

Projecte - Treball final de carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Caracterització acústica d'una caiguda d'aigua

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Neus Juhé Pairó

Tutor: Alexandre Deltell Carbonell

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Màquines i Motors Tèrmics

Convocatòria (mes/any): Juny 2015

“Amb la caiguda de l'aigua d'una font
formaràs una harmonia com la d'un
instrument amb moltes concordances i veus”
Leonardo da Vinci

ÍNDIX

ÍNDIX	I
ÍNDIX DE FIGURES	IV
ÍNDIX DE TAULES	V
MEMÒRIA	1
1. INTRODUCCIÓ	2
1.1. Antecedents	3
1.2. Objecte	3
1.3. Especificacions i abast	3
2. TEORIA ACÚSTICA	4
2.1. So i soroll	4
2.1.1. Classificació del soroll en funció de la freqüència	5
2.1.2. Classificació del soroll en funció del temps	5
2.2. Nacions Bàsiques	6
2.2.1. Propagació del so	6
2.2.2. Atenuació del so en l'aire lliure	6
2.2.3. Les reflexions	7
2.2.4. Mesurament del soroll i escala decibèlica	9
2.2.5. Nivell de potència sonora	11
2.2.6. Freqüència	12
2.2.7. Corbes de ponderació	12
2.2.8. Espectre de freqüències d'un so: Bandes d'octava	14
2.3. Paràmetres de mesurament	15
2.3.1. Nivell sonor equivalent: $L_{AEQ,T}$	16
2.3.2. Nivells estadístics: $L_{AN,T}$	16
2.3.3. Nivell de contaminació del soroll: NPL	17

2.4. Equips de mesura	18
2.4.1. Sonòmetres	18
2.4.1.1 Elements principals	18
2.4.1.2 Temps d'integració	18
2.4.1.3 Tipus de sonòmetre	19
2.4.2. Calibradors	20
2.4.3. Filtres	20
2.4.4. Enregistradors gràfics i impressores	21
2.5. Càlculs en decibels	21
2.6. Fonts de soroll	22
2.6.1. Font puntual	22
2.6.2. Font en línia	24
2.6.3. Font en superfície	24
2.7. Soroll de trànsit	25
2.8. Efecte de l'emascarament	29
2.8.1. Emmascarament temporal	30
2.8.2. Emmascarament freqüencial	30
2.8.3. Llindar d'emascarament	32
3. COMPORTAMENT DEL DOLL D'AIGUA	33
3.1. Ones i propagació	33
3.2. Disseny del raig d'aigua	33
3.3. Soroll	34
4. ANÀLISIS EXPERIMENTAL	35
4.1. Muntatge	35
4.2. Material necessari	35
4.3. Software utilitzat	37
4.4. Criteris de mesura i metodologia emprada	38

5. RESULTATS	40
5.1. Cabals inicials i finals	40
5.2. Nivell de pressió sonora	41
5.3. Terços d'octava	41
6. TRACTAMENT DE LES DADES	42
6.1. Cabals mitjos	42
6.2. Nivell de l'aigua	43
6.3. Intervals de nivell d'aigua	44
6.4. Bandes d'octava	44
7. ANÀLISIS DELS RESULTATS	46
7.1. Comportament del nivell sonor mig	46
7.2. Anàlisi parcials	47
8. MODEL MATEMÀTIC	49
8.1. Regressió matemàtica	49
8.2. Anàlisi de la importància de les diferents variables de la font en la generació de soroll	50
9. EXEMPLE D'APLICACIÓ	52
9.1. Caracterització del soroll de trànsit	52
9.2. Disseny de la font d'aigua	53
9.3. Zona d'afectació	57
10. CONCLUSIONS	58
11. BIBLIOGRAFIA	59
ANNEXOS	60
A. MESURES	61
B. DADES TRACTADES	98
C. ANÀLISIS DE REGRESSIÓ	171
D. PRESSUPOST	180

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Reflexions d'una superfície dura	7
Figura 2. Cas 1 difracció del so	8
Figura 3. Cas 2 difracció del so	9
Figura 4. Corbes estàndard de ponderació	13
Figura 5. Espectre de freqüències en bandes de octava	14
Figura 6. Atenuació del nivell de pressió d'una font puntual en relació a la distància	23
Figura 7. Atenuació de les ones sonores	25
Figura 8. Principals causes de soroll	25
Figura 9. Emmascarament temporal	30
Figura 10. Emmascarament freqüencial	32
Figura 11. Ones capil·lars	33
Figura 12. Secció raig d'aigua	34
Figura 13. Bombolles produïdes per l'impacte del doll d'aigua	34
Figura 14. Fotografies del dispositiu experimental en el seu conjunt	35
Figura 15. Estructura	35
Figura 16. Recipient receptor	36
Figura 17. Proveta i cronòmetre (captura pantalla telèfon mòbil)	36
Figura 18. Sistema de mesura Symphonie 01dB	36
Figura 19. Conjunt del micròfon	37
Figura 20. Programa Trig32	37
Figura 21. dB Trait, història temporal espectral	38
Figura 22. Representació alçada (H)	39
Figura 23. Pantalla exemple dBTrait dels valors dels terços d'octava per cadascuna de les freqüències	41
Figura 24. Representació gràfica del nivell de soroll mig vs nivell d'aigua, banda ampla.	46
Figura 25. Gràfic de la variable H	47
Figura 26. Gràfic de la variable Q	48
Figura 27. Gràfic variació quantitat de moviment	48
Figura 28. Esbós del cas d'aplicació	52
Figura 29. Simulació dels nivells d'immissió generats pel trànsit	53
Figura 30. Disseny de la font amb els seus paràmetres	54
Figura 31. Representació gràfica espectral dels nivells de soroll adaptats	55
Figura 32. Simulació de soroll generat per la font d'aigua.....	57
Figura 33. Zona d'emascarament	57

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Nivells de pressió sonora	11
Taula 2. Bandes d'octava i atenuació del filtre A al centre de la banda	15
Taula 3. Dades dels cabals inicials i finals	40
Taula 4. Dades dels cabals mitjos	42
Taula 5. Exemple mesures en funció del nivell d'aigua	43
Taula 6. Exemple intervals de nivell d'aigua M69-A	44
Taula 7. Taula resum dels valors de banda d'octava de M69-A	45
Taula 8. Coeficients per 1000 Hz	49
Taula 9. Coeficients per l'expressió multi-logarítmica	50
Taula 10. Variació del nivell de soroll	51
Taula 11. Característiques de la carretera C-162	53
Taula 12. Nivells de soroll de la font d'aigua	54
Taula 13. Nivells de soroll adaptats de la font d'aigua	55
Taula 14. Nivells de potència a $r=0,63m$	56
Taula 15. Nivells de potència per 4 dolls d'aigua	56

MEMÒRIA

1 INTRODUCCIÓ

Cada cop es dóna més importància a la protecció del medi ambient, ja que aquest és un factor de qualitat de vida. Per tant la població es sensibilitza cada cop més amb determinades incidències ambientals que sense suposar un risc directe per la salut o per el medi, comporten una disminució de la qualitat de vida que desitgem.

El soroll pot incloure's dins d'aquest marc. Sovint hi ha situacions en què la contaminació acústica és un problema agut que necessita d'actuacions directes, tot i que generalment el soroll s'associa a fenòmens de fons que ocasionen molèsties i incomoditats, situacions que també s'han de corregir.

Ara bé, aquest soroll ambiental és la suma de moltes fons, la qual cosa dificulta l'objectiu de reduir el soroll i exigeix per aconseguir-ho, no només actuacions de les administracions públiques, sinó també un grau de compromís cívic individual molt important.

D'una manera simple es pot definir el soroll com un so no desitjat o molest, d'una manera més completa podem dir que és el conjunt de fenòmens vibratoris aeris, percebuts i integrats pel sistema auditiu, que en determinades circumstàncies pot originar molèsties o fins i tot lesions a l'oïda.

La relació entre soroll i molèstia ha donat lloc que diferents investigadors hagin intentat trobar-hi explicacions diverses que ens permeten entendre els comportaments i com es genera la molèstia respecte al soroll, tant en el pla individual com el col·lectiu. En situacions en què el soroll de fons és molt baix, hi ha sorolls que són percebuts com a molestos tan sols pel fet que se senten. Altres sorolls són més tolerats si els nivells màxims són esporàdics i no gaire elevats, com és el cas del soroll de trànsit llunyà. També hi ha sorolls que a partir de certs nivells són percebuts com molestos encara que siguin de durada relativament curta, com ara sorolls aguts de motocicletes de petit cubicatge, el pas d'autobusos i camions pesats o de vehicles de recollida de deixalles.

El soroll pot generar interferències que pertorben el desenvolupament normal de determinades accions com ara el repòs, la lectura, el lleure, etc., i que originin molèsties de grau diferent segons el lloc on es produeixin i la sensibilitat personal dels receptors.

Alguns investigadors remarquen els efectes del soroll sobre la salut. Consideren que les perturbacions del soroll poden ser un pas cap a la malaltia. La molèstia en seria un estadi

intermedi i a la vegada un senyal d'alarma. El fet d'habituar-se al soroll no es produeix sense un cost a càrrec de l'organisme. Aquest cost és diferent segons cada persona.

Si bé l'exposat fins ara no explica tota la complexitat de la relació entre el soroll i la molèstia, permeten comprendre-la millor i valorar la importància d'emprendre accions per reduir o emmascarar aquest soroll.

1.1 Antecedents

En el disseny acústic d'ambients, tant d'interiors com d'exterior, la utilització del so de fonts i caigudes d'aigua és àmpliament emprat, bé sigui com a so de percepció relaxant, o simplement com a so per emmascarar d'altres sorolls, com podria ser el soroll de trànsit rodat.

