deuria tindre aproximadament 3000 connexions segons la literatura tècnica.

Seguint aquesta línia, l'estructura en DMAs va ser reajustada.

La millor opció fou dividir Batumi seguint l'estructura existent segons àrees de facturació .No tenia sentit estructurar-la segons àrees de diferent pressió, ja que els dos dipòsits es troben a mateixa cota, amb la qual cosa tota la xarxa es troba sota la mateixa pressió.

La xarxa està dividida en 18 DMAs, però ens interessarem per els del sector sud per complir els nostres objectius. A continuació es mostra els DMAs que formen part del sector sud juntament amb les àrees de facturació en una taula. També es mostra una figura de forma esquemàtica de la divisió de la xarxa en DMAs, encara que als plànols hi esta amb detall la zona sud.

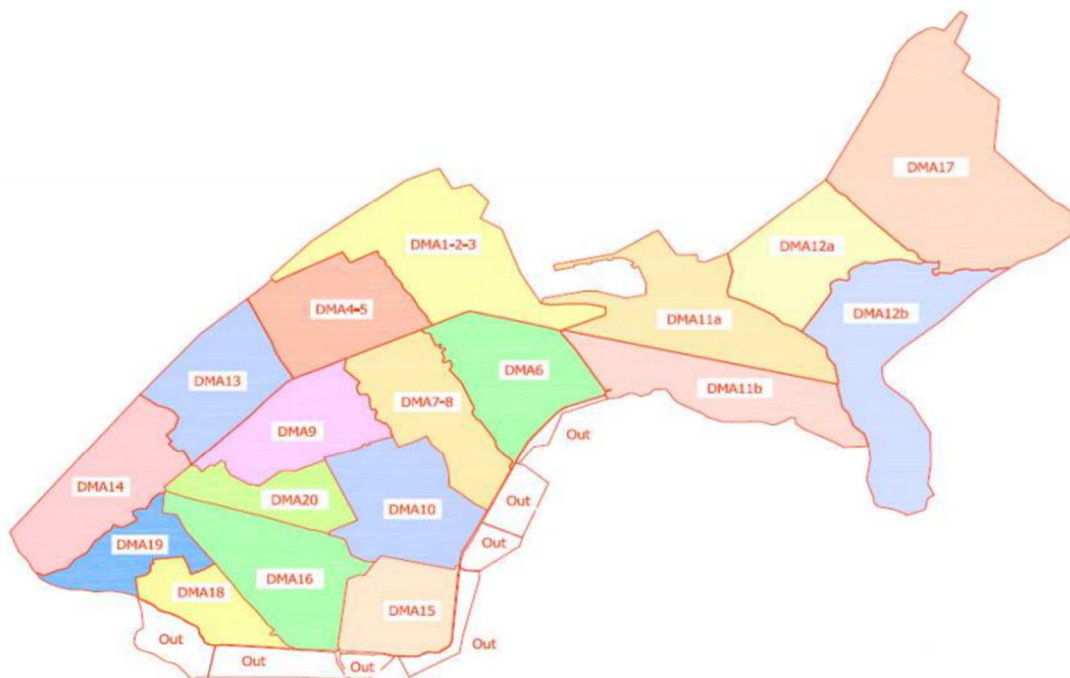


Figura 9.Sectorització en DMAs, Batumi. Font TFM Jose Francisco Pons Ausina

Àrees de facturació (AF)	DMA
AF 7	DMA 7-8
AF 8	
AF 16	DMA 16
	DMA 18
	DMA 19
	DMA 20
AF 14	DMA 14
AF 15	DMA 15
AF 9	DMA 9
AF 10	DMA 10
AF 13	DMA 13

Figura 10. Sectorització en àrees de facturació, sector sud.

La implementació dels DMAs intenta deixar sols un punt per on abastir cada DMA evitant a la vegada creuar canonades principals. Així, al tractar més avant, la zona sud com si tinguéssim un sol DMA, al model matemàtic deixarem l'entrada de flux cap a la zona sud provenint del depòsit d'Injalo

3.3.1.3. Indicadors IWA

D'aquesta forma i front a la situació en que es trobava el sistema (recordem pèrdues del 85%), l'equip encarregat de la rehabilitació va seguir l'estratègia facilitada per l'IWA (International Water Association).

L'IWA permet calcular una sèrie d'indicadors. Aquest indicadors ens mostren, per comparació amb un altra xarxa, si la nostra es competitiva.

Una vegada obtinguts els indicadors, l'equip fixà uns objectius i plantejaren estratègies.

Com a exemple:

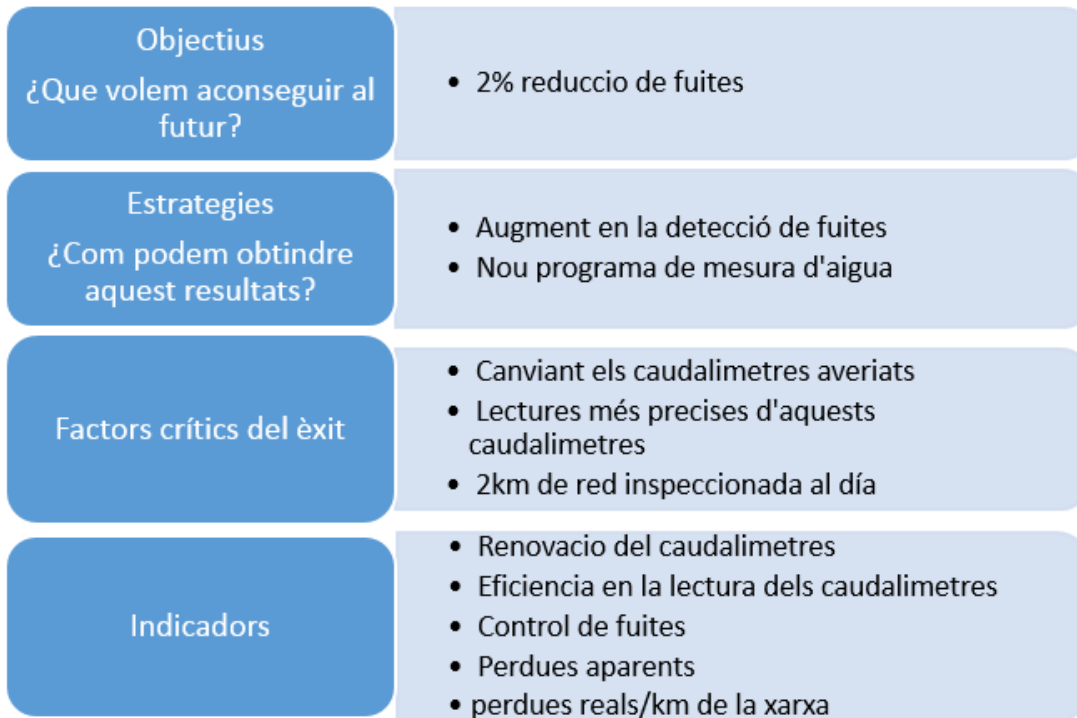


Figura 11. Indicadors IWA.

Mentre el cost que suposa sanejar un problema al sistema sigui inferior al cost existent pel fet de tindre el problema vigent, interessarà continuar amb les accions per resoldre el problema.

3.4. Càlcul de la demanda

Una vegada tenim la xarxa dividida en districtes de mesura, i coneguem els valors dels caudalimetres a la entrada i eixida de cadascun d'ells procedim al càlcul de la demanda. També a partir del volum registrat per DMA podríem calcular la quantitat d'aigua no registrada per DMA, sent aquesta última la resta entre el valor de demanda menys el volum registrat. Doncs:

De mitja anual el flux que entra al dipòsit d'Injalo per mes es reparteix de la següent forma:

	<i>Entrada Injalo</i>	
	<i>Chakvi</i>	<i>Mejinitskali</i>
<i>Mitja</i>	V (m3)	V (m3)
<i>Anual</i>	306.983,00	318.747,00

Taula 1. Entrada Injalo.

Aquests valors són mesurats a la entrada del dipòsit, de forma que si obviem les pèrdues en aquest, la quantitat de flux que ix d'Injalo per abastir la demanda de la zona sud serà la suma dels dos volums anteriors.

<i>Injalo Eixida</i>
V (m3)
625.730,00

Taula 2.Eixida Injalo.

Aquest volum d'aigua es reparteix entre els distints DMAs. El valor representat com a entrada és el resultat de la resta entre el valor del caudalímetre a la entrada del DMA menys el valor del caudalímetre a l'eixida d'aquest, de forma que l'entrada simbolitza la quantitat de volum que es consumit pel DMA. Doncs:

<i>Entrada DMAs</i>									
<i>DMA 7-8</i>	<i>DMA 9</i>	<i>DMA 10</i>	<i>DMA 13</i>	<i>DMA 14</i>	<i>DMA 15</i>	<i>DMA 16</i>	<i>DMA 18</i>	<i>DMA 19</i>	<i>DMA 20</i>
V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)
146.817,87	82.812,32	86.282,74	47.843,22	12.688,16	51.675,90	122.908,61	18.445,96	21.248,96	35.006,26

Taula 3.Entrada DMAs.

Per altra part, mitjançant les factures de consum sabem el volum d'aigua registrada per DMA:

<i>Aigua registrada</i>									
<i>DMA 7-8</i>	<i>DMA 9</i>	<i>DMA 10</i>	<i>DMA 13</i>	<i>DMA 14</i>	<i>DMA 15</i>	<i>DMA 16</i>	<i>DMA 18</i>	<i>DMA 19</i>	<i>DMA 20</i>
V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)	V (m3)
105.431,62	65.484,26	62.986,40	34.447,12	8.627,95	32.039,06	83.577,86	13.096,63	14.661,78	23.454,19

Taula 4.Aigua registrada per DMA.

Com hem comentat abans el càlcul de l'ANR per DMA seria la resta d'aquestes dos últimes taules. Per simplificar el procés, tractarem la zona sud com un tot, de forma que sumarem la demanda total i l'aigua registrada total, suma de tots els DMAs. És el mateix procés repetitiu si ens interessés calcular l'ANR per DMA.

$$625.730,00 \text{ m3/mes} = 241,4082 \text{ L/s}$$

Aquesta serà la demanda de la zona sud.

Si sumem la quantitat de volum registrat per mes ens ix un valor de:

$443.806,86 \text{ m}^3/\text{any} = 171,22 \text{ L/s}$

l'ANR serà : $70,1864 \text{ l/s}$.

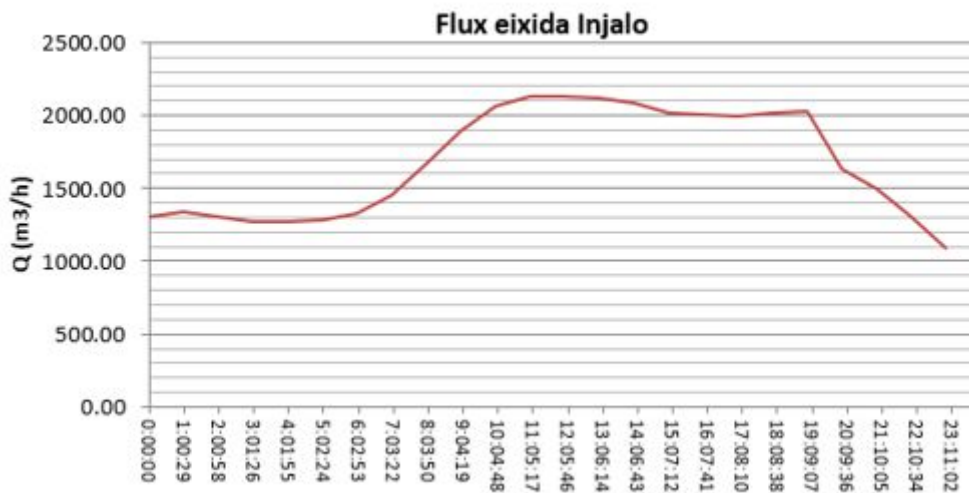
Per obtenir la demanda base per node sols quedarà dividir la demanda pel numero de nodes a la zona sud (suma dels nodes de cada DMA). A la zona sud tenim un total de 474 nodes de consum, doncs:

$\text{Demanda base} = 241,4082/474 = 0,5093 \text{ L/s}$

3.4.1. Patró de demanda

La dada d'entrada és el volum total injectat al sector sud. Aquest volum l'hem repartit entre els nodes per traure una demanda base. Aquest valor representa un consum lineal estàtic en el temps. Per anar més enllà i obtenir un model quasi-estàtic de la xarxa, necessitem els valors instantanis, amb un mostreig interesant, en cada node de consum, que lògicament serà variable al llarg del dia.

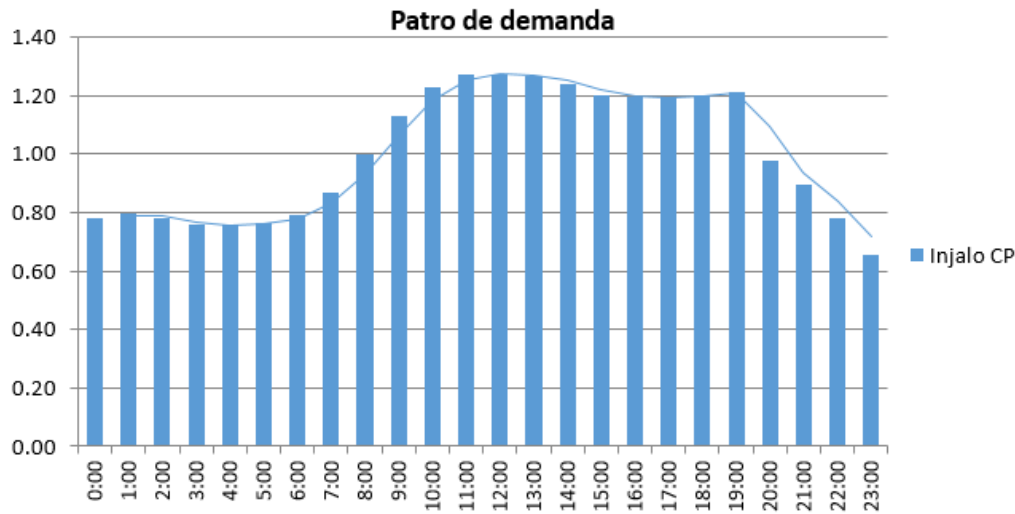
Si representem l'espectre de consum al llarg del dia:



Gràfic 1. Flux eixida Injalo.

Podem traure el valor mig d'aquest consum al llarg del dia (Q_{ad}). La relació entre aquest valor mig i el valor instantani del consum en cada instant del dia, $Q(t)$, ens proporciona un coeficient de modulació:

$$c(t) = Q(t)/Q_{ad}$$



Gràfic 2. Patró de demanda

Aquesta corba de modulació pot canviar dependent del dia de la setmana, com també ho fa al llarg del any.

Quan més extensa sigui la infraestructura en caudalimetres, obtindrem una informació més amplia, així com major sigui la precisió en les dades més interessants el resultats. El anàlisi d'aquesta informació és indispensable per al model matemàtic.

Inicialment l'equip de treball encarregat en la gestió degué de suposar un patró de demanda comú per a una primera simulació, i amb la recol·lecta de informació anar canviant aquestes corbes per a posterior simulacions, calibrant el sistema.