Molts cops, el disseny d'aquestes caigudes d'aigua, pel que fa a les seves característiques acústiques, es realitza segons un mètode de prova i error o simplement, aquestes característiques no es controlen.

1.2 Objecte

L'objectiu del projecte és determinar, de forma experimental, el nivell de soroll i l'espectre produïts per una caiguda d'aigua típica, projectada paral·lelament a un recipient receptor que conté un determinat nivell d'aigua.

S'avaluarà el comportament de diferents combinacions de diferents paràmetres bàsicament el cabal de la caiguda d'aigua, l'alçada i el nivell d'aigua del recipient receptor.

1.3 Especificacions i abast

El projecte d'estudi de soroll, té com a objectiu final conèixer la importància relativa dels diferents paràmetres en el nivell de soroll i l'espectre produïts per la caiguda d'aigua i poder fer el disseny del mateix en base a un objectiu de nivell de pressió acústica resultant, avaluant també l'espectre esperat.

L'abast del projecte, limitat per la part experimental, comprendrà caigudes d'aigua, d'entre 10 i 90 ml/s de cabal, alçades de la caiguda d'entre 30 i 69 cm i nivells d'aigua del recipient receptor d'entre 0 i 10 cm.

2 TEORIA ACÚSTICA

En aquest apartat s'exposen els conceptes i definicions referents al camp de l'acústica necessaris per poder entendre el contingut del projecte.

2.1 Definició de soroll

Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS) el soroll és “un fenomen acústic que produeix una sensació auditiva considerada desagradable que pot produir efectes fisiològics, socio-psicològics i patològics no desitjables”.

També podem dir que el soroll és el conjunt de fenòmens vibratoris aeris, percebuts i integrats pel sistema auditiu, que en determinades circumstàncies pot originar molèsties, o fins i tot lesions a l'oïda.

La complexitat de la relació entre soroll i molèstia ha donat lloc a que diferents investigadors hagin intentat trobar-hi explicacions diverses. Aquestes explicacions ens permeten d'entendre o de copsar millor els comportaments i com es genera la molèstia respecte el soroll.

Diferents accions possibles a emprendre per reduir el soroll són:

- L'ús de les unitats, dels paràmetres i de les tècniques adequades per determinar i avaluar el soroll d'una manera representativa, per tal que un fenomen de tipus subjectiu com és el grau de molèstia pugui ser correlacionat amb eines i mètodes objectius.
- La planificació del territori ha de permetre prevenir al màxim possible la interferència d'espais d'usos no compatibles.
- L'establiment de reglamentacions i ordenances de soroll que permetin d'evitar situacions de conflicte i en tot cas reduir-ne la durada.
- El control de nivells, projectes acústics, comprovació d'aïllaments i muntatges d'instal·lacions és també una manera d'evitar i reduir molèsties.
- La sensibilització i educació personal i col·lectiva n'és també una part important ja que se situa a un nivell on el comportament pot derivar en actes molestos o no.

- Finalment en situacions on hi ha consolidats nivells de soroll i de molèstia elevats és on caldrà emprendre accions de reducció del soroll per millorar la situació existent.

2.1.1 Classificació del soroll en funció de la freqüència

El soroll es pot classificar, també, pel domini de la freqüència:

- Soroll blanc: és un tipus de soroll amb espectre pla, és a dir, té la mateixa energia en totes les freqüències. Si es representa aquesta energia en bandes de freqüència el nivell augmenta 3 dB per octava.
- Soroll rosa: és un tipus de soroll que no té resposta uniforme en tot l'ample de banda, sinó que el nivell d'energia decreix a raó de 3 dB per octava. Si es representa en bandes de freqüència es veu que el nivell roman constant.
- Soroll tonal: aquest tipus de soroll representa al seu espectre una marcada component tonal i es pot sentir clarament el to pur. Sol presentar harmònics de la freqüència fonamental . Per exemple, un ventilador o un compressor.

2.1.2 Classificació del soroll en funció del temps

Classificació segons els temps:

- Continu constant: soroll amb un nivell de pressió sonora que esdevé constant o presenta petites fluctuacions (menors a 5 dB).
- Fluctuant: soroll amb un nivell de pressió sonora que fluctua al llarg del temps. Aquestes fluctuacions poden ser periòdiques o aleatòries.
- Impulsiu: soroll amb un nivell de pressió sonora que es manifesta per impulsos. Es caracteritza per un ascens brusc del soroll i una duració total del impuls molt breu en relació al temps entre impulsos.

2.2 Nocions Bàsiques

2.2.1 Propagació del so

El so és una vibració mecànica que es propaga en un medi, gas, líquid o sòlid, capaç de ser percebuda per l'oïda.

El medi en el qual es propaguen les ones sonores ha de tenir massa i elasticitat. Per tant, el so no es propaga en el buit. El soroll es propaga per un medi aeri, tal i com s'expressa a l'Equació 1, depenent només de la densitat de l'aire i la pressió atmosfèrica:

$$c = \sqrt{\frac{1,4 \cdot P_s}{\rho}} \quad (\text{Eq.1})$$

On,

c: velocitat de propagació de l'ona sonora en el medi (m/s)

P_s : Pressió Atmosfèrica (Pa)

ρ : Densitat de l'aire (kg/m^3)

Anomenem transmissió aèria la propagació del so a través de l'aire. La transmissió per estructura es defineix com la propagació d'ones des de la font sonora a través dels elements sòlids o líquids que la suporten o estan en contacte amb ella.

2.2.2 Atenuació del so en l'aire lliure

A més a més de la distància, altres elements modifiquen la propagació de les ones sonores en l'aire lliure: les reflexions degudes al tipus de terreny, les atenuacions degudes a edificis que s'interposen entre la font sonora i el receptor, la vegetació i les condicions atmosfèriques.

Les ones sonores reflectides en superfícies de terreny dures o poc poroses, com l'asfalt, els paviments o els estanys, en combinar-se amb l'ona directa que arriba de la font sonora al receptor, poden donar lloc a fenòmens d'interferència i es poden produir reduccions de nivells a freqüències determinades. Aquests fenòmens depenen de l'angle de reflexió i de la diferència de recorreguts entre l'ona reflectida i la directa. Les reflexions degudes a edificis incrementen el nivell de l'ona sonora directa. Si l'edifici s'interposa entre la font sonora i el receptor, hi ha reducció de soroll per l'efecte pantalla.

2.2.3 Les reflexions

Un dels altres fenòmens que modifiquen la propagació de les ones sonores en l'aire lliure és l'efecte de les reflexions.

Les ones sonores reflectides en superfícies de terreny dures o poc poroses, com l'asfalt, els paviments o les aigües de rius o llacs, en combinar-se amb l'ona directa que arriba de la font sonora al receptor, poden donar lloc a fenòmens d'interferència i es poden produir augments de nivells a freqüències determinades. De la mateixa manera, un sòl mullat o una làmina d'aigua, augmenten el nivell de la reflexió. Aquests fenòmens depenen de l'angle de reflexió i de la diferència de recorreguts entre l'ona reflectida i la directa.

Els terrenys tous i porosos com l'herba, la pinassa o la neu, també modifiquen el nivell resultant de les ones directes i reflectides; però en aquest cas disminuint-les, donat que es produeix un repartiment espacial de l'energia acústica.

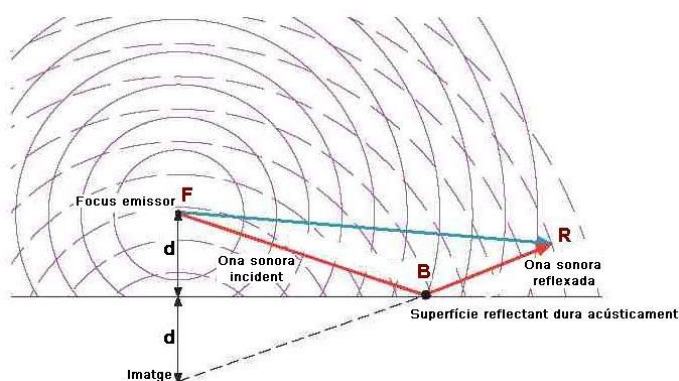


Figura 1. Reflexions d'una superfície dura

A la Figura 1, s'aprecia gràficament el que s'ha descrit anteriorment per una superfície reflectora dura, des del punt de vista acústic. Si des del focus emissor "F", situat a una altura "d" sobre el nivell del terra, es dibuixa el seu simètric i s'uneix mitjançant una recta aquest punt simètric amb el punt de tall de l'ona sonora incident amb el terra, "B" i la perllonguem, obtindrem l'ona sonora reflectida que incidirà en el receptor "R"; de tal manera que en aquest punt receptor s'incrementarà la pressió sonora rebuda directament (F, R), amb la reflectida (F, B, R).

Havent descrit aquest efecte, s'entendrà que les reflexions degudes a edificis incrementen el nivell de l'ona sonora directa. De fet, quan es parla d'un nivell sonor mesurat a l'exterior d'un edifici, s'ha de tenir en compte l'augment de pressió sonora deguda a reflexions que, generalment, s'assumeix que és de +3 dBA.

Difraccions del so

La difracció és un fenomen que es produeix quan en la propagació d'una ona, aquesta troba un obstacle o una obertura de dimensions comparables a les de la seva longitud d'ona.

La difracció és característica del moviment ondulatori i permet discernir si un fenomen és o no de naturalesa ondulatoria.

A la següent Figura 2, es poden observar diferents casos de difracció.