4. Disseny de l'estació de bombeig

4.1. Bombeig en sistemes d'abastiment urbà

Per dissenyar el bombeig ens fixarem en l'estat més desfavorable que podem tindre a la xarxa. Com hem nomenat abans és possible que durant èpoques del any la planta de tractament de Chakvi no aporti flux al sistema o que el flux aportat sigui reduït i sols bastarà per omplir el dipòsit de Salibaury. Ens trobaríem en la situació en que el volum total requerit per la demanda mensual de la zona sud,

que en situacions normals seria la suma de flux per gravetat més el flux de bombeig, deuria ser aportat tant sols per bombeig. Doncs en aquesta situació el volum a bombejar mensualment seria 625.730,00 m³.

Quan es tracta de satisfer un sistema de distribució d'aigua amb demandes variables en el temps es justifica el acoblament de dues bombes en paral·lel. Si utilitzem una sola bomba, per satisfer els consums variables amb el temps, serà factible també, però energèticament i per tant econòmicament, no recomanable, ja que la bomba treballaria a eficiències molt baixes, corresponents als distints punts de funcionament a causa de que les corbes de rendiment front a caudal no són planes.

Pel contrari, el subministrament d'aigua, variable amb la demanda, pot garantir-se mitjançant l'entrada progressiva en funcionament de distints grups de bombes acoblades en paral·lel. D'aquesta forma mantindríem el rendiment dins d'uns marges acceptables.

Per obtenir la corba característica d'un conjunt de bombes acoblades en paral·lel sols tenim que sumar els respectius caudals per a una mateixa altura, a partir de les seues corbes característiques de H front a Q. Açò dona lloc a una corba resultant cada vegada més plana com més bombes acoblades en paral·lel tinguem.

Optarem per la disposició inicial de dues bombes idèntiques en paral·lel amb la qual cosa la suma de les corbes motrius serà la següent:

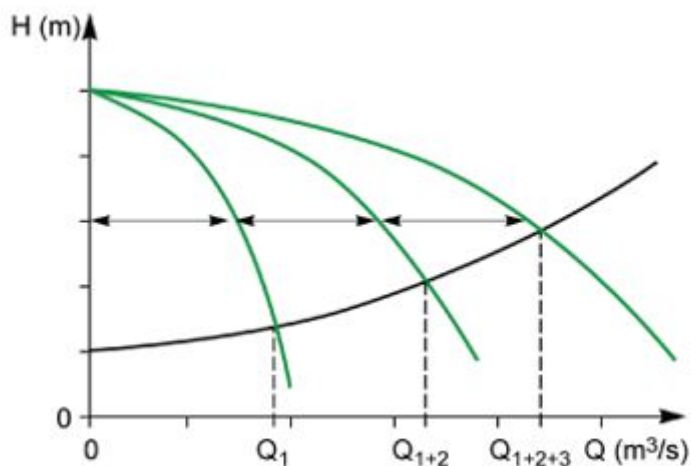
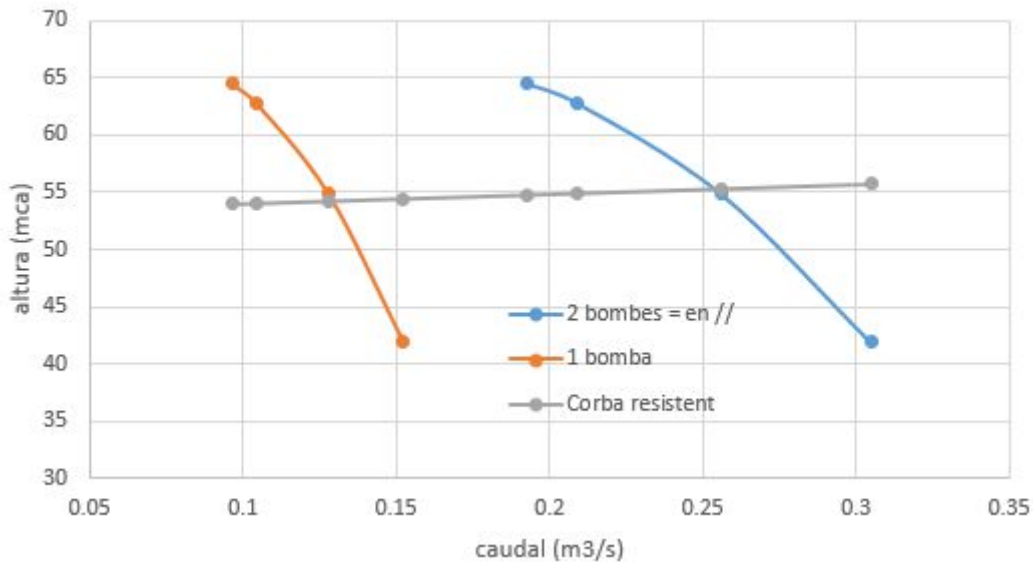


Figura 12. Corba motriu, associació paral·lel

$$H = A + B \cdot (Q/N) + C \cdot (Q/N)^2 \rightarrow H = A + B \cdot (Q/2) + C \cdot (Q/2)^2$$

$$N = D \cdot (Q/N) + E \cdot (Q/N)^2 \rightarrow N = D \cdot (Q/2) + E \cdot (Q/2)^2$$



Gràfic 3. Suma corba motriu dos bombes idèntiques en paral·lel

Observem que el punt de funcionament s'ha desplaçat cap a la dreta i generalment el caudal impulsat per una bomba treballant en paral·lel amb un altra idèntica es menor que el que tindria que impulsar si treballés una sola bomba en la mateixa instal·lació.

El caudal a injectar vindrà imposat i serà dependent del total de hores diàries en que volem que les bombes treballen. La característica de dos bombes idèntiques treballant en paral·lel causarà que el caudal trafegat per elles sigui idèntic i la meitat del total.

El cas de disseny serà considerar que les dues bombes treballen alhora 24h diàries omplint el dipòsit per la part superior, cosa que ens dura a un caudal mig de 241,4082 l/s.

4.2. Primer cas de disseny, bombes submergides

En un primer moment optem per la instal·lació de bombes submergides de velocitat fixa per evitar més fàcilment el problema de cavitació. Aquestes bombes són multietapa i si s'utilitzen en el bombeig des de pous, la elevada pendent de la corba motriu resultant produeix ,degut a les variacions del nivell

d'aigua del pou pels canvis estacionals i per tant diferencia de cotes geomètriques, xicotetes fluctuacions del caudal impulsat i de la seua eficiència.

No obstant suposarem que la profunditat dels pous a Mejinitskali es manté invariable al llarg del any. La cota on es troba situada l'estació de bombeig és de 5,64 metres, però la cota de la lamina d'aigua és troba 2,5m per d'avall. Les bombes estaran submergides 1m dins de l'aigua.

Procedim a calcular la corba resistent de la instal·lació:

Longitud total de la canonada d'impulsió (m)	1662.33
Rugositat de la canonada d'impulsió	0.0015
Diàmetre de la canonada d'impulsió (mm)	800
Factor de fricció suposat inicialment	0.02
Diferencia de cotes entre les lamines d'aigua (m)	53.19
Caudal a injectar (L/s)	241.4082

Taula 5. Característiques per a la corba resistent del sistema, cas bombes submergides

$$H(r) = 53.19 + r \cdot Q^2 = 53.678 \text{ mca}$$

$$r(m/(m^3/s)^2) = 8 \cdot f \cdot L / (\pi^2 \cdot g \cdot D^5) = 8.383$$

La intersecció entre la corba motriu, de la futura bomba a seleccionar, i resistent del sistema, deuria tallar a un caudal de 241,4082/2 L/s i una altura de 53.678 mca. Doncs buscarem al catàleg una bomba que s'aproxima a les següents característiques:

$$H(b) = 53.678 \text{ mca.}$$

$$Qa = 120.7041 \text{ l/s}$$

$$Pútil(KW) = 9810 \cdot 53.678 \cdot 0.2414082 / 2 = 63.56 \text{ KW}$$

Introduint les dades al programa facilitat per Bombas Ideal, BIPS, a l'opció de bomba submergida:

Id	Bomba tipo	μ %	Hz	kW	Ø
139	SD 9-2F1	76,93	50Hz	92	16"
160*	SD 6E-2	71,48	60Hz	92	14"
139*	SD 9-2F1	69,76	60Hz	129	16"

Figura 13. Opcions catàleg bombes submergides

Entre les bombes proposades pel catàleg la bomba que més s'aproxima a les especificacions requerides pel punt de treball és la SD 9-2F1, la qual treballaria amb un rendiment del 76.93 % per al caudal desitjat.

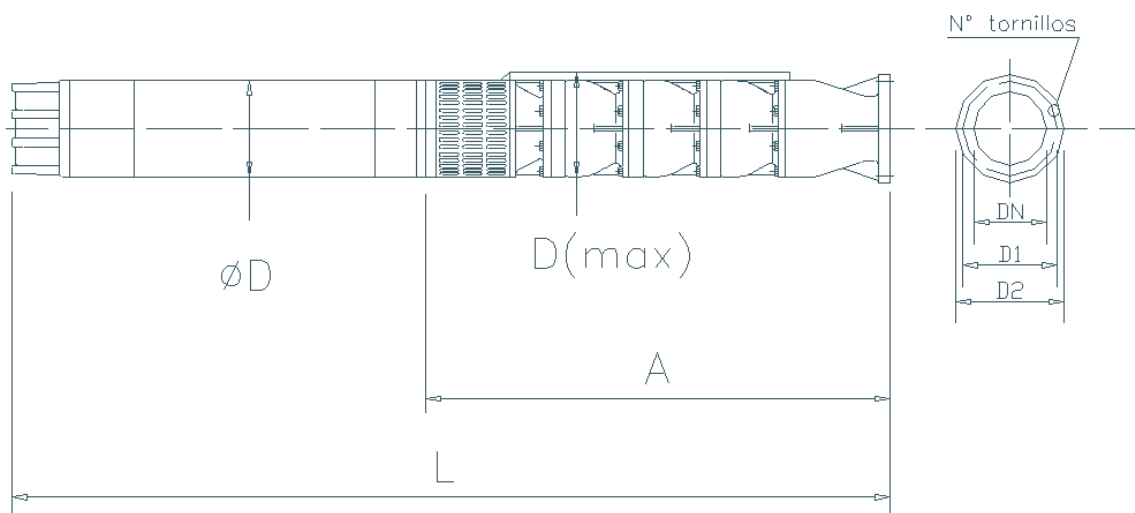
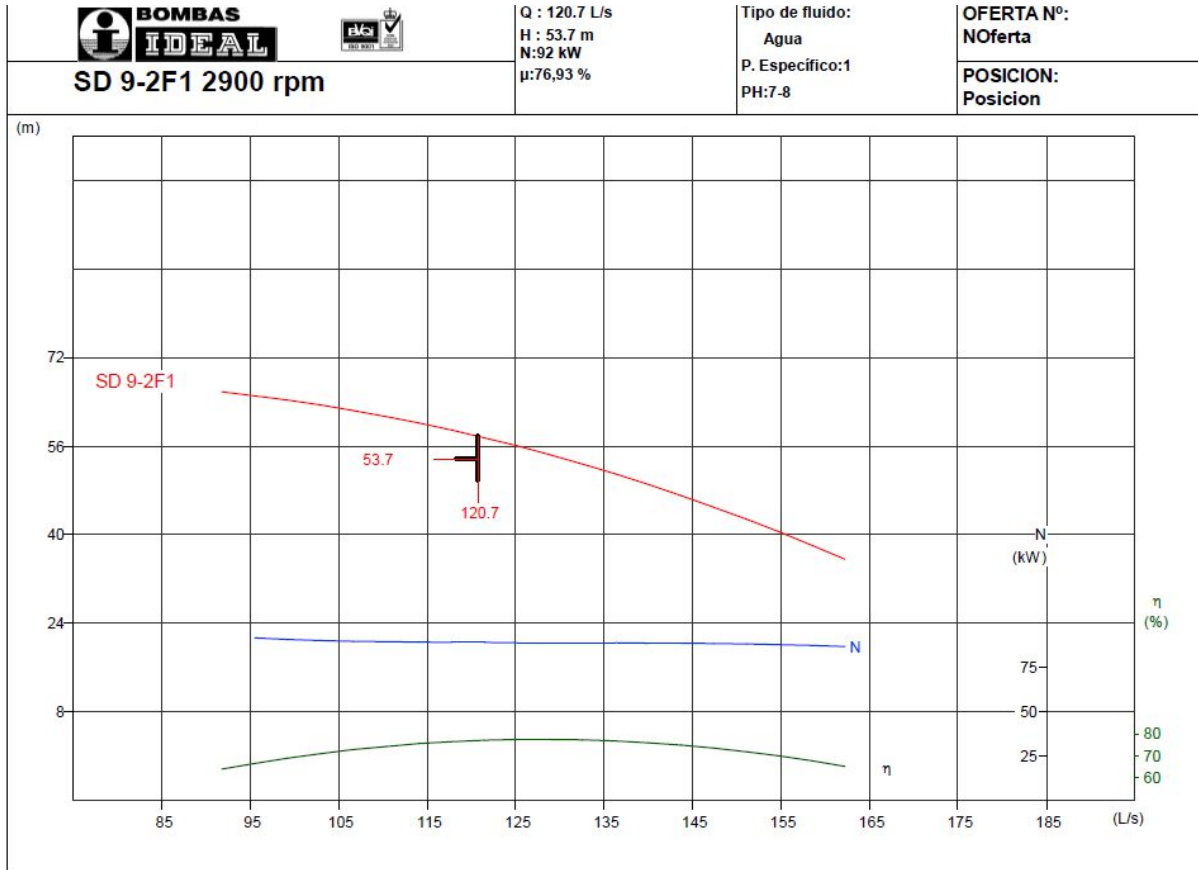


Figura 14. Croquis bomba submergida. BIPS



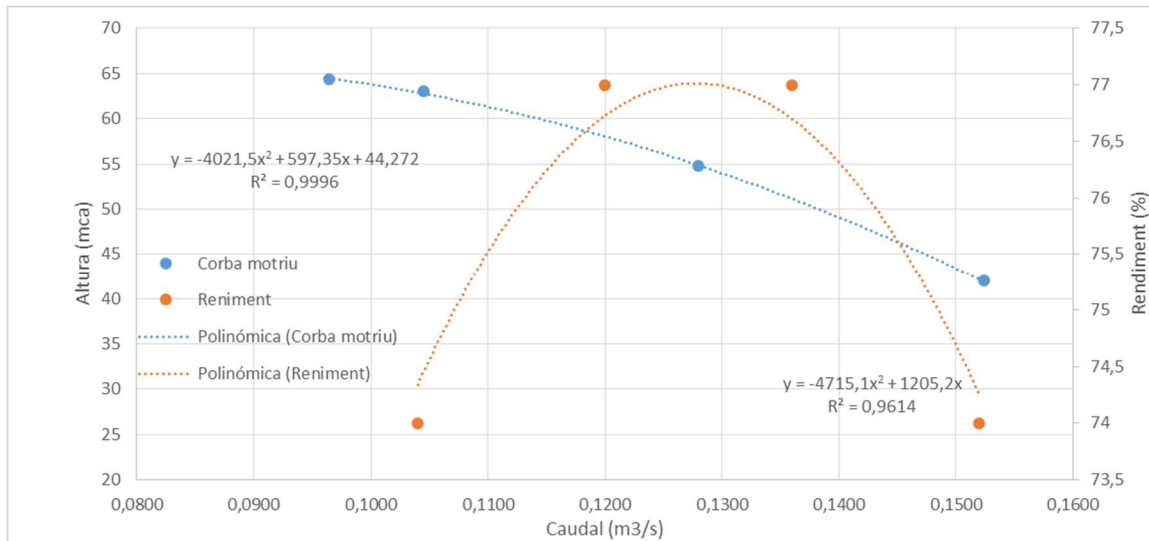
Gràfic 4. Corba motriu catàleg, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm

Com vegem al gràfic treballar al caudal desitjat ens proporcionaria major altura que la requerida.

A partir de punts seleccionats sobre el gràfic del catàleg podem traure tant la corba de rendiment com la de caudal-altura:

CORBA H-Q			CURVA η-Q		
Q (l/s)	H (mca)	Q(m3/s)	Q (l/s)	η (%)	Q(m3/s)
152.37	41.96	0.1524	152	74	0.152
127.94	54.74	0.1279	136	77	0.136
104.49	63.04	0.1045	120	77	0.12
96.4	64.32	0.0964	104	74	0.104

Taula 6. Corbes H/η-Q, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm



Gràfic 5. Corba motriu i de rendiment, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm

Creant la línia de tendència polinòmica de segon grau sobre la gràfica de la corba motriu podem traure els coeficients que acompanyen a la corba model o teòrica:

Q en m³/s	
$H^{(B)} = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$	
A	44.272
B	597.35
C	-4021.5

Taula 7. Coeficients corba motriu model, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm

Com hem comentat abans la corba motriu resultant de l'associació en paral·lel serà:

$$H = A + B \cdot (Q/N) + C \cdot (Q/N)^2$$

$$Hb = A + B \cdot (Q/2) + C \cdot (Q/2)^2$$

$$Hb = 44,272 + 298,675Q - 1005,375Q^2$$

I si igualem aquesta a la corba resistent per tal de traure el punt de funcionament:

$$Hr = 53,19 + 8,383Q^2 = Hb$$

El caudal resultant es de $0,261 \text{ m}^3/\text{s}$, superior al desitjat $0,2414 \text{ m}^3/\text{s}$. L'altura aportada pel bombeig serà de $53,739 \text{ mca}$.

<i>Punt de funcionament</i>	
<i>Caudal (m3/s)</i>	0,261
<i>Altura (mca)</i>	53,739

Taula 8.Punt de funcionament real, bombes submergides SD 9-2F1 2900 rpm

Procedim al càlcul energètic:

Doncs cadascuna de les bombes trafegarà la meitat del caudal total ,es a dir $0,135 \text{ m}^3/\text{s}$. La potencia útil aportada per bomba serà:

$$P_{\text{útil}}_{\text{bomba}} = 9810 \cdot 0,135 \cdot 53,739 = 71,169 \text{ KW}$$

Substituint el caudal de treball a la corba de rendiment de la bomba:

$\eta = D \cdot Q + E \cdot Q^2$	
<i>D</i>	1205.2
<i>E</i>	-4715.1

Taula 9.Coefficients corba model rendiment, bomba submergida SD 9-2F1 2900 rpm

$$\eta = 76,77 \%$$

Amb el que la potencia absorbida per bomba serà:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{útil}}/\eta = 92,704 \text{ KW}$$

4.3. Segon cas de disseny, bombes horitzontals

No contents amb el rendiment esperat amb les bombes submergides, optem per instal·lar bombes horitzontals. Açò ens provoca la necessitat d'instal·lar dues canonades d'aspiració des del pou fins les bombes i el càlcul mes endavant de la possible cavitació .

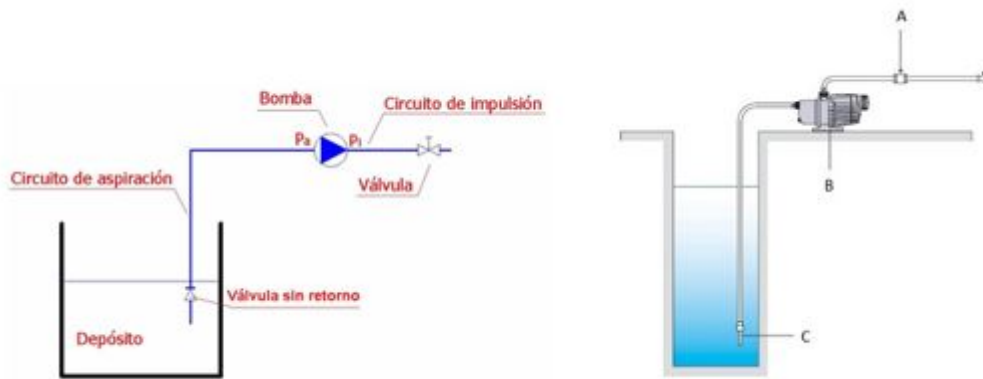


Figura 15. Bomba en aspiració. Google imatges

Doncs repetim el procediment del càlcul de la corba resistent:

Longitud total de la canonada d'impulsió (m)	1629.78
Rugositat de la canonada d'impulsió	0.0015
Diàmetre de la canonada d'impulsió (mm)	800
Factor de fricció suposat inicialment	0.02
Longitud canonada d'aspiració (m)	32.55
Rugositat canonada d'aspiració	0.0015
Diàmetre Canonada d'aspiració (mm)	400
Factor de fricció canonada d'aspiració	0.02
Diferència de cota entre les lamines d'aigua (m)	53.19
Caudal a injectar (l/s)	241.4082

Taula 10 Característiques per a la corba resistent del sistema, cas bombes horitzontals

En aquest cas el terme de pèrdues per fricció està dividit en dos degut a que les canonades d'impulsió i aspiració tenen distint diàmetre. També disposarem de dues canonades d'aspiració independents. Si menyspreem les pèrdues en possibles colzes en una futura instal·lació:

$$H_r = 53.19 + r_{-imp} \cdot Q^2 + r_{-asp} \cdot (Q/2)^2$$

$$r_{-asp} = 8 \cdot f \cdot L / (\pi^2 \cdot g \cdot D^5) = 5.25 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$$

$$r_{-imp} = 8.22 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$$

$$H_r(0.24141) = 53.745 \text{ mca}$$

La intersecció entre la corba motriu, de la futura bomba a seleccionar, i resistent del sistema, deuria tallar a un caudal de 241.4082/2 L/s i una altura de 53.745 mca. Doncs buscarem al catàleg una bomba que s'aproxima a les següents característiques:

$$H(b)=53.745 \text{ mca.}$$

$$Qa= 120.7041 \text{ l/s}$$

$$P\acute{u}til(KW)=9810 \cdot 53.745 \cdot 0.2414082/2= 63,639 \text{ KW}$$

Introduint les dades al programa facilitat per Bombas Ideal, BIPS, a l'opció de bomba horitzontal:

Id	Bomba tipo	μ %	r.p.m.	kW	\varnothing	NPSHr (m)
1132	RNI 150-40	85,86	1450	74,1	409	3,35
3193	CPT 125-230	80,74	2900	78,79	223	6,72
3203	CPT 150-460	79,65	1450	79,87	405	3,47

Figura 16. Opcions catàleg bombes horitzontals

Ens quedarem amb el model RNI 150-40 ja que treballa sobre el caudal desitjat a un rendiment major i la NPSH requerida es menor, cosa que ens interessarà més avant per al càlcul de cavitació.

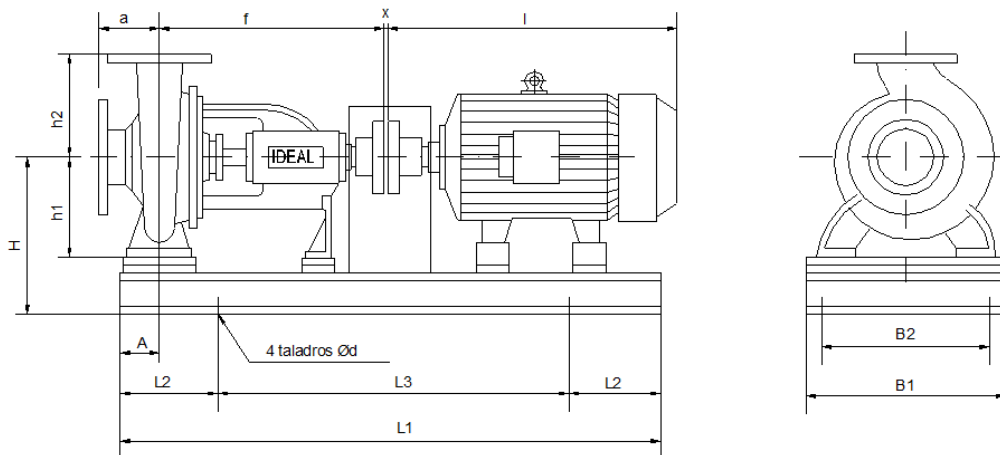
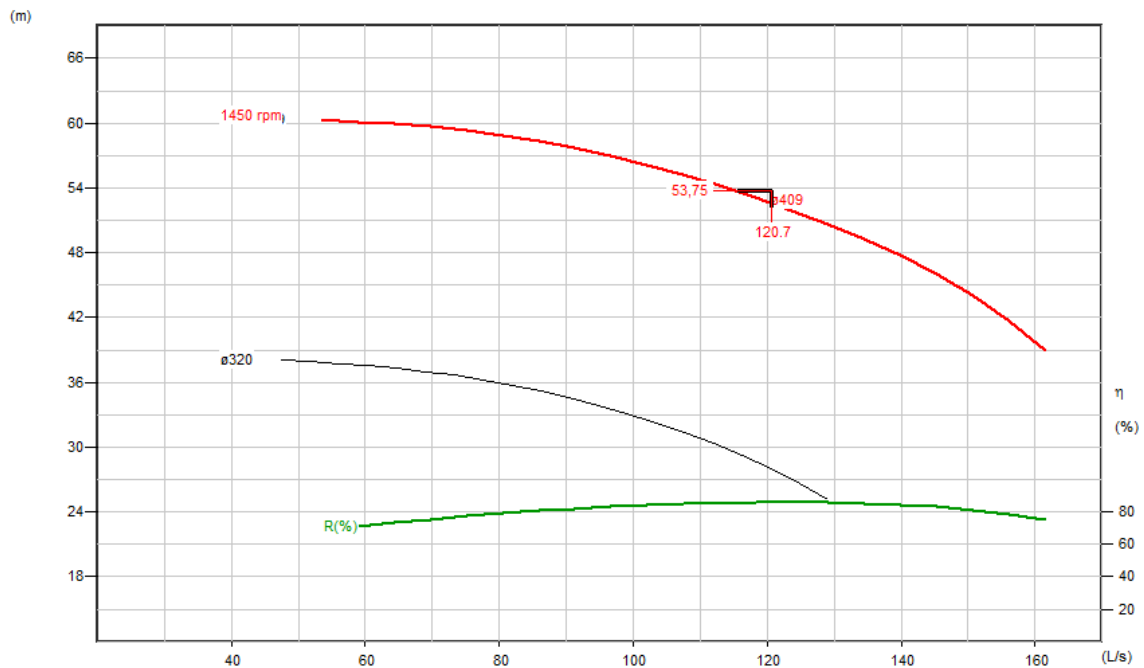
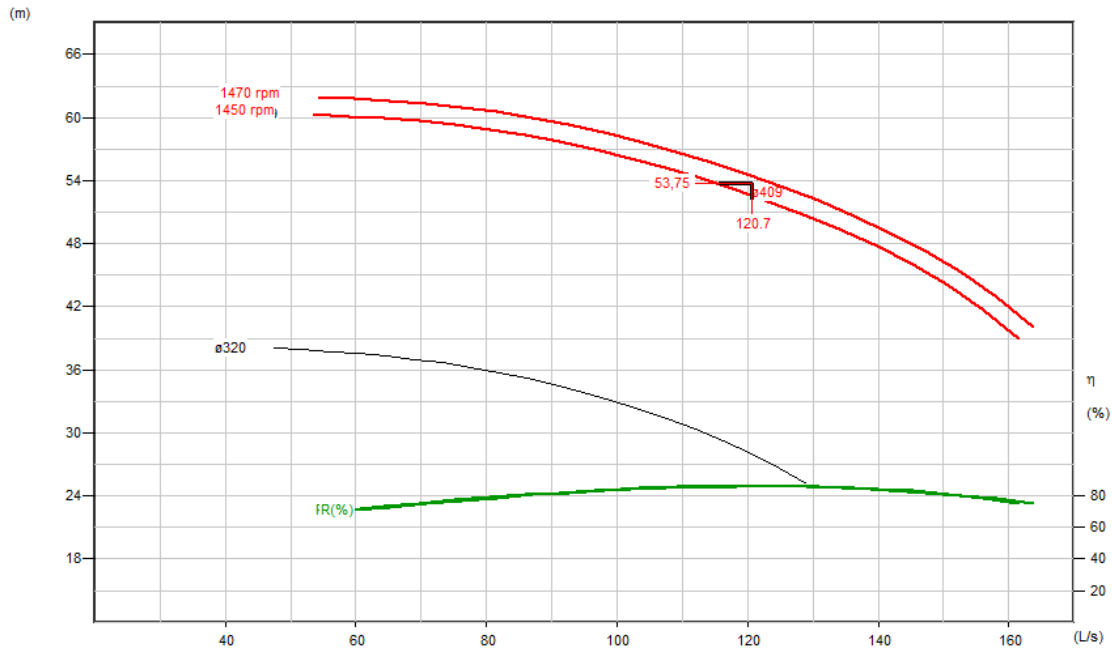


Figura 17. Croquis bomba horitzontal. BIPS



Gràfic 6. Corba motriu catàleg, bomba horitzontal RNI 150-40 1450 rpm

Podem apreciar al gràfic que treballant a 1450 rpm la corba motriu de la bomba passa lleugerament per baix del punt desitjat, no obstant si la bomba passa de treballar de 1450rpm a 1460rpm, podem veure com la corba passa esta vegada més prop del punt desitjat. No es fins a 1470 rpm quan la corba motriu passa lleugerament per dalt del punt:

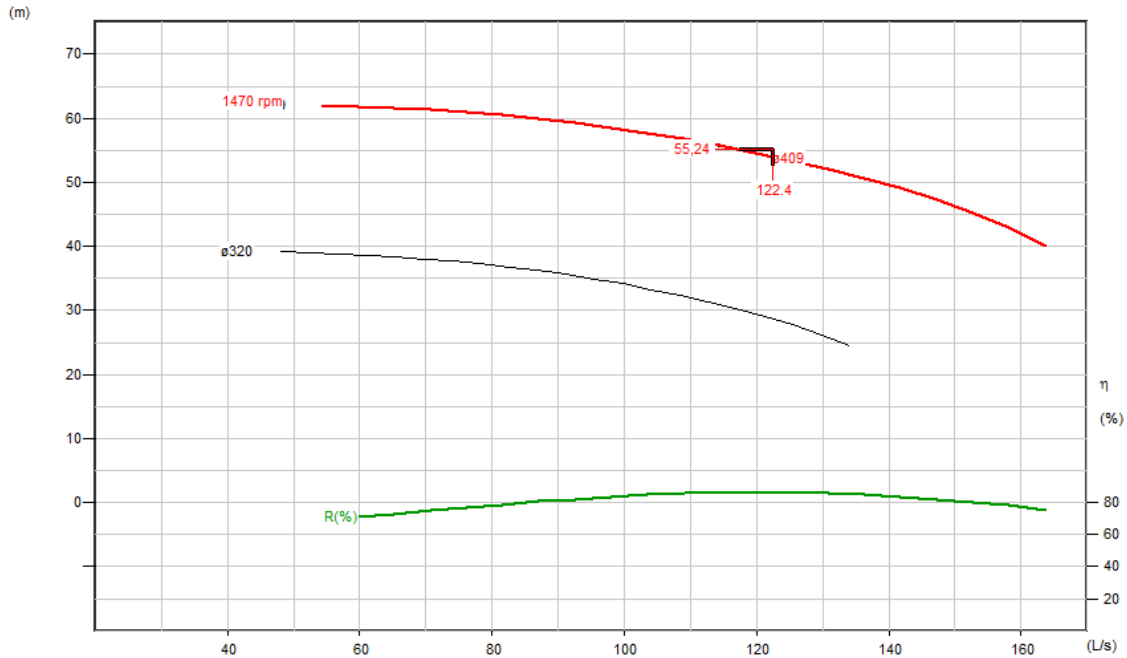


Gràfic 7. Augment rpm, model RNI 150-40

Sabem que al augmentar el regim de gir d'una bomba estem augmentant el perill de sofrir cavitació. Posteriorment, per al càlcul de cavitació, ens calcularem la nova corba NPSHr a partir de la model de la bomba a 1450 rpm mitjançant les lleis de semblança.