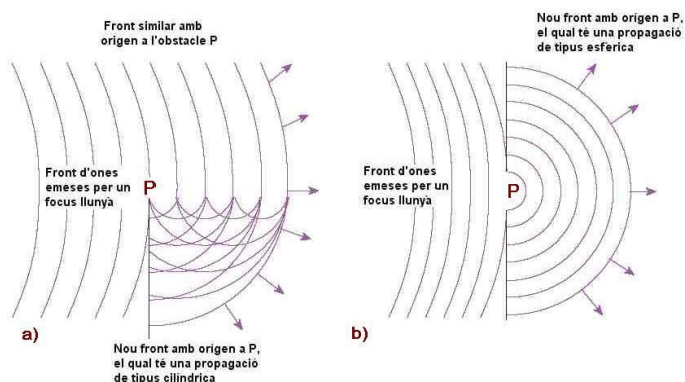


Figura 2. Cas 1 difracció del so

- a) Quan un front d'ones sonores emeses per un focus llunyà xoca contra un obstacle com el dibuixat (una paret que finalitza en el punt "P" -vista en planta- ; o una barrera acústica que la seva part superior és el punt "P" -vista en secció-) a partir de del seu extrem; s'originen dos nous fronts, el superior similar a l'original i un altre secundari amb origen a "P" la propagació del qual és de tipus cilíndric.
- b) Quan un front d'ones sonores emeses per un focus llunyà xoca contra un obstacle com el dibuixat (una paret amb una petita obertura o una finestra relativament petita) "P", a partir d'aquest punt s'origina un nou front la propagació del qual és de tipus esfèric.

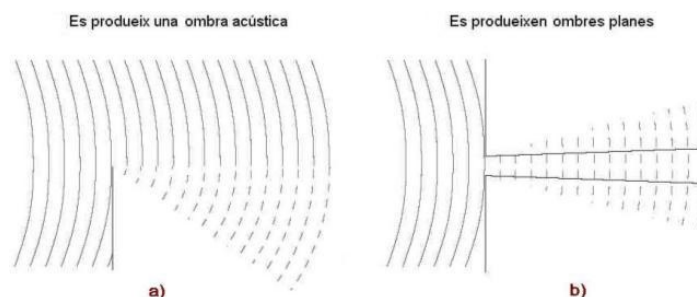


Figura 3. Cas 2 difracció del so

A la Figura 3, es poden observar dos casos més de difracció.

- a) Similar al de la Figura 2, permet un aclariment al presentar-lo en una escala més gran, doncs si bé en la part superior (propera al punt "P") es produeix el "front secundari" esmentat, quan més ens anem separant vertical i horitzontalment d'aquesta zona s'origina una debilitació (zona d'ombra).
- b) Quan la petita obertura es perllonga mitjançant un "passadís", a partir d'aquest punt s'origina un nou front la propagació del qual és semblant a la de les ones planes.

2.2.4 Mesurament del soroll i escala decibèlica

La magnitud que s'utilitza per avaluar la pertorbació de l'estat d'equilibri del medi on es propaga una ona sonora és la pressió sonora, que és la variació de pressió per sobre i per sota de la pressió atmosfèrica. Es mesura en newtons per m^2 (N/m^2) o pascals (Pa). La pressió sonora depèn no només de la font de soroll, sinó també del recinte on es troba ubicada, de la distància i orientació del receptor i de les condicions ambientals de l'entorn.

Les pressions sonores són molt petites comparades amb la pressió atmosfèrica, que és de $101.300 N/m^2$. El llindar d'audició, és a dir, el nivell mínim de pressió sonora d'un so perquè sigui audible, és de $0,00002 N/m^2$. El llindar del dolor, en què la pressió sonora és tan elevada que arriba a fer mal al timpà, és d'uns $20 N/m^2$.

Veiem doncs, que l'escala de pressions sonores a què el nostre sistema auditiu és sensible comprèn valors que guarden una relació d'1:10⁻⁶ entre el més gran i el més petit. Per la qual cosa, la utilització d'una escala lineal és inadequada.

D'altra banda, l'oïda humana no respon linealment als estímuls que rep, sinó que més aviat ho fa de manera logarítmica. Per exemple, en doblar la pressió sonora (estímul) no es dobla la sensació sonora.

De totes maneres, cal tenir en compte que els logaritmes poden utilitzar-se únicament amb números sense dimensió. Per tant, i per tal d'eliminar la dimensió (N/m^2), es divideix cadascun dels valors de pressió sonora entre la pressió llindar inferior de l'oïda humana $0,00002 \text{ N/m}^2$ anomenada pressió de referència. En l'escala logarítmica obtinguda el llindar d'audició queda comprimit a valors entre el 0 i el 6.

$$\log\left(\frac{0,00002}{0,00002}\right) = 0$$

$$\log\left(\frac{20}{0,00002}\right) = 6$$

En l'escala decibèlica, que és la utilitzada per mesurar els nivells de pressió sonora (L_p), aquests valors s'han multiplicat per 20 i els valors obtinguts s'expressen en decibels (dB). Per tant, $0,00002 \text{ N/m}^2$ correspon amb 0 dB en l'escala decibèlica, 20 N/m^2 correspon amb 120 dB i una pressió sonora p es correspon amb el valor. Així doncs, tal i com s'expressa a l'Equació 2, permet calcular el nivell de pressió sonora en dB a partir d'una pressió sonora p qualsevol expressada en N/m^2 .

$$L_p = 10\log\left(\frac{p^2}{0,00002^2}\right) = 20\log\left(\frac{p}{0,00002}\right) \quad (\text{Eq.2})$$

Finalment, destacar que la més petita variació sonora perceptible per l'orella humana és d'1 dB i, en l'escala decibèlica, 1 dB representa un canvi en la sensació sonora igual en tota l'escala.

Un augment de 6 dB equival a doblar la pressió sonora, però per produir un so de sonoritat doble és necessari un augment de 10 dB.

Qualsevol dels sons que percebem habitualment és comprès en un nivell de pressió sonora entre 0 dB i 120 dB, tal i com es mostra a continuació a la Taula 1.

dBA	N/m ²	NATURALS	HUMANS	DANYS
180	20.000		Míssils	Greu dany auditiu
160	2.000		Llançament coet especial	
150	630		Esclat sònic	
140	200		Explosió barrinada, avió	
130	63	Erupció volcànica	Enlairar-se reactor, canó	
120	20	Cascada d'aigua	Martell pneumàtic, concert de rock, màxim veu humana	Perill de sordesa temporal, mal de cap, nàusees
110	6,3	Huracà	Serra mecànica, discoteca	
100	2	Tempesta forta	Botzina de cotxe, arma de foc	
90	0,63	Tempesta	Túnel de tren, estació de metro, moto amb silenciador.	
80	0,2	Ones del mar	Tractor, despertador, conversa a 15 cm	Sensació d'aclapament
70	0,063	Pluja	Tràfic, grans magatzems, restaurant, TV, ràdio	
60	0,02	Raucar de granota	Aire condicionat, conversa normal, botiga	Possible cansament
50	0,0063	Ruixim	Ràdio baixa, oficina, teatre	
40	0,002	Piular d'un ocell	Parlar baix, casa de pagès, jardí	Quietud
30	0,00063	Brisa	Xiuxiueig, dormitori, biblioteca	
20	0,0002	Moviment de fulles	Rellotge, estudi d'emissora, hospital	
10	0,000063	Vol d'un mosquit	Ordinador, nit al camp, murmuris a 1m	
0	0,00002		Llindar d'audició	

Taula 1. Nivells de pressió sonora

Font: Pròpia

2.2.5 Nivell de potència sonora

Una altre de les característiques fonamentals d'una font sonora és la potència que radia que es defineix com l'energia sonora per unitat de temps que emet i es mesura en watts (W). La potència sonora, a diferència de la pressió sonora, és un paràmetre de la font de soroll i no depèn de res més.

L'orella humana respon a un camp molt ampli de potències sonores; entre el límit dolorós (100.000 W) i el límit inferior d'audició (0,000000001 W) existeix una relació aproximada de 10^{14} . A causa d'aquesta diversitat de valors, i al igual com succeeix amb la pressió sonora, s'imposa la utilització d'una escala logarítmica per expressar el nivell de potència sonora que representa el nivell de so en un punt concret de l'espai a una distància determinada de la font.

La potència base de referència ha estat fixada en 10^{-12} W, a partir de la qual, el nivell de potència sonora (L_w), expressada en dB, d'una font sonora que emet una potència W , expressada en watts, es calcula a partir de l'Equació 3.

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) \quad (\text{Eq.3})$$

2.2.6 Freqüència

El so i el soroll són el resultat de la combinació de tons purs d'ones de diferents freqüències. Les anàlisis d'un so o d'un soroll per freqüències tenen per finalitat descriure la contribució de tons diferents per saber-ne la composició.

Un to pur com el que dona l'excitació d'un diapasó té un nombre d'oscil·lacions per segon ben determinat com, per exemple, la nota musical "la", que correspon a 440 cicles/s, és a dir, a una freqüència de 440 oscil·lacions/s. La unitat del nombre d'oscil·lacions és l'hertz, que se simbolitza amb Hz. 1 Hz correspon a una oscil·lació per segon.

2.2.7 Corbes de ponderació

El nostre sistema auditiu és capaç, en termes generals, de captar freqüències entre 20 i 20.000 Hz, però la resposta de la nostra oïda no és lineal. L'oïda humana filtra o atenua més els tons greus o freqüències baixes que els aguts o freqüències altes.

Per simular una corba d'atenuació semblant a la corba de resposta de l'oïda, es va adoptar, internacionalment, una corba o filtre anomenat A que incorporen els equips de mesurament del so. D'aquesta manera, l'equip interpreta el so que li arriba semblantment a com ho fa l'oïda.

Fins no fa gaire s'utilitzaven també altres tipus de corbes de ponderació anomenades B, C i D. Avui en dia estan en desús, tot i que algunes d'elles es fan servir puntualment com, per exemple, la D en el cas de mesurament del soroll produït per avions. A la Figura 4, es pot observar la representació d'aquestes corbes de ponderació.