Id	Bomba tipo	μ %	r.p.m.	kW	\varnothing	NPSHr (m)
1132	RNI 150-40	85,86	1450	74,15	409	3,35
1132	RNI 150-40	86,3	1460	73,73	409	--
1132	RNI 150-40	86,3	1470	75,26	409	--

Figura 18. Augment rpm, model RNI 150-40

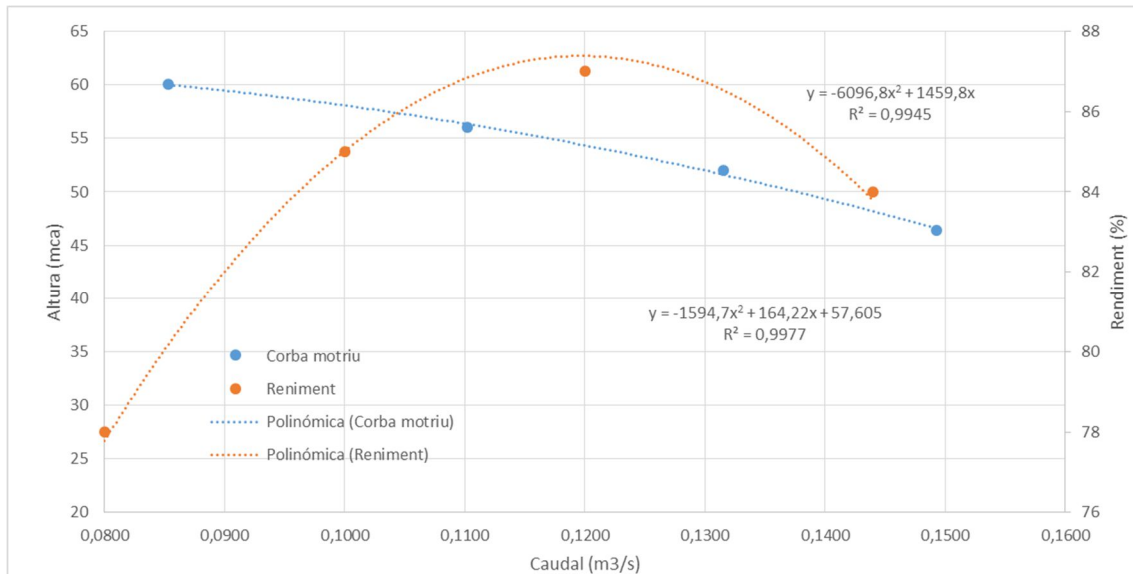


Gràfic 8. Corba motriu catàleg, bomba horitzontal RNI 150-40 1470 rpm

A partir de punts seleccionats sobre el gràfic del catàleg podem traure tant la corba de rendiment com la de caudal-altura:

CORBA H-Q			CURVA η -Q		
Q (l/s)	H (mca)	Q(m3/s)	Q (l/s)	η (%)	Q(m3/s)
85,33	60,09	0,0853	80	78	0,08
110,26	56,03	0,1103	100	85	0,1
131,52	51,97	0,1315	120	87	0,12
149,3	46,44	0,1493	144	84	0,144

Taula 11. Corbes H/ η -Q, RNI 150-40 1470 rpm



Gràfic 9. Corba motriu i de rendiment, RNI 150-40 1470 rpm

Podem traure els coeficients que acompanyen a la corba model teòrica:

Q en m³/s	
$H^{(B)} = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$	
A	57.605
B	164.22
C	-1594.7

Taula 12. Coeficients corba motriu model, bomba horitzontal RNI 150-40 1470 rpm

L'associació de dues bombes idèntiques en paral·lel :

$$H = A + B \cdot (Q/N) + C \cdot (Q/N)^2$$

$$H = A + B \cdot (Q/N) + C \cdot (Q/N)^2$$

$$H_b = A + B \cdot (Q/2) + C \cdot (Q/2)^2$$

$$H_b = 57,605 + 82,11 \cdot Q - 398,675 \cdot Q^2$$

Si igulem aquesta a la corba resistent per tal de traure el punt de funcionament:

$$H_r = (8,22 + 5,25/4) \cdot Q^2 + 53,19 = H_b$$

El caudal resultant es de $0,2452 \text{ m}^3/\text{s}$, lleugerament superior al desitjat $0,2414 \text{ m}^3/\text{s}$. Substituint en Hb el caudal resultant, l'altura aportada per la bomba es de $53,769 \text{ mca}$.

<i>Punt de funcionament</i>	
<i>Caudal (m³/s)</i>	0,2452
<i>Altura (mca)</i>	53,769

Taula 13. Punt de funcionament real, bombes horitzontals RNI 150-40 1470 rpm

Procedim al càlcul energètic:

Doncs cadascuna de les bombes trafegarà la meitat del caudal total ,es a dir $0,1226 \text{ m}^3/\text{s}$. La potencia útil aportada per bomba serà:

$$P_{\text{útil_bomba}} = 9810 \cdot 0,1226 \cdot 53,769 = 64,668 \text{ KW}$$

Substituint el caudal de treball a la corba de rendiment de la bomba:

$\eta = D \cdot Q + E \cdot Q^2$	
<i>D</i>	1459.8
<i>E</i>	-6096.8

Taula 14. Coeficients corba model rendiment, bomba horitzontal RNI 150-40 1470 rpm

$$\eta = 87.33\%$$

Amb el que la potencia absorbida per bomba serà:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{útil}}/\eta = 74,050 \text{ KW}$$

4.3.1. Càlcul de possible cavitació

Quan la bomba opera amb una aspiració excessiva, es forma una pressió de succió baixa a la entrada de la bomba, la pressió disminueix fins que pot crear-se el buit i l'aigua passa a estat vapor. Quan la pressió a la entrada esta apunt d'igualar el punt de vaporització a la temperatura de treball, les borses de vapor formen bombolles en el costat posterior del àlep impulsor. A mesura que una bombolla se desplaça del àrea de baixa pressió prop del extrem del àlep la bombolla desapareixes. Es desfà tan ràpidament que el líquid colpeja el àlep fortament. El soroll q es pot escoltar en el exterior de la bomba es a causa de l'explosió de les bombolles de vapor. Els perjudicis que pot portar aquest fenomen són les picadures, vibracions i sorolls.

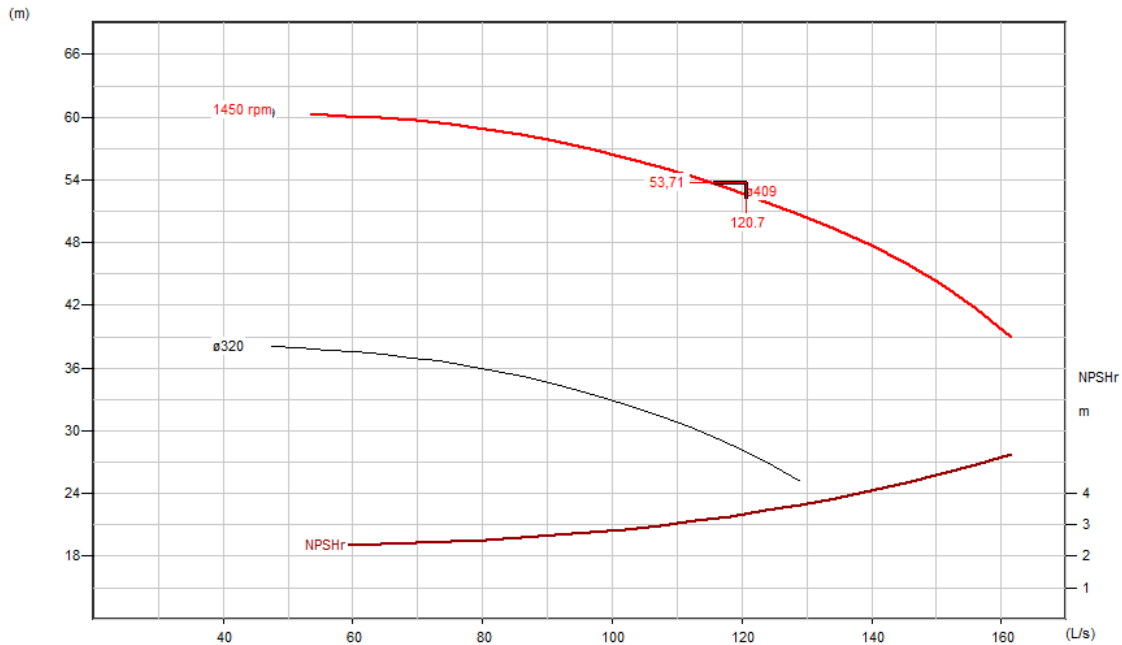
Una cavitació severa ve generalment acompanyada per un soroll excessiu i danys en la bomba, mentre que una cavitació moderada pot desembocar sols en una xicoteta reducció de caudal, altura ,rendiment i desgast prematur de la bomba.

Al tractar-se de dues bombes treballant en aspiració és possible que aparegui el fenomen de cavitació.

Mentre l'altura neta de succió disponible (NPSHd) sigui major a la requerida (NPSHr) pel fabricant en el punt de funcionament les bombes es trobaran fora de perill.

Com hem comentat abans, amb canvi de velocitat de regim de gir de la bomba, la corba NPSHr es veu modificada. El càlcul d'aquesta a 1470 rpm serà possible gràcies a les lleis de semblança. Per altra part la corba de rendiment a 1470 rpm serà possible extraure-la a partir del catàleg.

La corba NPSHr pel model a 1450 rpm :



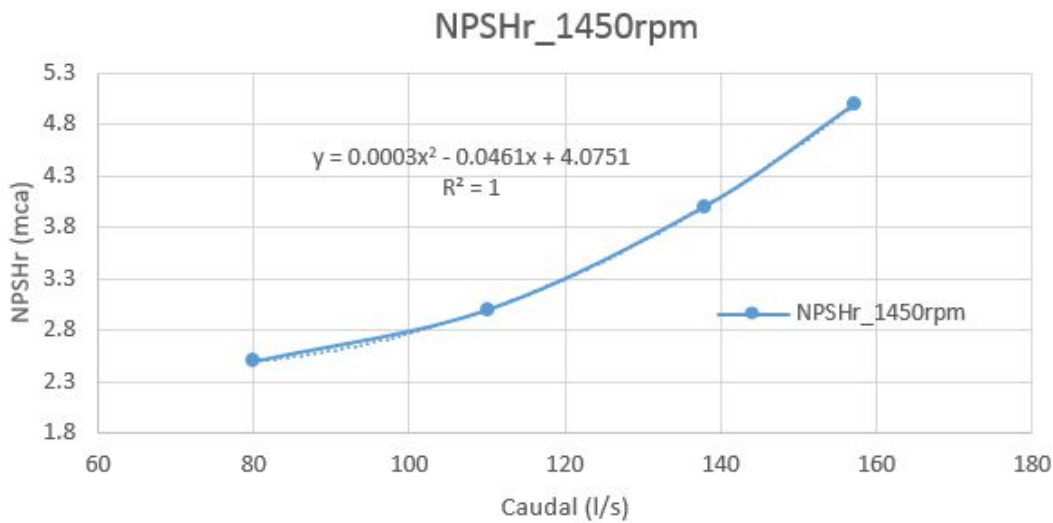
Gràfic 10. Corba NPSHr catàleg , bomba horitzontal RNI 150-40 1450 rpm

Selecció d'uns punts sobre el gràfic:

$Q(l/s)$	$NPSHr$
80	2,5
110	3
137,89	4
157,33	5

Taula 15. Punts gràfic NPSHr per a la obtenció de la corba model

Representant la corba i creant la línia de tendència polinòmica de segon grau:



Gràfic 11 Corba NPSHr model , bomba horitzontal RNI 150-40 1450 rpm

$$NPSHr-1450rpm = 0.0003 \cdot Q^2 - 0,0461 \cdot Q + 4,0751$$

Per les lleis de semblança :

$$\frac{NPSH_{r,B}}{NPSH_{r,A}} = \left(\frac{N_B}{N_A} \right)^2 \left(\frac{D_B}{D_A} \right)^2 = \alpha^2 \lambda^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow NPSH_B = \alpha^2 \lambda^2 \cdot NPSH_A = \alpha^2 \lambda^2 \cdot E + \alpha^2 \lambda^2 \cdot F \cdot Q_A^2$$

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{N_B}{N_A} \left(\frac{D_B}{D_A} \right)^3 = \alpha \cdot \lambda^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_A = \frac{Q_B}{\alpha \cdot \lambda^3} \Rightarrow \boxed{NPSH_B = \alpha^2 \lambda^2 \cdot E + \frac{F}{\lambda^4} \cdot Q_B^2}$$

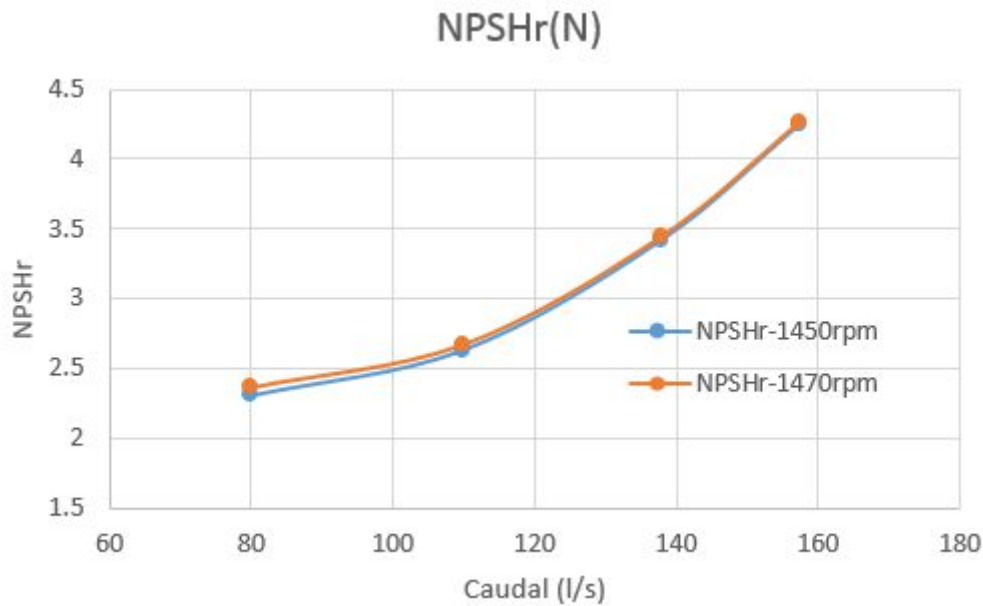
En aquest cas el diàmetre del rodet es manté constant, doncs $\lambda^2=1$.

$$\alpha = 1470/1450 = 1.0138$$

Per tant :

$$[NPSHr-1470rpm = (1.0138)^2 \cdot 4,0751 + 0,0003 \cdot Q^2 - 0,0461 \cdot 1.0138 \cdot Q =$$

$$= 4,188 + 0,0003 \cdot Q^2 - 0,04674 \cdot Q]$$



Gràfic 12 Variació de la corba NPSHr amb el regim de gir, N(rpm)

Al gràfic podem veure com un augment de la velocitat de gir desplaça la corba cap a dalt augmentant el perill de sofrir cavitació, en este cas molt poc significativament ja que la variació de la velocitat de gir es menuda.

Substituint el caudal de treball en la corba, *NPSHr-1470* ($Q=122,6 \text{ l/s}$) = 2,96 mca

Procedim doncs al càlcul de l'*NPSHd*:

$$NPSH_d = \frac{p_A^*}{\gamma} - H_{asp} - r_A Q^2 - \frac{v_A^2}{2g} - \frac{p_V^*}{\gamma}$$

Sabem que les bombes es troben a una diferencia d'altura sobre la lamina d'aigua del pou de 2,5m, aquesta serà l'altura d'aspiració *Hasp*. Les pèrdues de carrega les podem obtenir ja que tenim tant *r_{asp}* ($= 5,25 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$) com el valor del flux de caudal per canonada d'aspiració ($Q=0.1226 \text{ m}^3/\text{s}$). Si menyspreem el terme de velocitat i assumim que la pressió relativa de vapor a la temperatura de bombeig es de -10 mca:

Doncs [*NPSHd* = 7,42 mca]

Es compleix la condició de no cavitació, amb un marge de seguretat de 4,46 mca.

4.4. Conclusions Energètiques i de treball

En la següent taula es mostra un resum de la informació rellevant:

	<i>Punt de funcionament</i>	<i>Per bomba</i>		<i>Per bomba</i>	
		<i>Pútil (KW)</i>	<i>Rendiment (%)</i>	<i>Pabs (KW)</i>	
Submergides	<i>Caudal (m3/s)</i>	0.261	71,169	76.77%	92,704
	<i>Altura (mca)</i>	53.79			
Horizontals	<i>Caudal (m3/s)</i>	0.2452	64,668	87.33%	74,05
	<i>Altura (mca)</i>	53.769			

Taula 16. Conclusions energètiques i de treball entre els dos casos estudiats

Com podem veure la instal·lació del model de la bomba horitzontal s'ajusta millor al caudal desitjat de 241.4082 l/s. A més, el rendiment resultant de treballar al punt de funcionament és 10 punts superior al de la bomba submergida. Si ens fixem en la potencia absorbida pels distints models, l'horitzontal absorbeix de la xarxa elèctrica del ordre de 18 KW menys que la submergida, cosa que suposa un estalvi energètic anual considerable.

A més, hem vist al catàleg que la potencia útil de la bomba horitzontal també està per d'avall de la submergida, doncs el cost d'aquesta última serà segurament major.

5. Model matemàtic de la xarxa

5.1. Introducció al concepte

El model matemàtic és una ferramenta de càlcul que ens permet simular diferents estats en els quals es trobaria el sistema sense la necessitat de experimentar-los físicament. Els resultats d'aquestes simulacions ens serviran per arribar a extraure conclusions i així gestionar la xarxa.

Per desenvolupar aquest procés, necessitem conèixer condicions de contorn, recollir informació sobre el sistema que serà tractada per programes analítics com Epanet.

Epanet és un programa, desenvolupat per l'Agència de Protecció Ambiental d'Estats Units, para el anàlisi de sistemes de distribució d'aigua potable. Epanet és capaç de treballar amb períodes de simulació sobre hidràulica i el comportament de la qualitat d'aigües dins d'una xarxa pressuritzada.

El programa permet realitzar anàlisis hidràulics de xarxes de canonades a partir de les característiques físiques de les canonades i dinàmiques dels nodes, és a dir el consum, per obtindre la pressió i els caudals en nodes i canonades respectivament. També permet el anàlisi de la qualitat de l'aigua, en funció entre altres factors del temps de viatge del fluid des dels dipòsits o embassaments, fins els nodes de consum.

Entre els elements que pot simular el programa es troben canonades, nodes, dipòsits i embassaments (referència de carga constant) i elements mes complexes com bombes i vàlvules.

Doncs a la Interface del programa tindrem una sèrie de línies i nodes que representaran canonades, bombes, vàlvules, tancs ,punts de consum, etc, que intentaran reproduir el més fidel possible allò que representen físicament a la realitat.

Podrem simular el sistema en un instant donat, un model estàtic, o al llarg del temps, models dinàmics.

5.2. Implementació del model matemàtic

Necessitarem establir el grau de detall requerit per al model, en funció del us que anem a donar-li i la precisió de les dades que manegem.

Per una part necessitarem un macromodel simplificatiu del sistema que ens facilita un control a temps real del sistema. Per altra part necessitarem un model més detallat incloent algunes simplificacions, però considerant canonades principals i elements rellevants, que modelí el consum i les fuites. Si volguéssim un control sobre la qualitat de l'aigua necessitaríem el màxim nivell de detall, incloent les escomeses a els habitatges.

5.2.1. Fases de la modelització

Al següent diagrama es mostra el procés seguit per construir un model que s'ajusti a la realitat.

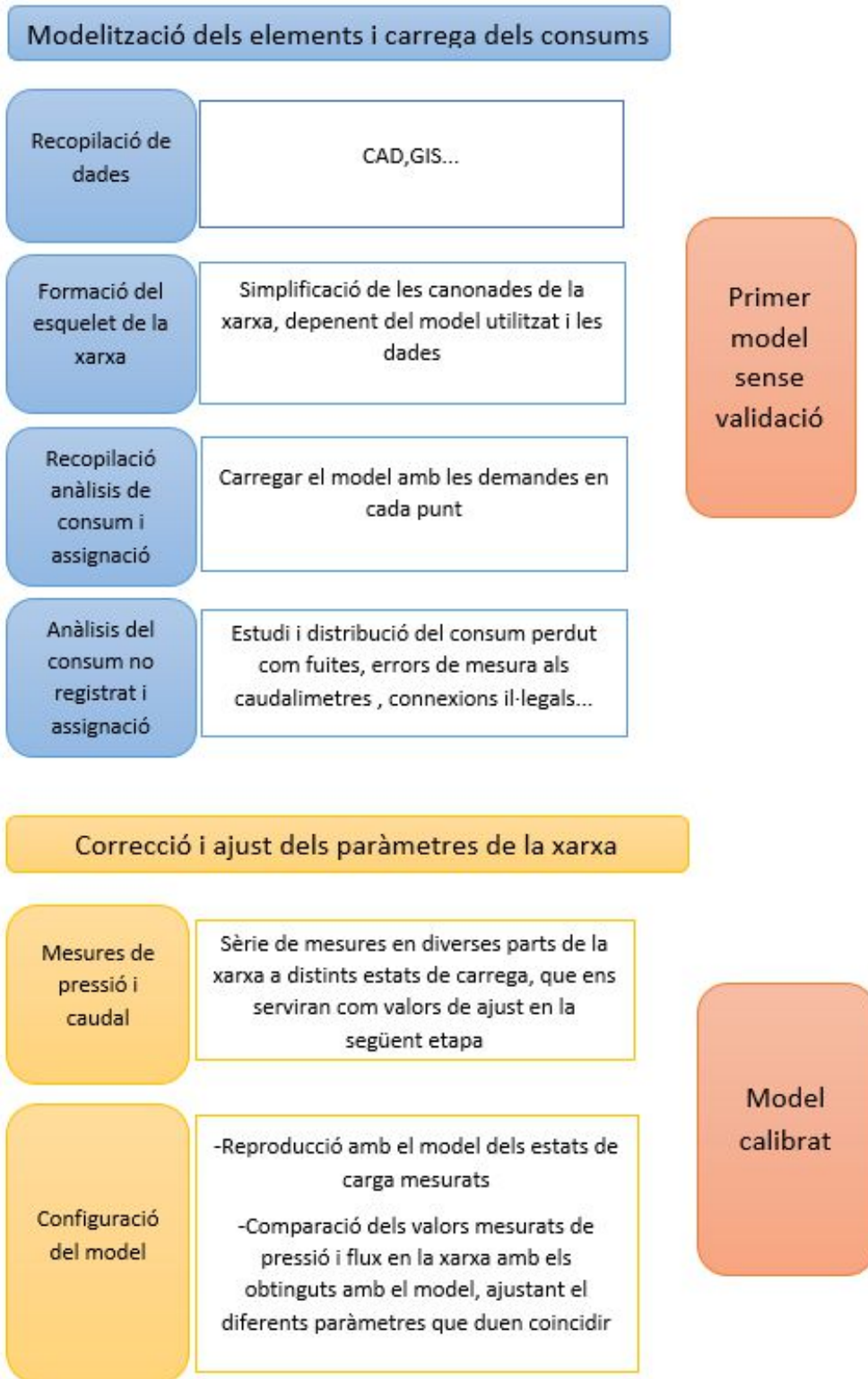


Figura 19. Diagrama fases de la modelització, 1.

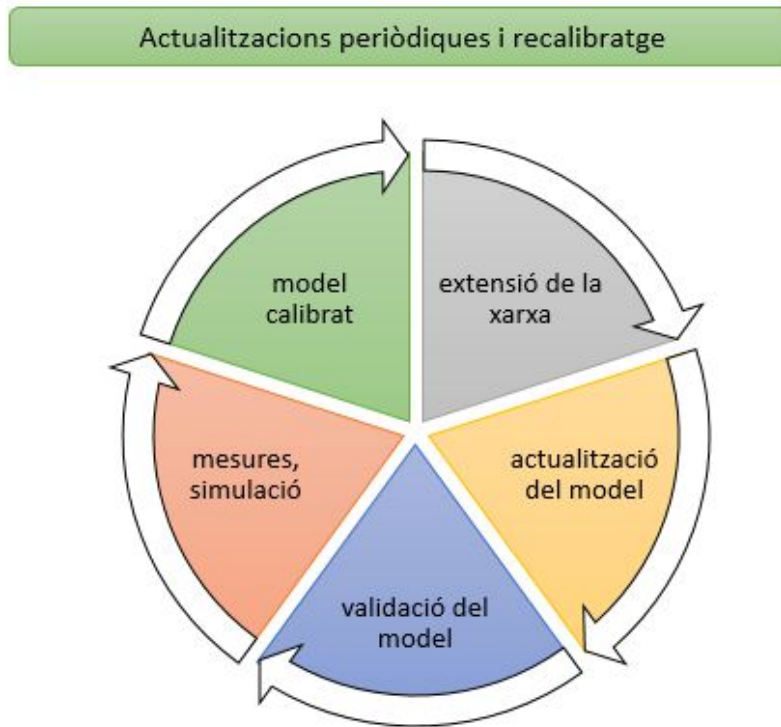


Figura 20. Diagrama fases de la modelització,2.

En aquest projecte, el esquelet de la xarxa a l'Epanet estava al abast, doncs sols quedava ajustar els paràmetres i calibrar-ho amb les últimes dades disponibles.

5.3. Aplicació del model matemàtic per al control de perdudes

5.3.1. Afegir l'ANR al model matemàtic: càlcul de fuites utilitzant emissors

Per a obtenir un model complet deuríem considerar els distints tipus de flux que tenim a la xarxa, això ens obliga a contemplar que passa amb l'ANR .

Existeixen tres possibles mètodes per a incloure l'ANR en el model. La primera d'elles es mitjançant un coeficient corrector de la demanda, assumint un comportament similar al de l'aigua registrada. El segon mètode es limita a incloure l'ANR com un valor constant en el temps. El tercer d'ells serà el que utilitzem i es explicat seguidament.

El flux no registrat (ANR) està compost pel flux que es consumit i les fuites, ambdós des del punt de vista de la gestió simbolitzaran pèrdues. El flux no registrat consumit segueix el mateix patró de demanda que el flux registrat mentre que les fuites dependran de la pressió de la xarxa i seran diferents depenent del hora del dia.

El flux de fuites es dividit utilitzant emissors als nodes i calculat en el instant en el que tenim menys consum amb la qual cosa major pressió (durant la nit).

Per a una primera simulació utilitzarem la distribució que ens proporciona l'AEAS i que hem descrit abans. Repartirem el valor del volum que l'AEAS caracteritza com desconegut, entre els altres tres termes d'una forma proporcional al valor percentual que representen del total.

Doncs per al balanç total de la zona sud per a un mes complet:

	%	m^3/mes	l/s
<i>ANR</i>	100	181.923,14	70,1864
<i>Fuites</i>	67,16	122179,5808	47,137
<i>Errors de mesura</i>	26,87	48882,74772	18,86
<i>Connexions il·legals</i>	5,97	10860,81146	4,19

Taula 17. Càlcul dels fluxos dels termes d'ANR

Si distingim els termes anteriors entre els que depenen de la pressió i els que no:

	m^3/mes	l/s
<i>Dependents de la pressió</i>	122179,5808	47,137
<i>No dependents de la pressió</i>	59743,55918	23,05

Taula 18. Distinció flux d'ANR dependent de la pressió

El flux no depenen de la pressió, és a dir el que considerem proporcional al patró de demanda es la suma entre el flux de connexions il·legals i els errors de mesura.

El següent pas a realitzar serà repartir el flux no dependent de la pressió entre els nodes de consum del model. Per a una primera simulació, els nodes de consum del model tenen la mateixa demanda base, amb lo qual els flux no dependent de la pressió serà el mateix per a tots els nodes.

Per altra part el flux dependent de la pressió l'utilitzarem per calcular els coeficient emissors:

$$Q = E_c * VP$$

La pressió en cada node es mesurat en el instant de menys demanda, de menys flux, es a dir per la nit. Aquest valor de pressió serà el mes elevat dels valors que tenim en simulació 24h.

A la zona sud tenim un total de 474 nodes entre els que es repartirà els diferents fluxos:

<i>Q demanda-base AR (L/s)</i>	<i>Q no-dependen-pressió (L/s)</i>	<i>Q total (L/s)</i>
0.3612	0,04863	0.41

<i>Q dependent-pressió (L/s)</i>	<i>P(mca)</i>	<i>VP</i>	<i>Ec</i>
0.099	52	7,21387	0.013728

Taula 19. Càlcul de la demanda base per al model amb ANR i el seu coeficient emissor

Per realitzar aquest càlcul s'ha realitzat la mitja de les pressions que es mesuren en un node arbitrari de cada DMA.

Doncs al considerar la zona sud com un sol DMA, en el qual hem sumat la demanda de cada DMA i també havem sumat l'aigua registrada per obtenir sols un valor de demanda base i ANR, el coeficient emissor serà el mateix per a tots el nodes del sector sud. Si considerarem cada DMA independentment, la demanda base per node en cada DMA seria diferent i també al considerar cada valor de AR, aplicant la distribució que ens facilita l'AEAS, tindríem un balanç distint, amb el qual ens resultaria un valor distint de coeficient emissor per a cada DMA.