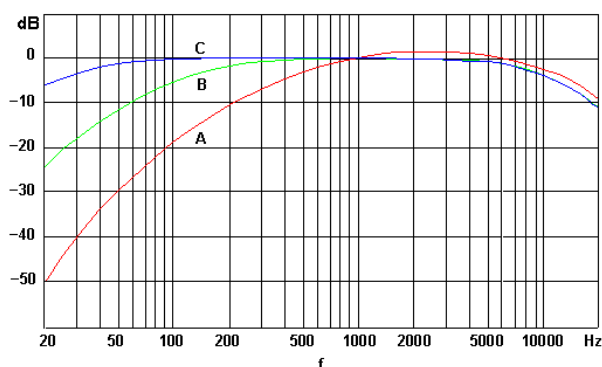


Figura 4. Corbes estàndard de ponderació

Font: *Manual de Mesurament i avaluació del soroll*

Alguns equips de mesura de so inclouen comandaments que permeten fer lectures lineals, és a dir, sense corbes de ponderació, amb resposta totalment plana o lineal entre 10 Hz i 20000 Hz o, fins i tot, entre 1 Hz i 70000 Hz. L'aplicació principal és enregistrar el so o les vibracions en un suport magnètic o digital, sense introduir modificacions al so original, per tal de poder fer anàlisis posteriors. En aquest cas escriurem, per exemple, 76 dB L_{in} .

Sempre que es facin lectures amb la corba de ponderació A, o amb d'altres, cal indicar-ho clarament. Una forma, per exemple, és posar 76 dBA, si aquests 76 dB han estat mesurats o calculats amb la corba A. Però és millor escriure L_{pA} 76, d'acord amb les normes de la "International Standard Organization" (ISO), que són, a més, les que utilitza la Unió europea (UE).

2.2.8 Espectre de freqüències d'un so: Bandes d'octava

El mesurament del soroll global amb el filtre de ponderació A permet resoldre la major part de mesuraments, però a vegades és necessari conèixer el seu espectre per freqüències.

Les fonts de soroll són molt diverses i generen sons compostos per una combinació d'ones sonores de diferents freqüències a diferents intensitats o amplituds, que són variables durant el temps.

Per a procedir a la caracterització detallada dels sorolls es necessari conèixer la contribució relativa de cada component de freqüència al nivell de soroll total.

Els estudis d'avaluació del soroll es basen en l'anàlisi detallat de cada a una:

- Identificació de les fonts de soroll ja que cadascuna genera espectres característics.
- Selecció de mesures preventives i correctores a adoptar. Cada material acústic, aïllants i absorbents tenen un comportament diferent per a les diferents freqüències del so incident.
- Avaluació de l'efecte del soroll.

L'espectre d'un so consisteix en la descomposició en les diferents freqüències que el constitueixen i en l'obtenció del valor de nivell sonor en dB de cada freqüència. És un instrument imprescindible per la seva caracterització i avaluació.

Com que hi ha un gran rang de freqüències audibles entre 20 i 20000 Hz, amb la finalitat d'obtenir informació palpable, les freqüències s'agrupen en bandes que conformen la distribució espectral d'un soroll i els seus amplitudins estan normalitzats. Els diferents amplitudins s'utilitzen depenen la precisió desitjada de l'anàlisi.

Els amplitudins més utilitzats són els d'una octava i un terç d'octava. En els primers es compleix que la freqüència més alta dobla la més baixa, $f_2/f_1=2$. En les segones es basen en dividir l'octava en tres parts, el que fa que la subdivisió és molt més restrictiva.

Les freqüències centrals o principals en Hz són: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 i 16000 Hz. El resultat es representa en un gràfic cartesià amb les freqüències a l'eix d'abscisses i els nivells a l'eix d'ordenades, tal i com es mostra a la següent Figura 5.

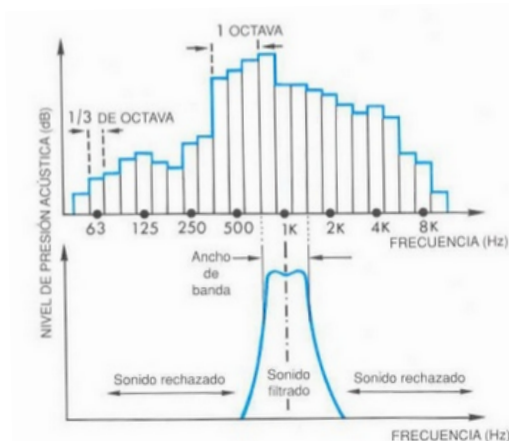


Figura 5. Espectre de freqüències en bandes de octava

Font: *Jornada de Control del ruido en buques*

En general, s'entén que les freqüències inferiors a 250 Hz són les freqüències baixes de l'espectre o sons greus; les d'entre 500 i 1000 Hz són freqüències mitjanes o sons mitjans, i les de més de 1000 Hz són freqüències agudes o sons aguts. Però aquesta divisió és encara massa àmplia per disposar d'una anàlisi acurada de la descomposició del so en freqüències.

Pel que fa al soroll ambiental i quan sigui necessari fer un anàlisi per freqüències, en general és suficient analitzar el nivell a cada banda d'octava entre la dels 63 Hz i els 4000 Hz.

A continuació a la Taula 2, es mostra el valor central de cada una de les bandes d'octava de l'espectre audible, juntament amb l'atenuació en dB que li correspon a cada banda d'octava, de la corba de ponderació A.

Freqüències centrals de les bandes d'octava (Hz)	Atenuació corba A (dB)
31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1.000	0
2.000	1,2
4.000	1
8.000	-1,1

Taula 2. Bandes d'octava i atenuació del filtre A al centre de la banda

Font: *Medida y control del ruido*

Per un bon disseny de l'aïllament acústic s'ha de tenir en compte l'espectre de freqüències del soroll dominant i utilitzar un aïllant que tingui un comportament semblant a aquest espectre. Per exemple en el soroll generat per equips climatitzadors s'han d'utilitzar aïllants que responguin millor a freqüències altes.

2.3 Paràmetres de mesurament

Per mesurar sorolls continus, és a dir, amb poca variació temporal com, per exemple, el soroll d'un ventilador, el paràmetre de mesura és L_{pA} , però hi ha molts sorolls amb una gran variació temporal, fet que ha originat d'altres paràmetres més descriptius. Es mostren els d'aplicació més general.

2.3.1 Nivell sonor equivalent: $L_{Aeq,T}$

Els sorolls molt variables, com ara el soroll de trànsit i molts sorolls industrials, fluctuen de tal manera que cal amytjanar-ne l'energia sonora per expressar-ne, amb fiabilitat i amb una sola xifra, el nivell de pressió sonora. El paràmetre que s'utilitza és el nivell sonor equivalent o $L_{Aeq,T}$. Aquest paràmetre permet referir un soroll variable, en un interval T, al nivell de pressió sonora equivalent al d'un soroll continu. Si un soroll de trànsit mesurat durant 1 h dóna $L_{Aeq,1h}$, vol dir que l'energia sonora d'aquest soroll és equivalent a la d'un soroll continu de 74 dBA, durant 1h.

L'equip de mesura integra l'energia sonora durant el temps que dura el mesurament; per tant, el resultat obtingut és el resultat durant un temps de mesurament determinat, que cal expressar bé sigui explícitament o mitjançant el símbol corresponent. Per exemple, si el mesurament és durant 1h s'expressa $L_{Aeq,1h}$; si es fa referència a 24h seguides de mesurament, s'expressa $L_{Aeq,24h}$, i si és durant un interval com per exemple de les 7 h del matí a les 22h, s'expressa $L_{Aeq,7-22h}$.

L'expressió que s'indica a l'Equació 4, calcula el nivell sonor equivalent, partint d'interval de temps de soroll continu o variable, es defineix com:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

On N és el període de temps en que la font sonora produeix el soroll i L_i és el nivell de pressió sonora en l'interval i.

2.3.2 Nivells estadístics: $L_{AN,T}$

En acústica, s'anomenen paràmetres estadístics els nivells sonors que han estat ultrapassats durant un percentatge determinat de temps de mesurament. Per exemple, $L_{A10,72}$ vol dir que, durant el 10 % del temps d'observació, els nivells de soroll sobrepassen els 72 dBA. El nivell $L_{A90,46}$ significa que durant el 90 % del temps, els nivells de soroll sobrepassen els 46 dBA. El nivell L_{A90} d'un soroll és conegut com el nivell de soroll de fons. El nivell de soroll de fons, obtingut amb el L_{A90} , o estimat per altres procediments, és de molta utilitat en avaluar soroll ambiental.

Els paràmetres estadístics anomenats nivells de percentils, més emprats són els següents: L_{A1} , L_{A10} , L_{A50} , L_{A90} i L_{A99} , però pot utilitzar-se qualsevol dels compresos entre $L_{A0,1}$ i $L_{A99,9}$, segons les necessitats i el tipus de sonòmetre de què es disposa.

Els nivells L_{A1} i L_{A10} posen de manifest la importància de les puntes de soroll, durant el temps de mesurament. Com més elevats son aquests paràmetres, respecte per exemple L_{Aeq} , més nivells alts puntuals són presents durant el mesurament.

2.3.3 Nivell de contaminació del soroll: NPL

Aquest índex NPL (Noise Pollution Level), no és exactament una mesura de soroll, sinó que és un intent de valorar el nivell de molèstia generat pel soroll. Per fer-ho, aquest mètode combina el soroll que hi ha a l'ambient amb el grau de regularitat del soroll (un soroll és més molestat quan més variacions presenta). Per calcular el NPL (Equació 5), s'han d'haver fet les mesures prèvies amb corba de ponderació A. La definició bàsica és la següent:

$$NPL = L_{eq,T} + 2,56 \cdot \sigma \quad (\text{Eq. 5})$$

On,

NPL = nivell de contaminació del soroll (dBA)

$L_{eq,T}$ = nivell sonor equivalent (dBA)

σ = desviació estàndard dels nivells instantanis

Aquest procediment de mesura de la molèstia del soroll és molt utilitzat als Estats Units. Per altra banda, hi ha una altra manera d'obtenir el valor de NPL sense haver d'utilitzar el valor de σ , tal i com s'expressa a l'Equació 6.

$$NPL = L_{eq,T} + \alpha \cdot (L_{10} - L_{90}) \quad (\text{Eq.6})$$

On,

NPL = nivell de contaminació de soroll (dBA)

$L_{eq,T}$ = nivell sonor equivalent (dBA)

$\alpha = 1$ segon

L_{10} = nivell estadístic 10 (dBA)

L_{90} = nivell estadístic 90 (dBA)

2.4 Equips de mesura

2.4.1 Sonòmetres

El sonòmetre és l'eina imprescindible per mesurar el nivell de soroll que hi ha en un moment determinat i per verificar amb garanties el compliment de normatives i d'ordenances de sorolls. El mesurament correcte del soroll és d'una importància cabdal per les conseqüències que se'n poden derivar. Cal tenir coneixement de la precisió i de les limitacions dels instruments i de les tècniques de mesurament.

2.4.1.1 Elements principals

Els elements principals d'un sonòmetre són: micròfon, un pre-amplificador, un amplificador i un dispositiu de lectura analògica o digital. El sonòmetre processa els nivells de soroll a mesura que els rep i els mostra successivament o a intervals determinats per facilitar-ne la lectura. La majoria de micròfons tenen la sensibilitat màxima a incidència frontal, quan el so arriba perpendicular al diafragma del micròfon; per tant, es recomana orientar el micròfon cap a la font de soroll, si es coneix d'on procedeix el so.

Si es disposa d'un sonòmetre equipat amb micròfon de resposta màxima a incidència aleatòria, el micròfon s'ha d'orientar en un angle de 90° respecte a la direcció de la font de soroll.

2.4.1.2 Temps d'integració

Els dos temps d'integració fonamentals dels sonòmetres són el fast o ràpid, que té una constant de 125 ms i l'slow o lent, que la té d'1 s. Altres temps d'integració de què disposen alguns sonòmetres són l'impuls i el pic, el darrer dels quals s'utilitza en avaluacions de risc de sordesa en l'exposició a sorolls impulsius en llocs de treball.

El temps d'integració que cal emprar són els que les ordenances i les normatives especifiquin, però és imprescindible fer constar en l'expressió del resultat de nivell de soroll el temps d'integració utilitzat.

2.4.1.3 Tipus de sonòmetres

Una característica de qualsevol sonòmetre o equip de mesuraments és el grau de precisió. Normes nacionals i internacionals classifiquen els sonòmetres segons el seu grau de precisió. La norma CEI 651, de la Comissió Electrotècnica Internacional, els classifica en quatre tipus: els sonòmetres de tipus 0, típicament per a ús en laboratoris d'acústica; els de tipus 1, coneguts també com a sonòmetre de precisió; els de tipus 2, sonòmetres per a aplicacions generals, i els de tipus 3, sonòmetres que permeten tan sols una apreciació de nivell. Per a usos d'enginyeria, de verificació d'ordenances i de control de soroll ambiental, es recomana d'utilitzar sonòmetres de tipus 1 o de tipus 2 i rebutjar l'ús dels de tipus 3.

Cada cop es fa més difícil classificar els sonòmetres per les seves funcions, ja que hi ha una oferta d'equips amplia que facilita unes prestacions o combinació de prestacions molt variables.

Com a tendència general, s'observa que molts sonòmetres són cada cop més interactius amb l'ordinador i d'aquesta manera s'aprofiten els avantatges d'un equip de mesura petit, autònom i de bona precisió amb una capacitat d'anàlisi i memòria molt gran com és la d'un ordinador. Classificació segons les seves funcions:

- Sonòmetre bàsic: Conté, com a mínim, el filtre A i els temps d'integració fast i slow. La gamma de mesura és de 25 o 30 dBA fins als 120 o 130 dBA. És un equip de maneig simple. En alguns, s'hi afegeix una retenció de lectura de nivell màxim, que és necessària en el mesurament d'emissió de soroll de vehicles individuals i útil en la lectura de sorolls impulsius.
- Sonòmetres integradors: Els sorolls de trànsit o el de les indústries que emeten nivells de soroll variable es mesuren amb sonòmetres que disposen de lectura de nivell de soroll equivalent $L_{Aeq,T}$. Aquests sonòmetres s'anomenen integradors ja que integren les variacions o fluctuacions d'energia sonora i calculen com a resultat el nivell de soroll equivalent. Els sonòmetres integradors solen incloure les prestacions del sonòmetre bàsic. Alguns sonòmetres integradors permeten també mesurar el L_{AE} .
- Sonòmetres estadístics: Alguns tipus de sonòmetres s'anomenen estadístics perquè faciliten dades de nivells que han estat ultrapassats durant un percentatge determinat del temps de mesurament. Hi ha sonòmetres que mesuren els nivells següents: L_{A1} , L_{A10} , L_{A50} , L_{A90} i L_{A99} i, fins i tot, tots els compresos entre $L_{A0,1}$ i $L_{A99,9}$. Tots aquests equips disposen de memòria, porten un rellotge intern i poden programar-se per començar a mesurar i aturar-se en un temps prefixat. Una vegada recollida la informació, es pot transmetre a un ordinador i utilitzar-la o tractar-la amb el programa adequat.

2.4.2 Calibradors

L'única manera de poder assegurar la fiabilitat de l'instrument de mesura és amb el seu calibratge periòdic. Per calibrar amb garantia suficient l'estat general d'un sonòmetre s'utilitzen calibradors acústics portàtils i molt manejables. El calibratge complet de l'equip, tan sols el poden fer el fabricant de l'equip o els laboratoris especialitzats.

El calibrador acústic genera un so estable a un nivell i a una freqüència que venen indicades en l'aparell. Per calibrar el sonòmetre s'ha de mantenir en posició vertical, el calibrador s'ha d'acoblar al micròfon. L'accionament amb un petit tornavis sobre el dispositiu d'ajust del sonòmetre permet d'ajustar la lectura del sonòmetre al nivell patró que el calibrador genera. La major part de calibradors operen a la freqüència de 1000 Hz; per tant, pot calibrar-se amb la corba de ponderació A sense haver de fer correccions per a aquest concepte.

El llibre d'instruccions del calibrador indica el nivell patró, la freqüència, les correccions per temperatura i per pressió atmosfèrica i la precisió de calibratge. La precisió n'acostuma a ser de $\pm 0,2$ a $\pm 0,3$ dB.

És convenient calibrar el sonòmetre abans i després de cada mesura o series de mesures. D'aquesta manera, es pot assegurar que si el calibratge inicial i el final són correctes també ho seran les lectures intermèdies. Els calibradors són susceptibles de variacions en el transcurs del temps. Per consegüent, n'és recomanable una revisió anual.

2.4.3 Filtres

Hi ha sonòmetres que porten filtres de banda d'octava o d'un terç d'octava. Alguns sonòmetres els porten ja incorporats, i també hi ha models que disposen de filtres que es poden acoblar al sonòmetre a voluntat.

La lectura es fa successivament per a cada una de les bandes de freqüència. Alguns equips mostren en pantalla totes les bandes de freqüència d'octava o de terç d'octava alhora, en un diagrama de barres que mostra les variacions de nivell per freqüència en temps real.

2.4.4 Enregistradors gràfics i impressores

En ocasions és convenient visualitzar o guardar un registre de les dades que es van mesurant. La sortida en corrent continu o altern d'un sonòmetre pot acoblar-se a equips que enregistren el nivell de pressió sonora amb una ploma sobre una cinta de paper calibrada en decibels, la velocitat de sortida de la qual pot guardar-se.

També de vegades és útil bolcar directament en impressores les dades numèriques dels nivells emmagatzemats en la memòria d'alguns tipus de sonòmetres.

2.5 Càlculs en decibels

Moltes vegades és necessari efectuar operacions amb decibels; per exemple: sumar el nivell de soroll de dues o més fonts, restar del nivell de soroll d'una font sonora altres fonts sonores, restar del nivell de soroll d'una font sonora el soroll de fons, conèixer el nivell de la potència sonora total de dues fonts o més màquines o calcular el resultat en dBA d'unes anàlisis per bandes d'octava.

Com que es tracta d'unitats logarítmiques, no es poden sumar ni restar aritmèticament; per tant, 37 dB més 35 dB no fan 72 dB, sinó que cal utilitzar l'Equació 7.

$$L_x = 10 \log \left(\sum 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (\text{Eq.7})$$

En què "x", pot ser qualsevol dels paràmetres expressats en decibels: pressió, potència, etc.

Si s'entra a analitzar una mica la fórmula es veuen, essencialment, tres coses interessants:

- En cas de tenir varies fonts i una ser molt més important que les altres, el resultat final és molt semblant a la font més important. Per exemple, si es tenen tres fonts, una de 80 dBA, una de 65 dBA i una de 60 dBA, el resultat de la suma és de 80,18 dBA (canvi més petit que la oïda humana pot apreciar és d'1 dBA). Per tant, a la pràctica, les fonts de 65 dBA i de 60 dBA són menyspreables.
- En cas de tenir dues fonts iguals, el nivell s'incrementa en 3 dBA. Per exemple, si hi ha dues fonts de 60 dBA cadascuna, s'obté un nivell de pressió sonora de 63 dBA. És a dir, que doblar el nombre de fonts de soroll de les mateixes característiques només suposa un increment de 3 dBA.