Una vegada tenim el valor del coeficient d'emissió, sols quedarà introduir als nodes aquest coeficient al Epanet, i realitzaríem la simulació.

Si poguérem mesurar la majoria dels clients durant un període de temps amb caudalímetres i utilitzant la estructura en DMAs, podríem calcular de forma més exacta el percentatge dels termes en que es divideix l'ANR. D'aquesta forma el percentatge de l'ANR que es deguda a fuites podria ser calculat més finament. Així es com es treballà durant la rehabilitació, fent campanyes de mesura, per aproximar els resultats de la simulació a les mesures reals, reduint la diferència existent en simulacions inicials.

5.4. Simulacions del model matemàtic

En aquest apartat, compararem i discutirem els volums de flux resultants en les distintes simulacions. Per cada estat de la xarxa (La planta de tractament de Chakvi operativa o per el contrari fora de servei) tindrem dues simulacions:

- La primera d'elles serà una simulació pobra en quant a aproximació a la realitat, en la que la demanda base assignada per nus ha sigut calculada anteriorment com el volum total mensual ixent del dipòsit d'Injalo entre el total de nusos de consum ($0,5093 \text{ l/s}$).
- Per altra part, realitzarem una simulació en la que tindrem en compte el modelatge de les pèrdues d'aigua (ANR). En aquesta, calculada anteriorment, la demanda base assignada als nusos serà de $0,41 \text{ l/s}$ i el coeficient emissor comú per a tots, $E_c = 0.013728$.

Per a ambos casos el patró de demanda assignat als nusos serà el mateix, descrit anteriorment, i serà modelat mitjançant l'opció que ens dona Epanet de descriure un patró. A més, l'estació de bombeig de Mejinitaskali estarà operativa en tot moment i s'assignarà a les dues bombes la corba motriu. El control que es donarà sobre les bombes serà el següent:

PUMP PUMP1 OPEN IF TANK Injalo BELOW 1

PUMP PUMP2 OPEN IF TANK Injalo BELOW 1

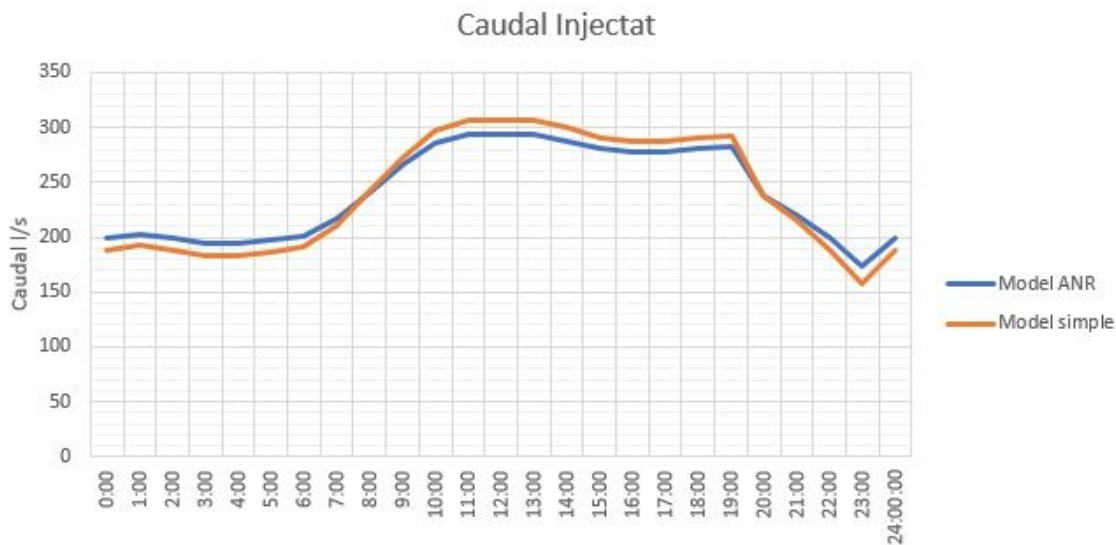
PUMP PUMP1 CLOSED IF TANK Injalo ABOVE 5.5

PUMP PUMP2 CLOSED IF TANK Injalo ABOVE 5.5

Les simulacions partiran d'un estat inicial en el que el dipòsit d'Injalo està ple fins els 6 metres d'altura. La duració d'aquestes seran d'un dia a excepció de quan contemplem el bombeig que ens interessarà veure un cicle complet.

5.4.1. Simulacions amb la planta de Chakvi en funcionament

Si deixem oberta la canonada principal que connecta la planta de tractament de Chakvi amb el dipòsit d'injalo, permetin el pas de flux per gravetat, i contemplem el caudal que flux per la canonada o línia que connecta el dipòsit d'Injalo amb la zona sud de la xarxa:



Gràfic 13. Caudal injectat zona sud, Chakvi en funcionament

Procedim al anàlisi:

Si ens fixem a les primeres hores del dia, es a dir en el interval de $[0:00,8:00]$, podem veure com el flux amb el model simple es troba per baix del que modela l'ANR.

El model simple, en qual la demanda base està treta a partir del volum total injectat (ANR + AR), cosa que du a incloure en aquesta el flux d'aigua tant depenent de la pressió com el que no ho és, obvia per tant el fet de que no tota l'ANR és depenent del patró de demanda. Per altra part el model amb L'ANR contemplada, si fa una distinció entre el distints fluxos (depenent de la pressió o no), utilitzant la casella al Epanet de demanda base com aquell flux depenent del patró de demanda, i un coeficient d'emissió calculat a partir del flux depenent de la pressió i les pressions als nusos en l'hora de menys consum.

La diferencia de flux es deu a que durant aquestes hores el coeficients que acompanyen cada hora del patró de demanda, són menuts. Doncs aquest flux depenent de la pressió es minorat amb el error que comporta el model simple, respecte el flux depenent de la pressió modelat i ajustat a la realitat pel model que contempla l'ANR.

D'aquesta forma al interval ,en el qual el flux amb el model simple es troba per d'alt del flux amb el model amb l'ANR, [8:00, 20:00] , es dona l'efecte contrari. Els coeficients del patró de demanda creixen i majoren el flux dependent de la pressió respecte la realitat.

A la resta del les hores del dia, passa exactament el mateix que al inici d'aquest.

Si sumem en ambdós simulacions el total del caudal eixint podrem veure la diferencia de caudal injectat diàriament:

	<i>Model simple</i>	<i>Model amb l'ANR</i>	<i>Diferencia</i>
Caudal injectat (l/s)	5808.48	5696.57	111.91

Taula 20.Diferencia de caudals en la simulació

Aquesta diferencia representa un volum diari de 9669,024 m3

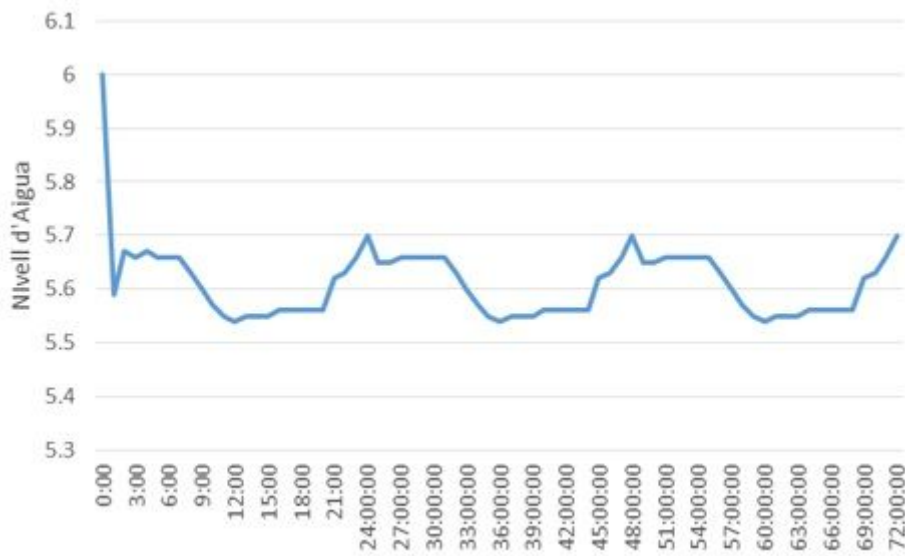
Si ens fixem amb el que ocorre al llarg del dia amb l'altura del toll d'aigua al tanc d'Injalo:



Gràfic 14. Altura dipòsit Injalo, Chakvi en funcionament.

Podem extraure de l'anterior evolució dues coses:

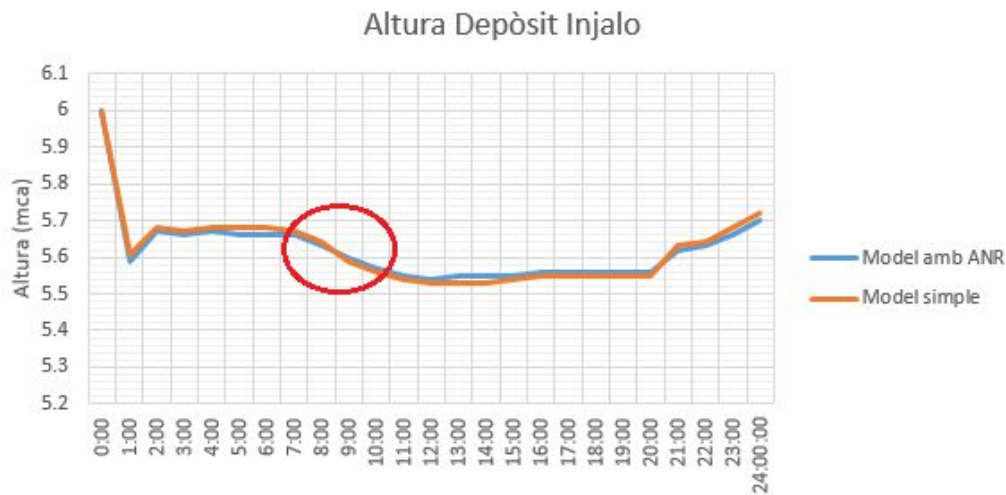
-La primera d'elles es que l'altura del toll en ningun instant baixa per avall de 1, oscil·la cíclicament al voltant de 5,6 metres:



Gràfic 15. Nivell del tanc Injalo, cicle, Chakvi en funcionament.

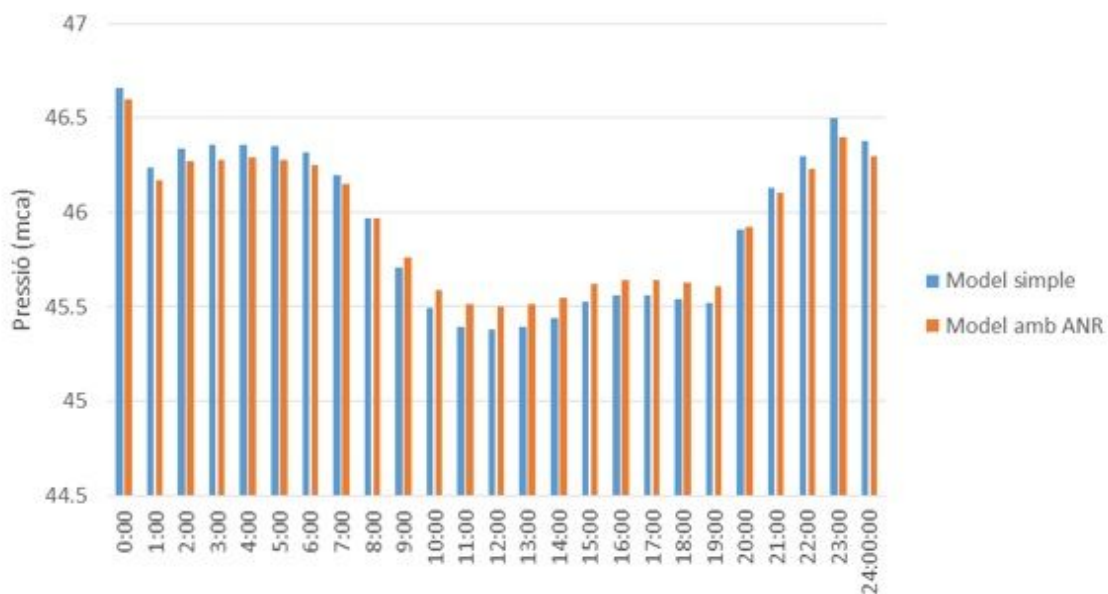
Amb lo qual les bombes mai s'engegaran segons els controls que hem programat. Efectivament si monitoritzem el caudal de les bombes resulta 0 l/s durant tot el dia.

-La segona és que la tendència que hem descrit abans del caudal injectat d'Injalo, es compleix lògicament amb l'altura del toll. Per exemple al mig dia, quan coincideix que la corba de flux del model simple està per d'alt de la del model amb l'ANR, l'altura del toll a la simulació amb el model simple està per baix de la simulació amb el model amb l'ANR. També podem observar com entrant en aquest moment del dia, la pendent de buidat és més pronunciada al model simple:



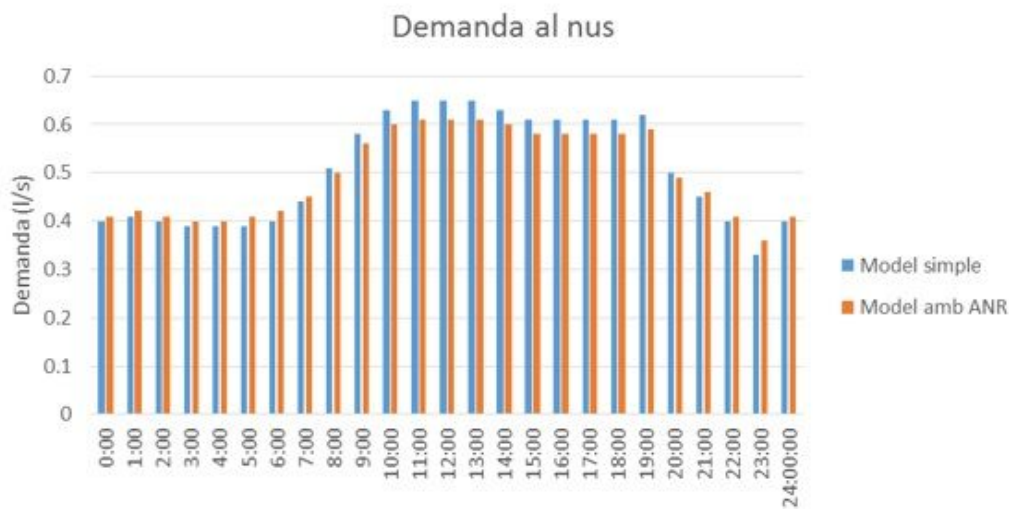
Gràfic 16. Diferència pendent de buidat entre els dos models, Chavki en funcionament

Per garantir un abastiment de qualitat, deguem fixar-nos amb el que ocorre amb les pressions als nodes de consum. Les pressions són més baixes durant 11:00, 12:00, 13:00 coincidint amb els pics de demanda. La caiguda de pressió serà més significativa amb l'augment de demanda però també amb el nivell del tanc, però en ningun dels nodes de consum la pressió baixa per baix de valors recomanables. Si monitoritzem un dels nusos amb major cota:



Gràfic 17. Diferència de l'evolució de pressions als dos models, Chavki en funcionament.

Podem apreciar com a primeres hores la pressió amb el model simple està per dalt de la pressió amb el model amb ANR, però entrant en les hores punta de consum (11:00, 12:00, 13:00) podem veure com la pressió amb el model amb ANR està aquesta vegada per dalt del model simple. Aquest fenomen té una analogia amb el que passa amb la demanda instantània al node en cada tipus de model:



Gràfic 18. Demanda instantània, Chakvi en funcionament

Com podem apreciar ara tenim el fenomen invers. En hores en que la corba o barres del model simple estava per baix ara es troba per dalt, com ocorre a les 11:00,12:00,13:00 etc. Aquest fet es degut a que la demanda instantània al model simple està composta en la totalitat per la demanda base pel coeficient del patró, i com s'ha desenvolupat abans, en hores de major coeficient majorem al demanda. Per el contrari la demanda instantània al model amb ANR esta composta per una part de flux que acompanya al coeficient del patró i l'altra que es depenent del coeficient emissor. Com podem veure la progressió de la demanda al model amb ANR es més sua que al model simple.

Com era d'esperar a major demanda menys pressió al nus, degut a les pèrdues per fricció proporcionals al quadrat del caudal.

5.4.2. Simulacions amb un abastiment exclusiu de bombeig

En aquest estat de la xarxa la canonada que uneix la planta de tractament de Chakvi amb el tanc d'Injalo romandrà tancada, simulant així que la planta de tractament es troba fora de servici per raons descrites anteriorment.

Els valors mesurats injectats anteriorment es conservaran, així com la forma de les corbes, doncs aquest flux depèn de la demanda que és invariable.

Si ens fixem amb el que ocorre durant un període de 10 dies amb el toll d'aigua al tanc, podem veure el cicle de omplert i buidat:



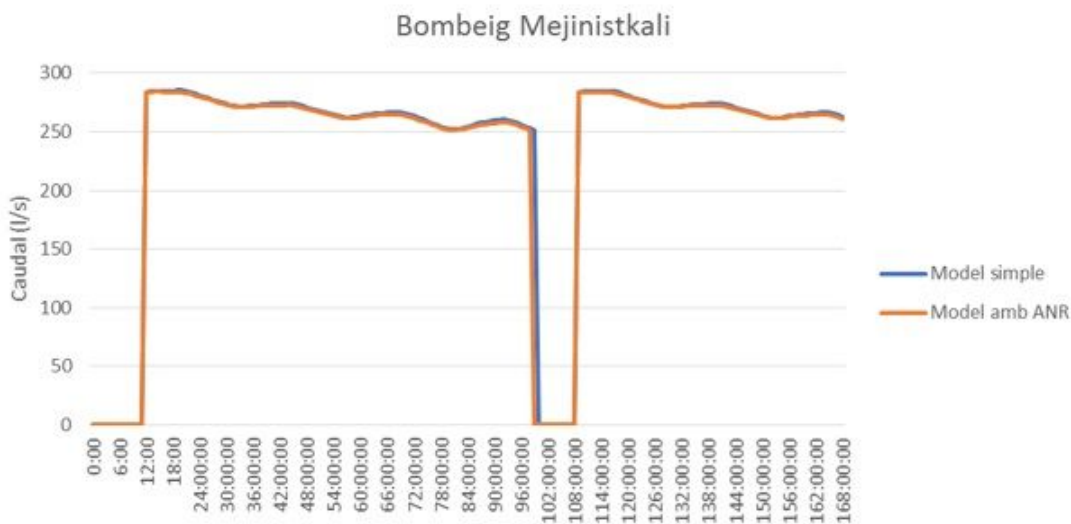
Gràfic 19. Evolució del toll d'Aigua tanc Injalo, bombeig pur.

Podem extraure dues conclusions:

-Com passava en anteriors simulacions, les corbes es situen per dalt i per baix depenent de les respectives demandes instantànies.

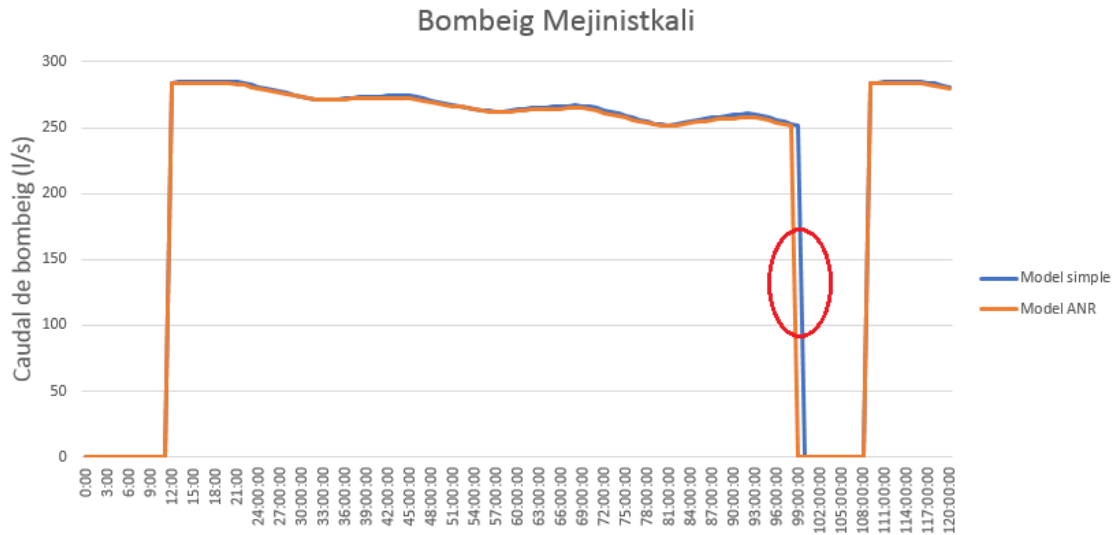
-Aquesta vegada si descendim per baix de 1m ,doncs les bombes s'engegaran, i s'aturaran quan es superen els 5,5m.

Deurem fixar-nos amb el bombeig íntimament relacionat amb el nivell del tanc:



Gràfic 20. Caudal bombejat, bombeig pur.

S'observa que les bombes treballen períodes de llarg durada. De forma que al estar relacionada amb la demanda, s'aprecia que al model simple les hores de funcionament (87h) són del ordre d'una hora superior a les del model amb ANR (88h), cosa que representa un caudal extra per setmana de 399,4 l/s, que en volum són 241.557,12 m³/setmana.

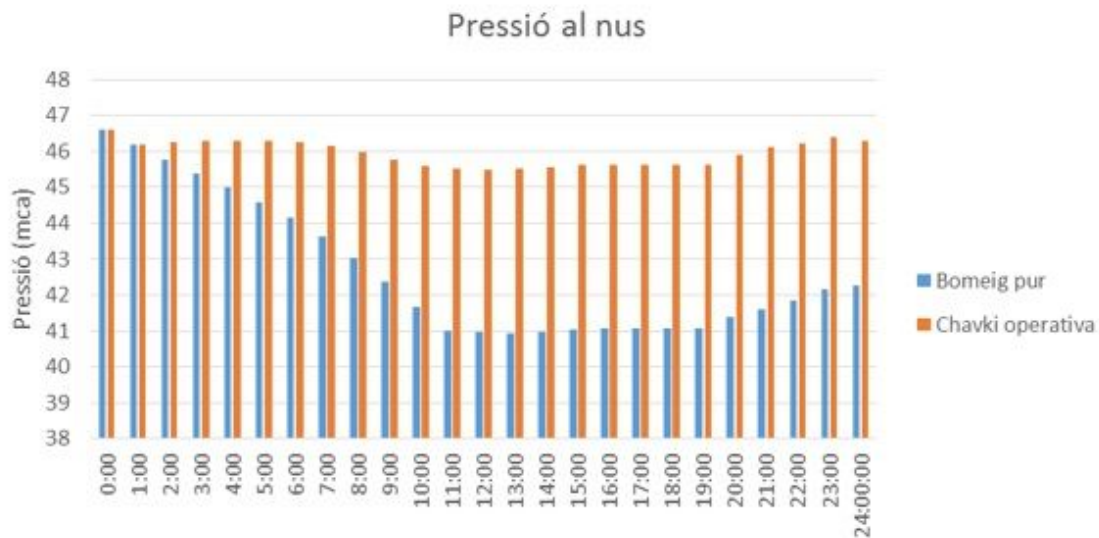


Gràfic 21. Hores del cicle de bombeig, bombeig pur.

No es fins les 12:00h del primer dia de simulació quan les bombes s'engeguen (romanen les 12 primeres hores parades). No obstant el segon període de temps que romanen parades és més curt, ja que aquesta vegada hem partit d'un buidat que comença amb un toll de 5,5m , 0,5 metres inferior que al arrancada de la simulació.

Quedarà preguntar-nos que passarà amb les pressions als nusos. Hem vist com variaven amb la demanda, amb Chakvi oberta. Hem insistit amb que la demanda roman invariable als dos estats de la xarxa. Doncs quedarà veure si és apreciable el descens de pressions amb el distint buidat d'Injalo.

Comparant distints estats de la xarxa, sobre el nus de major cota estudiat anteriorment, i amb el model amb ANR:

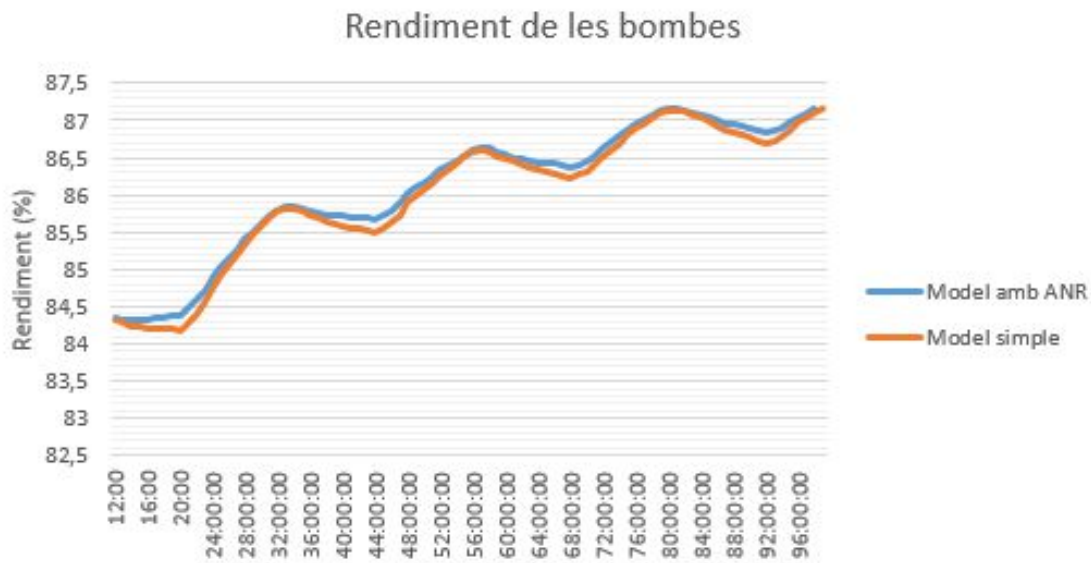


Gràfic 22. Evolució de pressió al nus segons estat de la xarxa (Chavki operativa o fora de servici).

Com podem veure si segueix la tendència abans descrita (la pressió decreix de forma que segueix el buidat d'Injalo). Les diferències de valor entre els dos estats és per tant la diferencia de nivell instantani del toll d'aigua, ja que les pèrdues per fricció són iguals al mantindre el caudal. A les 12:00h quan s'activen les bombes el nivell del toll és d'un metre, i la diferencia de pressions en aquest instant entre els dos estats és de 4,5 m, que a la vegada és la diferencia de nivell de toll d'aigua (5,5m de toll en Chavki funcionant).

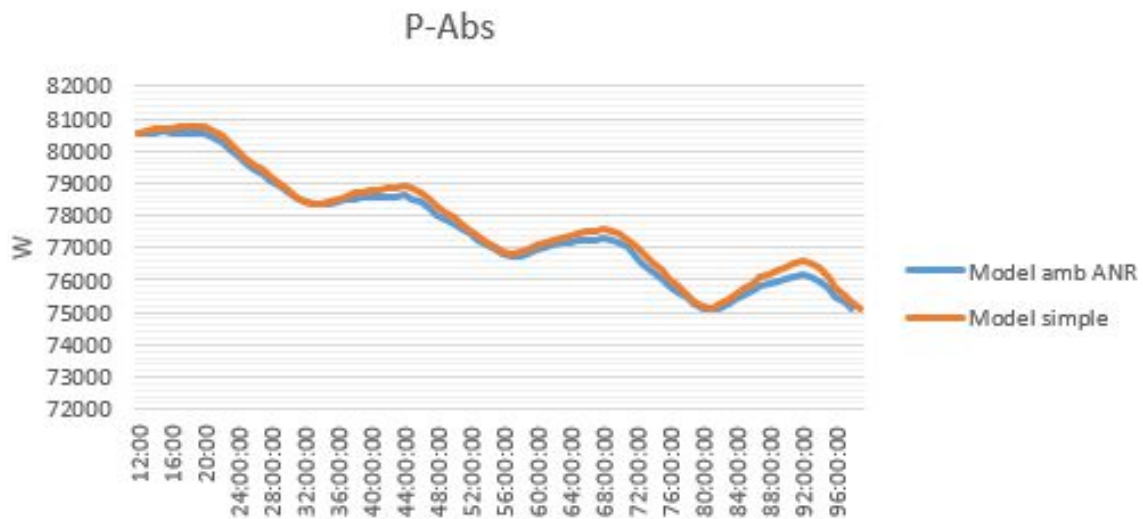
Però en ningun instant, altra vegada, ens situem per d'avall de valors recomanables.

Per últim ens fixarem amb quin rendiment treballen les bombes:



Gràfic 23. Evolució del rendiment de bombeig, bombeig pur.

Com podem veure amb el model amb ANR ens situem en valors de rendiment superior i per tant en valors de potencia absorbida, per bomba menors:



Gràfic 24. Evolució de la potencia absorbida per bomba, bombeig pur.

6. Conclusions

El anàlisi i modelatge de l'aigua no registrada consta d'un procés a llarg termini, amb campanyes de mesura per extraure dades interessants per a calibrar el model matemàtic. Aprofundint amb el comportament real de la xarxa, s'aconsegueix informació que es fa servir per refinar i calibrar el model. Doncs l'abast d'aquest projecte contempla la càrrega del model amb les últimes dades extretes de la mesura de caudalímetres i aparells de mesura de la pressió sobre la xarxa real. S'observa a les simulacions com al model que inclou el tractament de l'aigua no registrada, s'obtenen valors de flux inferiors, sent així les necessitats de flux aportat per bombeig menor. Doncs si s'aproxima, amb una distribució més detallada de l'ANR sobre la xarxa, obtindríem demandes de consum útil inferiors i per tant un volum d'aigua a aportat menor.