- En cas d'haver de solucionar un problema originat per sorolls de varies fonts, sempre s'haurà de començar actuant sobre la font més important. Per exemple, si hi ha dues fonts de 85 i 80 dBA, es té un nivell total de 86,19 dBA. Si es deixa la font de 85 dBA com estava i s'aconsegueix reduir la de 80 dBA fins als 60 dBA, el nivell total serà de 85,01 dBA, havent-se reduït només en 1,18 dBA. És a dir, que s'ha aconseguit una reducció insignificant. De fet, la reducció mínima que s'ha d'assolir per tal que es pugui començar a apreciar és d'uns 3 dBA.

Per a fer el càlcul de la resta de decibels utilitzarem la mateixa fórmula, però restant. És a dir, si volem calcular quan serien 41,1 dB menys 36 dB, farem el següent càlcul:

$$L_{pA} = 10 \log \left(10^{\frac{41,1}{10}} - 10^{\frac{36}{10}} \right) = 39,5 \text{ dB}$$

2.6 Fonts de soroll

Les dimensions i les formes de les fonts de soroll influeixen en la manera en què el soroll es distribueix en l'espai. Un emissor, com per exemple una sola màquina, un sol vehicle o un altaveu, és una font puntual i a efectes de càlcul es considera que la seva energia sonora està concentrada en un punt.

Si la font emissora és constituïda per fonts puntuals múltiples al llarg d'una línia com per exemple, fileres de vehicles en una carretera o una autopista, s'anomena font lineal. I si la font pren forma d'una superfície com, per exemple, un gran finestral d'una nau industrial, en què el soroll de la indústria és radiat a l'exterior a través dels vidres, s'anomena font de superfície.

2.6.1 Font puntual

És una font sonora que situada en un espai obert, en l'aire lliure i sense obstacles radia el so amb la mateixa energia sonora en totes les direccions, és a dir omnidireccionalment. L'energia sonora que radia aquest tipus de font es propaga en ones esfèriques que s'atenuen proporcionalment amb la distància. Per tant, el nivell sonor serà inversament proporcional al quadrat de la distància, en altres paraules, cada cop que es duplica la distància, el nivell de pressió sonora és atenuat en 6 dB. Amb la Figura 6, es pot trobar l'atenuació en dB directament, a partir de la distància en metres.

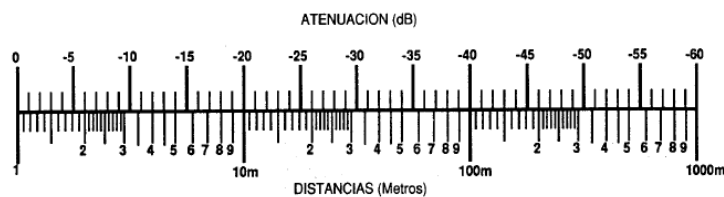


Figura 6. Atenuació del nivell de pressió d'una font puntual en relació a la distància

Font: *Blog de PREFIRE*

Per poder fer càlculs senzills però suficientment acurats, la major part de situacions reals de màquines s'assimilen a aquest model de font puntual i omnidireccional.

Tant si es coneix el nivell de potència sonora de la font com si se'n coneix el nivell de pressió sonora a una determinada distància, es poden calcular els nivells de soroll a altres distàncies.

Si es coneix la potència sonora (L_W) d'una font, les relacions que permeten calcular el nivell de pressió sonora (L_P) a una determinada distància r i en l'aire lliure són les següents:

Per una font puntual en l'aire (avions) (Equació 8):

$$L_p = L_w - 20 \log r - 11 \quad (\text{Eq.8})$$

L'expressió per una font puntual sobre una superfície reflectora, ve donada per l'Equació 9:

$$L_p = L_w - 20 \log r - 8 \quad (\text{Eq.9})$$

Aquesta última fórmula és la que cal aplicar en tots els casos en què la font es troba sobre una superfície més o menys reflectora, com una terrassa, una façana o un paviment de ciment.

Si no es coneix la potència sonora L_W d'una font, però es disposa d'un sonòmetre, es pot mesurar el nivell de pressió sonora L_{p1} a una distància determinada r_1 i calcular-ne el nivell sonor L_{p2} a una altra distància r_2 , mitjançant la relació següent (Equació 10):

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (\text{Eq.10})$$

Podem demostrar, que cada vegada que es dobla la distància entre el receptor i la font sonora, per tant que $r_2/r_1 = 2$, l'atenuació és de 6dB, a partir del càlcul de següent:

$$20 \cdot \log 2 = 6dB$$

2.6.2 Font en línia

En aquest cas, la font sonora situada sobre una superfície dura radia en forma de mig cilindre i cada vegada que, a partir d'una certa distància, ens n'allunyem el doble, el nivell de pressió sonora es redueix en 3 dB.

En el cas de les carreteres, les autopistes i les fonts en línia similars, si es consideren altres factors de propagació com ara interferències amb el terra proper més o menys absorbent, es pot estimar que cada vegada que es dobla la distància a la font sonora, l'atenuació del so és de 4,2 dB.

Un criteri generalitzat és que sempre que es fa referència a un nivell de soroll calculat a l'exterior dels edificis, el nivell que s'ha de donar en dBA ha de tenir en compte les reflexions del mateix edifici, ja que aquest nivell és el que mesurarà un sonòmetre. L'increment de nivell a causa d'aquestes reflexions es considera de l'ordre de 3 dBA. Si el punt de recepció és un parc o un jardí, sense reflexions properes, no caldrà afegir al càlcul els 3 dBA. Tampoc no caldrà afegir-los-hi si el mesurament es fa al centre d'un balcó o d'una finestra oberts de bat a bat, i si el punt de mesurament és a menys de 3,5 m d'un canto de l'edifici.

2.6.3 Font en superfície

Aquest tipus de fonts són les menys usuals. En realitat són models de fonts sonores que es poden generar idealment en un laboratori. Generalment, aquest tipus de fonts s'obvien i es solen assimilar a fonts puntuals, utilitzant les formulacions pròpies d'aquestes. Malgrat això, en ocasions es consideren sons generats a partir de superfícies planes, com ara finestres, com a fonts en superfície. La seva propagació segueix una direcció única.

L'atenuació és de 0 dB al doblar-se la distància respecte la font sonora.

A la pràctica però, aquest model només és aplicable a distàncies curtes, i per tant la llei d'atenuació citada anteriorment es compleix fins a distàncies relacionades directament amb la secció de la font emissora (quant més gran són les dimensions de la font sonora, a més distància es pot aplicar l'esmentada llei).

El que en realitat succeeix, és que a partir d'una certa distància, la propagació és en línia, i després es converteix en puntual. Aquest procés es pot veure a la figura 7.

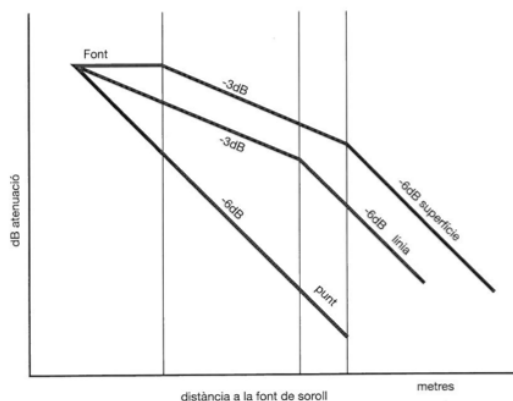


Figura 7. Atenuació de les ones sonores

Font: *Manual de mesurament i avaluació del soroll*

En aquest cas, a distàncies curtes el nivell és el mateix. A partir d'una certa distància, la propagació és en línia, i després es converteix en puntual. Per determinar el nivell de soroll es pot considerar la superfície reduïda a un punt.

2.7 Soroll de trànsit

En el conjunt del soroll ambiental, el soroll de trànsit en representa el 80 % del total. (veure Figura 8).

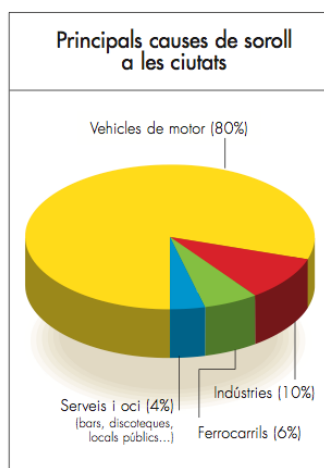


Figura 8. Principals causes de soroll

Font: *Menys soroll millor*

És, per tant, la font generadora de molèstia més important en el medi.

En la contaminació sonora produïda pel trànsit els elements bàsics que intervenen en l'explicació del fenomen són també: els focus emissors, el medi atmosfèric o camí de propagació i els receptors. Sobre la seqüència, lògica emissor-medi-receptor, ha d'establir-se l'avaluació dels impactes i l'adopció de mesures preventives o correctores per minimitzar el soroll que emet el trànsit dels vehicles a motor.

Els nivells de soroll que l'emissor produeix depenen d'aspectes diversos com: la potència sonora del motor del vehicle, l'estat del tub d'escapament, la manera de conduir, la velocitat de circulació, el nombre de vehicles que circulen en una via determinada, el tipus de via i de ferm, etc.

En el camí de propagació, hi intervenen la distància dels vehicles als edificis receptors, la presència d'elements reflectors o d'obstacles, el tipus de superfície que hi ha entre emissor i receptor, etc. Forma part del receptor en el cas d'edificis, el grau d'aïllament acústic de finestres, balcons i les persones que reben el soroll.

Per analitzar el trànsit com una font d'emissió de soroll, es pot prendre, d'una banda, el conjunt de vehicles que circulen per una via determinada i, d'una altra, els vehicles de manera individual. Pel que fa al conjunt de vehicles o font en línia, se'n determina el nivell de soroll mitjançant mesuraments, tenint en compte les parts mecàniques i el dispositiu d'escapament.