7. Bibliografia

1. Apunts assignatura Maquines Hidràuliques, Universitat politècnica de Valencia (2016-2017).
2. José Fco Pons. Apunts Aigua no registrada, Seminari Aigua no Registrada.
3. José Fco Pons. Informes mesura caudal, Batumi (Geòrgia)
4. <http://www.aeas.es/servlet/mgc> . Pàgina web en la que s'ha optés informació sobre estudis de l'aigua no registrada
5. <https://www.iagua.es/noticias/espana/aeas/16/04/25/guia-control-agua-no-registrada-metodologia-correcta-implementacion>. Pàgina web en la que s'ha optés informació sobre estudis de l'aigua no registrada
6. Catàleg Bombes ideal.
7. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arregui, Jorge García-Serra. Auditoría de redes de distribución de agua .

Índex del pressupost

1. Quadre de descomposts.
2. Quadre de preus 1 preus descomposts.
3. Pressupost i amidaments.
4. Resum de pressupost.

QUADRE DE DESCOMPOSATS

CODI	QUANTITAT UD	DESCRIPCIÓ	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
------	--------------	------------	------	----------	--------

CAPITOL 1 Estació de Bombeig

SUBCAPITOL 1.1 Instalación de bombeo

U13EB040 ud BOMBA CENTR.MULT.HOR.2300W-1,5"

Bomba centrífuga multicélular con bancada y motor de eje horizontal con bridas, cuerpo de fundición de Hierro GG-25 e impulsor de fundición de Hierro GG-25, de 81,97kW de potencia, salida a 400mm i entrada 400mm, i/válvula de retención y p.p de tuberías de conexión, así como cuadro de maniobra en armario metálico intemperie conteniendo interruptores, diferencial, magnetotérmico y de maniobra, contactor, relé guardamotor y demás elementos necesarios s/R.E.B.T., i/recibido, instalada.

O01OB170	2.500 h.	Oficial 1ª fontanero calefactor	15.61	39.03	
O01OB195	3.500 h.	Ayudante fontanero	14.03	49.11	
O01OB200	0.500 h.	Oficial 1ª electricista	15.00	7.50	
P26EBS040	1.000 ud	RNI 150-40	40,000.00	40,000.00	
P26VT002	1.000 ud	Válv.de pie/retención D=400mm	1,632.07	1,632.07	
P26EM025	1.000 ud	Cuadro mando electrobomba 1,5 CV	368.23	368.23	

TOTAL PARTIDA..... 42,095.94

Puja el preu total de la partida a l'esmentada quantitat de QUARANTA-DOS MIL NORANTA-CINC EUROS amb NORANTA-QUATRE CÈNTIMS

A10016 ud Válvula mariposa, ø 400 mm, 1,6 MPa, instalada

Válvula de mariposa de diámetro 400 mm, presión de trabajo hasta 1,6 MPa, con cuerpo de fundición dúctil GGG-40, wafer (sin bridas) con desmultiplicador, eje de acero inoxidable, disco concéntrico de acero inoxidable sobre junta de EPDM vulcanizada, revestimiento de pintura epoxi con espesor mínimo de 150 micras, volante, con p.p. de juntas y tornillería, instalada.

O01018	2.300 h	Cuadrilla B	30.67	70.54	
M01090	1.300 h	Grúa 101/130 CV, 5 t	41.66	54.16	
P15016	1.000 ud	Válvula mariposa ø 400 mm 1,6 MPa (p.o.)	1,632.07	1,632.07	
%2.5CI	2.500 %	Costes indirectos 2,5%	1,756.80	43.92	

TOTAL PARTIDA..... 1,800.69

Puja el preu total de la partida a l'esmentada quantitat de MIL VUIT-CENTS EUROS amb SEIXANTA-NOU CÈNTIMS

QUADRE DE DESCOMPOSATS

CODI	QUANTITAT UD	DESCRIPCIÓ	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
A10016B		ud Caudalímetro electromagnético DN400			
<p>Caudalímetro electromagnético de diámetro 400 mm, presión de trabajo hasta 1,6 MPa, con cuerpo de fundición dúctil GGG-40, con p.p. de juntas y tornillería, totalmente probado e instalado.</p>					
O01018	2.300 h	Cuadrilla B	30.67	70.54	
P15016B	1.000 ud	Caudalímetro electromagnético ø 400 mm 1,6 MPa (p.o.)	3,500.00	3,500.00	
M01090	1.300 h	Grúa 101/130 CV, 5 t	41.66	54.16	
%2.5CI	2.500 %	Costes indirectos 2,5%	3,624.70	90.62	
TOTAL PARTIDA					3,715.32

Puja el preu total de la partida a l'esmentada quantitat de TRES MIL SET-CENTS QUINZE EUROS amb TRENTA-DOS CÈNTIMS

QUADRE DE PREUS 1

CODI	UD	DESCRIPCIÓ	PREU
------	----	------------	------

CAPITOL 1 Estació de Bombeig

SUBCAPITOL 1.1 Instalación de bombeo

U13EB040	ud	BOMBA CENTR.MULT.HOR.2300W-1,5"	42,095.94
----------	----	---------------------------------	-----------

Bomba centrífuga multicélular con bancada y motor de eje horizontal con bridas, cuerpo de fundición de Hierro GG-25 e impulsor de fundición de Hierro GG-25, de 81,97kW de potencia, salida 400mm i entrada 400mm, i/válvula de retención y p.p de tuberías de conexión, así como cuadro de maniobra en armario metálico intemperie conteniendo interruptores, diferencial, magnetotérmico y de maniobra, contactor, relé guardamotor y demás elementos necesarios s/R.E.B.T.,i/recibido, instalada.

QUARANTA-DOS MILNORANTA-CINC EUROS amb NORANTA-QUATRE CÈNTIMS

A10016 ud	Válvula mariposa, ø 400 mm, 1,6 MPa, instalada	1,800.69
-----------	--	----------

Válvula de mariposa de diámetro 400 mm, presión de trabajo hasta 1,6 MPa, con cuerpo de fundición dúctil GGG-40, wafer (sin bridas) con desmultiplicador, eje de acero inoxidable, disco concéntrico de acero inoxidable sobre junta de EPDM vulcanizada, revestimiento de pintura epoxi con espesor mínimo de 150 micras, volante, con p.p. de juntas y tornillería, instalada.

MIL VUIT-CENTS EUROS amb SEIXANTA-NOU CÈNTIMS

A10016B	ud	Caudalímetro electromagnético DN400	3,715.32
---------	----	-------------------------------------	----------

Caudalímetro electromagnético de diámetro 400 mm, presión de trabajo hasta 1,6 MPa, con cuerpo de fundición dúctil GGG-40, con p.p. de juntas y tornillería, totalmente probado e instalado.

TRES MIL SET-CENTS QUINZE EUROS amb TRENTA-DOS CÈNTIMS

PRESSUPOST I AMIDAMENTS

CODI	DESCRIPCIÓ	UTS	LONGITUD	AMPLADA	ALÇADA	PARCIALS	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPITOL 1 Estació de Bombeig									
SUBCAPITOL 1.1 Instalación de bombeo									
U13EB040	ud BOMBA CENTR.MULT.HOR.2300W-1,5"								
	Bomba centrífuga multicélular con bancada y motor de eje horizontal con bridas, cuerpo de fundición de Hierro GG-25 e impulsor de fundición de Hierro GG-25, de 81,97kW de potencia, salida a 400mm i entrada 400mm, i/válvula de retención y p.p de tuberías de conexión, así como cuadro de maniobra en armario metálico intemperie conteniendo interruptores, diferencial, magnetotérmico y de maniobra, contactor, relé guardamotor y demás elementos necesarios s/R.E.B.T., i/recibido, instalada.								
		2					2.00	42,095.94	84,191.88
A10016	ud Válvula mariposa, ø 400 mm, 1,6 MPa, instalada								
	Válvula de mariposa de diámetro 400 mm, presión de trabajo hasta 1,6 MPa, con cuerpo de fundición dúctil GGG-40, wafer (sin bridas) con desmultiplicador, eje de acero inoxidable, disco concéntrico de acero inoxidable sobre junta de EPDM vulcanizada, revestimiento de pintura epoxi con espesor mínimo de 150 micras, volante, con p.p. de juntas y tornillería, instalada.								
		2					2.00	1,800.69	3,601.38
A10016B	ud Caudalímetro electromagnético DN400								
	Caudalímetro electromagnético de diámetro 400 mm, presión de trabajo hasta 1,6 MPa, con cuerpo de fundición dúctil GGG-40, con p.p. de juntas y tornillería, totalmente probado e instalado.								
		2					2.00	3,715.32	7,430.64
	TOTAL CAPITOL 1 Estació de Bombeig								95,223.90
	TOTAL.....								95,223.90

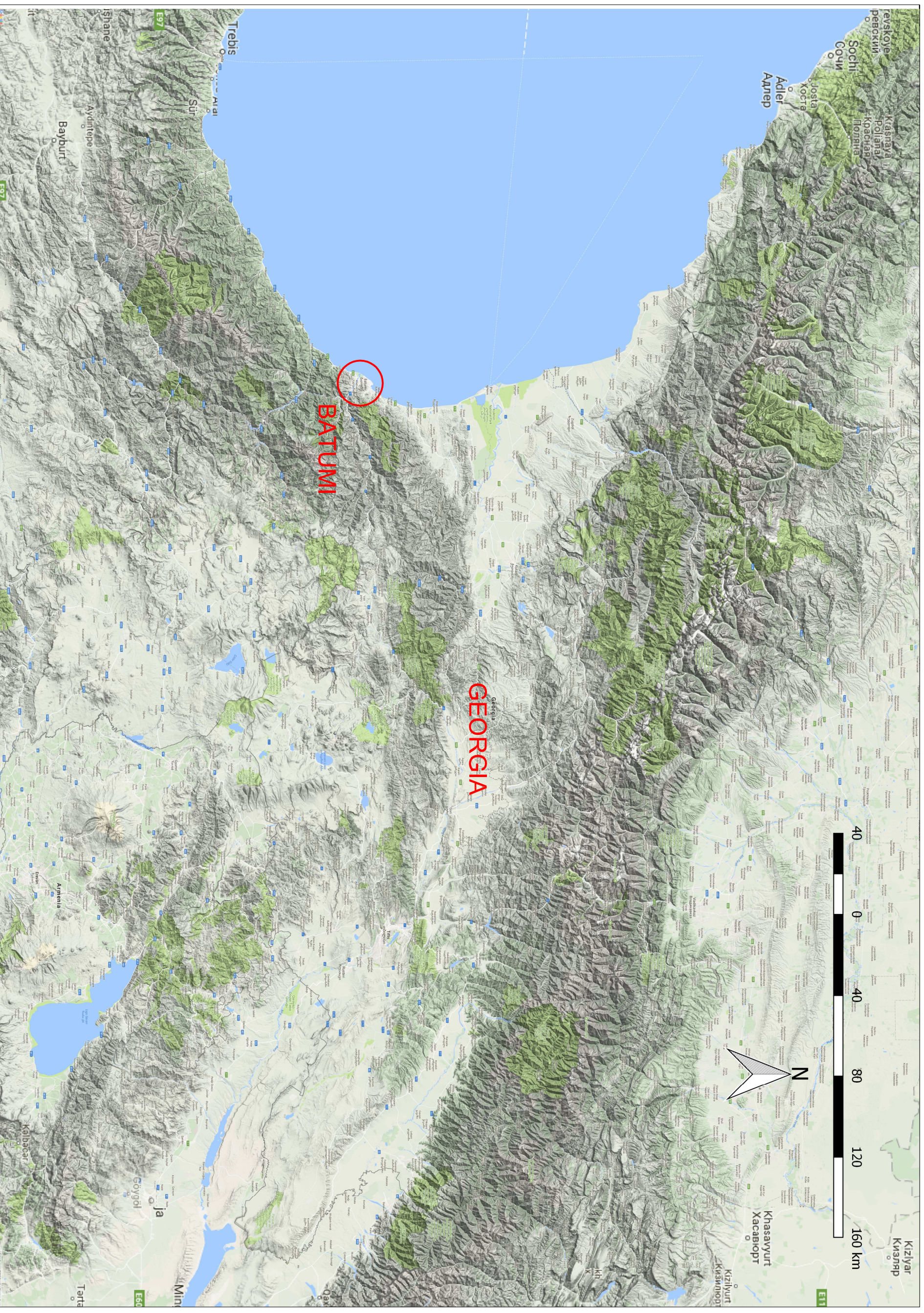
RESUM DE PRESSUPOST

CAPITOL	RESUM	EUROS	%
1.	Estació de Bombeig.....	95,223.90	100.00
	TOTAL EXECUCIÓ MATERIAL	95,223.90	
	13.00 % Despeses Generals	12,379.11	
	6.00 % Benefici industrial.....	5,713.43	
	SUMA DE G.G. y B.I.	18,092.54	
	21.00 % I.V.A.	23,796.45	
	TOTAL PRESSUPOST CONTRACTA	137,112.89	
	TOTAL PRESSUPOST GENERAL	137,112.89	

Puja el pressupost general l'esmentada quantitat de CENT TRENTA-SET MIL CENT DOTZE EUROS amb VUITANTA-NOU CÈNTIMS

Índex dels plànols

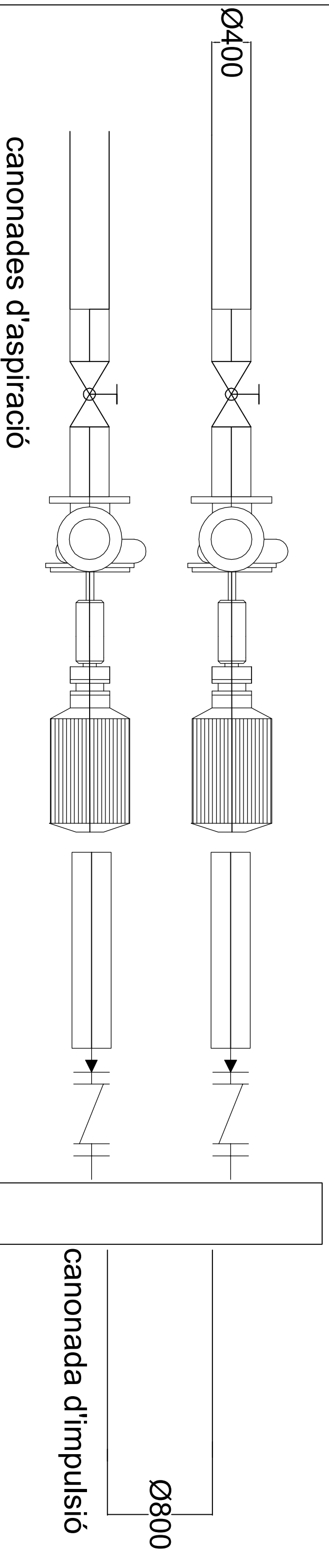
1. Localització de Batumi
2. Emplaçament zona sud de la xarxa
3. Instal·lació de bombeig tipus.





Zona sud de la xarxa

valvules de seccionament



canonades d'aspiració

bombes model RNI 150-40

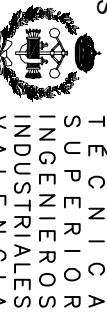
valvules de retenció

canonada d'impulsió

Ø800



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



INSTITUT SUPERIOR D'ENGINYERIA INDUSTRIAL DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Projecte:

Anàlisi del sector sud de la xarxa d'aigua potable de Batumi (Geòrgia) per a la gestió de l'Aigua no facturada i l'optimització de les necessitats de bombeig.

Plano:

Instal·lació bombeig tipus

Autor:

Arturo Pellicer Maseres

Fecha:

Juliol 2017

Escala:

1:1000

Nº Plano:

3