El nivell de soroll de trànsit urbà i interurbà ve definit d'acord amb els indicadors següents:

- Nombre de vehicles lleugers que circulen per unitat de temps.
- Nombre de vehicles pesats per unitat de temps.
- La velocitat de circulació.
- El pendent de la via.
- El tipus de ferm.
- Les reflexions dels edificis a cada banda de la via

Es consideren vehicles pesats els camions, els autocars, els autobusos i els tractors, i com a vehicles lleugers els turismes, les furgonetes, els minibusos, les motocicletes i els ciclomotors.

La intensitat mitjana diària de vehicles (IMD) és l'indicador que expressa el trànsit d'una via. L'IMD es calcula a partir del nombre total de vehicles anual que circulen per una via i es pot obtenir mitjançant el seu comptat o bé de les dades enregistrades per l'administració responsable de la via.

En fer enregistraments per obtenir l'IMD cal tenir en compte d'evitar el comptat en períodes de vacances escolars, el dia anterior i posterior als ponts, festius i en dies amb esdeveniments esportius o culturals importants. Es recomana de comptar els vehicles en dimarts, dimecres o dijous.

Perquè les dades siguin utilitzables per fer càlculs o prediccions de nivell de soroll, els equips utilitzats han de permetre desglossar el nombre dels vehicles lleugers dels pesats. El nombre de vehicles s' expressa en forma de percentatge sobre l'IMD o sobre el nombre de vehicles per hora, durant el dia i durant la nit.

A partir de l'IMD, es poden definir els indicadors sobre el nombre de vehicles lleugers o pesats/h, que circulen durant el dia (N_d), durant la nit (N_n) i en hora punta (H_p).

L' N_d és el valor resultant de l'expressió de l'Equació 11, següent:

$$N_d = \frac{IMD}{17} \quad (\text{Eq.11})$$

Aquest flux de vehicles representa una mitjana del trànsit horari entre les 7h i les 22h, en situacions d'una circulació urbana densa, i es prendrà com a referència mentre no ho justifiquin situacions molt particulars. Aquest flux horari sol ser aconseguit o sobrepassat unes sis hores al dia.

L' N_n pren com a referència, (veure Equació 12).

$$N_n = IMD \cdot 0,009 \quad (\text{Eq.12})$$

En hores punta el flux màxim de vehicles per hora (H_p) depèn de la grandària de la població. Una relació que es correspon a l'anterior situació general de circulació urbana densa, s'utilitza l'Equació 13:

$$H_p = \frac{IMD}{10} \quad (\text{Eq.13})$$

I en poblacions de menys de 100.000 habitants (Equació 14):

$$Hp = \frac{IMD}{8} \quad (\text{Eq.14})$$

Si no es disposa de dades en les grans vies urbanes en projecte, es prendrà una circulació mitjana Nd de 600 vehicles/h i per via de circulació. La velocitat apropiada per fer els càlculs és de 50 Km/h i sinó la màxima autoritzada.

En aquestes vies urbanes, si no es disposa d'estimacions precises, es pot prendre com a percentatge de vehicles pesats el següent:

Percentatge de vehicles pesats de dia = 10 %

Percentatge de vehicles pesats de nit = 5 %

En vies perifèriques i autopistes, el percentatge de vehicles pesats és molt més superior i oscil·la entre el 15 % i el 20 % o més.

En situacions singulars com ara:

- Circulació nocturna per cinturons de grans ciutats.
- Vies d'unió entre poblacions molt grans.
- Accessos a aeroports, en hores punta molt definides.
- Zones industrials amb itineraris d'elevat trànsit pesant.
- Itineraris amb fort trànsit estacional o de cap de setmana, com poden ser zones del litoral o pistes d'esquí a l'hivern.
- Vies d'accés a zones universitàries o a zones amb grans camps d'esport.

És recomanable fer el comptat de vehicles entre 15 i 30 minuts distingint-los per categories.

2.8 Efecte de l'emascarament

Es defineix el camp auditiu com el llindar d'audibilitat, per al qual un to pur d'una freqüència donada, a la mínima pressió sonora eficaç que pot ser escoltada, en absència de tot soroll de fons. El llindar auditiu representa la pressió sonora mínima que produeix la sensació d'audició.

En el camp auditiu el rang de freqüència audible va des dels 20 Hz als 16 kHz (en la pràctica), però l'oïda no és igualment sensible a totes aquestes freqüències. Les més audibles són les ubicades al mig de l'espectre, aproximadament entre 1 kHz i 5 kHz.

L'oïda és menys sensible per a freqüències baixes i altes. Aquesta característica de menor agudesesa per als tons greus afavoreix l'emascarament dels sons que produeix el cos humà.

Es denomina emascarament a la reducció total o parcial de la sensibilitat d'un oient per percebre un determinat so, provocat per la presència simultània d'un altre. Quan un so fa que un altre sigui menys audible, perquè tots dos es produeixen a la vegada, es diu que es va produir un fenomen d'emascarament. El so el llindar d'audibilitat s'ha modificat i s'anomena so emmascarat i l'altre, so "que emmascara" o "emmascarador".

La interacció entre dos estímuls presentats, a la vegada depèn en gran mesura de les característiques dels sons. Existeixen alguns lineaments que regeixen l'emascarament:

- Un so té més poder per emmascarar, si s'intenta emmascarar amb un altre que tingui una freqüència semblant. En canvi, resulta molt difícil d'emmascarar amb un altre de freqüència diferent, allunyada en l'espectre. L'emascarament podrà realitzar-se, però el nivell de pressió sonora necessari haurà de ser més important que el primer cas.
- Un so de determinada freqüència té més poder per emmascarar sobre un altre de freqüència més aguda, que sobre un altre de freqüència més greu. Per tant, si s'està buscant l'efecte d'emascarament, és més fàcil aconseguir-ho si el so que emmascara és de freqüència més greu que l'emmascarat.

Podem dividir l'emascarament sonor entre emascarament temporal i emascarament freqüencial.

2.8.1 Emmascarament temporal

L'emascarament temporal (Figura 9), passa quan dos estímuls sonors arriben a la nostra oïda de forma propera en el temps. L'estímul emmascarant farà que l'altre, l'emmascarat, resti inaudible. En aquesta situació, el to més intens tendeix a emmascarar al to més feble.

Segons en l'instant de temps en què es produeix l'estímul emmascarant respecte a l'instant en què es produeix l'emmascarat, podem distingir entre Post-emmascarament i Pre-emmascarament:

- Post-emmascarament: Arriba primer el to de major amplitud que el de menor quedant d'aquesta manera emmascarat.
- Pre-emmascarament: Quan el to de menor amplitud arriba primer, quedant igualment emmascarat pel de major amplitud.

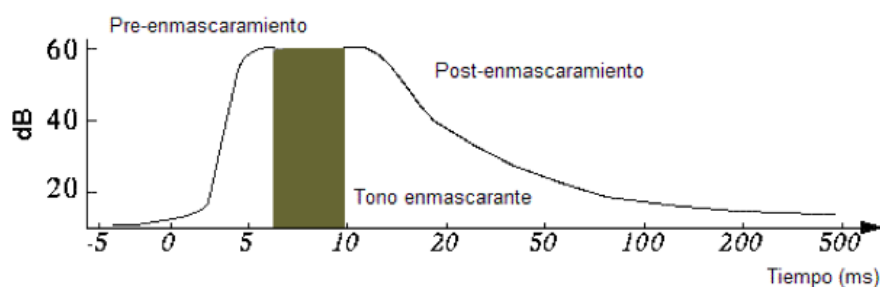


Figura 9. Emmascarament temporal

Font: Wikipedia

Val a dir també, que no s'ha de confondre l'emascarament temporal amb el reflex acústic de l'oïda, una resposta involuntària i inherent de l'oïda mitjana per auto-protegir dels sons forts o d'alt nivell de pressió sonora.

2.8.2 Emmascarament freqüencial

L'emascarament freqüencial és la disminució de la sonoritat d'un to a una certa freqüència, en presència d'un altre to simultani a una freqüència diferent. És a dir, quan l'oïda és exposada a dues o més sons de diverses freqüències, hi ha la possibilitat que un d'ells camufli als altres i per tant, que aquests no se sentin.

A continuació es representa l'amplitud relativa del desplaçament de la membrana basilar en funció de la distància a la finestra oval per a diferents combinacions de tons purs:

- Freqüències diferents amb la mateixa amplitud: En el cas de tenir dos tons en la mateixa pressió sonora es pot comprovar com el to greu emmascara molt més al to agut que no a l'inrevés. L'emascarament no és simètric respecte la freqüència.
- Baixa freqüència emmascara a alta freqüència: En el cas que el to greu tingui més nivell d'amplitud, encara es farà més clar l'emascarament d'aguts. En aquest cas el to agut és totalment emmascarat pel greu.
- Alta freqüència no emmascara a baixa freqüència: En aquesta combinació, tot i augmentar l'amplitud del to agut respecte al greu, l'agut gairebé no afecta el greu, per tant l'emascarament del to greu és mínim.

La quantitat d'emascarament es defineix com l'increment de nivell del senyal emmascarada necessari per poder sentir novament en presència del senyal emmascarant. Aquesta quantitat depèn, en el cas de diversos tons, directament de les freqüències associades i del nivell del to emmascarant.

És important establir una relació entre l'efecte d'emascarament i el concepte de bandes crítica. Si bé fins ara hem descrit el fenomen d'emascarament entre dos tons purs, a continuació ho analitzarem des del punt de vista d'excitació de bandes crítiques, considerant afirmacions que gaudeixen d'una acceptació universal fruit del treball de molts investigadors.

- a) Un soroll de banda estreta provoca més emmascarament que un to pur de la mateixa intensitat i de freqüència igual a la freqüència central del soroll.
- b) A mesura que el nivell de soroll emmascarant augmenta, també ho fa la banda de freqüències sobre la qual exerceix efecte el emmascarador.
- c) Les freqüències superiors a la freqüència central del soroll emmascarant són emmascarades més fàcilment que els inferiors.

2.8.3 Llindar d'emascarament

En psicoacústica, el llindar o nivell d'emascarament és el nivell de pressió sonora d'un so de prova necessari perquè aquest sigui just audible en presència d'un senyal emmascarant. Aquest nivell depèn també en gran mesura de la freqüència i de les característiques de l'emascarat i de l'emascarador. L'efecte apareix normalment entre tons molt propers en freqüència. Que no sigui audible implica certs avantatges en el món de les transmissions. Quant a codificació d'àudio, per exemple, implica la possibilitat de passar per alt aquest to aconseguint així una millor compressió o, si alternativa, la codificació amb menys pes, és a dir, menys bits i per tant reduir la mida del fitxer resultant.

Habitualment no es treballa amb un sol to sinó amb varis de forma simultània. Així que per a una sola freqüència es tenen més d'un possible senyal emmascarador. Per a aquestes situacions es calcula el que es coneix com a llindar d'emascarament global. Aquest es quantifica d'acord amb un espectre d'alta resolució del senyal (habitualment d'àudio) a partir d'una Transformada ràpida de Fourier (FFT) de 512 o 1.024 punts.

Es calculen els llindars individuals tenint en compte el nivell de senyal, el tipus d'emascarador (sigui senyal o soroll) i la banda de freqüències (hi ha freqüències inaudibles per l'oïda humana). Després es sumen tots els llindars afegint-se el llindar de tranquil·litat, d'aquesta manera s'assegura que el llindar d'emascarament total no estarà mai per sota d'aquest últim. Finalment, es pot calcular el SMR (Signal to Mask Ratio).

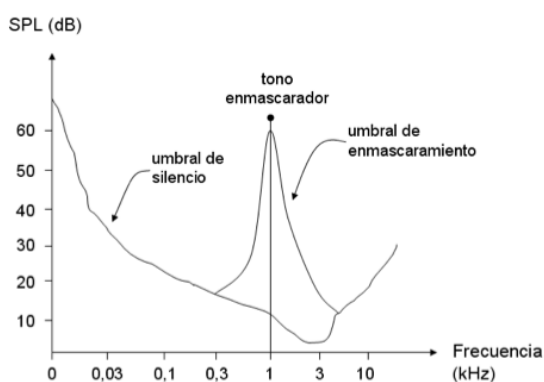


Figura 10. Emmascarament freqüencial

Font: *Wikipedia*

A la Figura 10 es mostra el cas de tenir un to a 1kHz. Es pot observar el llindar de tranquil·litat o silenci sota del qual cap so és perceptible. Ara bé, en sobreposar el to aquest nivell varia al voltant de la freqüència central del emmascarador fent més difícil sentir les possibles freqüències properes a aquest.

3 COMPORTAMENT DEL DOLL D'AIGUA

3.1 Ones i propagació

Quan es colpeja amb un objecte la superfície d'un estany en repòs s'observa una ona que es propaga sobre la superfície de l'aigua. Com el que importa és el moviment relatiu entre l'aigua i l'obstacle, en el cas del xoc de l'aigua contra el dit (o qualsevol altre obstacle) que s'interposa en la seva caiguda provoca una pertorbació que es propaga al llarg de la columna d'aigua.

En aquest cas, la pertorbació es propaga sobre la superfície de l'aigua en forma d'ones de longitud d'ona molt curta, que s'anomenen ones capil·lars, com mostra la Figura 11 (doncs actua la força recuperadora deguda a la tensió superficial de l'aigua).



Figura 11. Ones capil·lars

Font: *Simple+mente física*

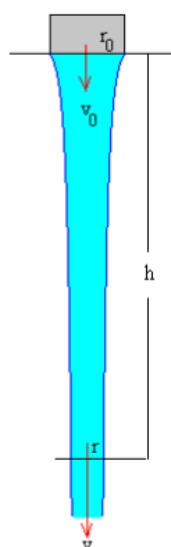
Però les ones que s'observen són estacionàries, amb un patró que no canvia si es mantenen fixes les condicions de l'experiment (flux d'aigua i distància entre l'obstacle i l'orifici de sortida de l'aigua). Les ones capil·lars es propaguen al llarg del raig amb una velocitat mitjana v que és la mateixa amb la qual l'aigua xoca contra l'obstacle.

Però hi haurà algunes ones que viatgen una mica més ràpides i d'altres que viatgen una mica més lentes, amb el consegüent espectre de longituds d'ona (lleugerament majors i menors).

3.2 Disseny del raig d'aigua

S'ha de tenir en compte que el raig d'aigua va disminuint de radi a mesura que va caient, fins que es trenca en forma de gotes.

La següent Equació 15 proporciona la forma de superfície del raig d'aigua.



La secció transversal del raig d'aigua (Figura 12), quan surt de l'aixeta és S_0 , i la velocitat de l'aigua v_0 . Degut a l'acció de la gravetat la velocitat v de l'aigua s'incrementa. A una distància h de l'aixeta la velocitat és

$$v^2 = v_0^2 + 2gh$$

Aplicant l'equació de continuïtat:

$$S_0 v_0 = S v$$

$$\pi r_0^2 v_0 = \pi r^2 v$$

Aïllem el radi r del fil d'aigua en funció de la distància h de l'aixeta.

$$r = r_0 \sqrt[4]{\frac{v_0^2}{v_0^2 + 2gh}}$$

Figura 12. Secció raig d'aigua

(Eq.15)

3.3 Soroll

En la caiguda de l'aigua, la principal font de soroll es produeix quan una gota colpeja una superfície líquida (l'aigua) degut a la ressonància de bombolles excitades atrapades sota l'aigua. Aquestes bombolles oscil·lants són responsables de la majoria dels sons líquids, com ara aigua o esquitxades, ja que en realitat es componen de moltes col·lisions entre les gotes. Es generen dos tipus de bombolles, les superficials i les subaquàtiques, tal i com mostra la Figura 13. Si aquestes bombolles d'aire no es formessin, segurament no hi hauria soroll.



Figura 13. Bombolles produïdes per l'impacte del doll d'aigua

Font: Pròpia

4 ANÀLISIS EXPERIMENTAL

En aquest capítol es descriu el dispositiu experimental que s'ha utilitzat per realitzar l'estudi acústic de la simulació d'una caiguda d'aigua.

Està compost principalment d'una mànega i un recipient. Va ser construït en el laboratori de Mecànica de Fluids de l'Escola Politècnica Superior (EPS) de la Universitat de Girona.

4.1 Muntatge

A continuació es mostra a la Figura 14, les tres parts del muntatge: entrada d'aigua (aixeta), conjunt simulació de la caiguda d'aigua (estructura) i l'enregistrament del so (PC).

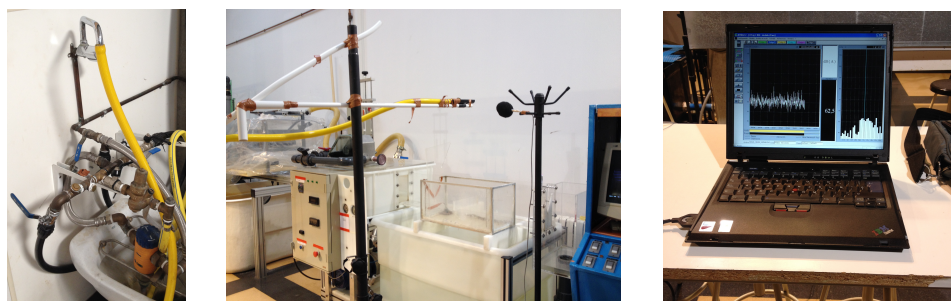


Figura 14. Fotografies del dispositiu experimental en el seu conjunt

Font: Pròpia

4.2 Material necessari

Per la simulació de la caiguda d'aigua, s'ha ideat una estructura (Figura 15), on s'hi ha aguantat la mànega INTERMIDA Sunny SMT de 25 mm de diàmetre.

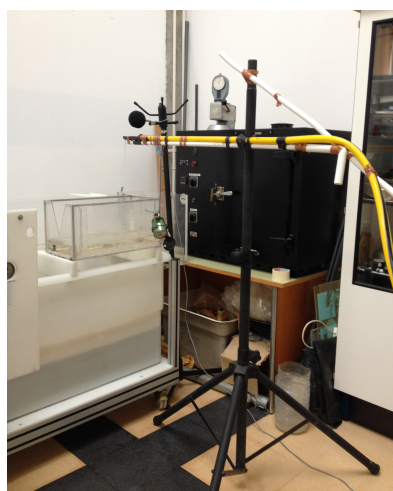


Figura 15. Estructura

Font: Pròpia

L'aigua impacta en un recipient de metacril·lat (Figura 16), de dimensions 495 x 240 x 245 (mm).



Figura 16. Recipient receptor

Font: Pròpia

Pel càlcul del cabal s'utilitza una proveta graduada de polipropilè 1000ml i el cronòmetre del telèfon mòbil (Figura 17).

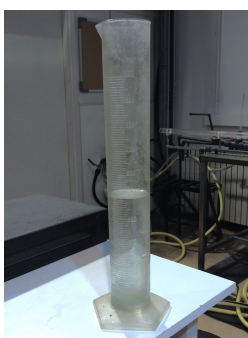


Figura 17. Proveta i cronòmetre (captura pantalla telèfon mòbil)

Font: Pròpia

Per la realització de les mesures acústiques "in situ" s'ha emprat una cadena de mesura composta per un ordinador portàtil IBM Thinkpad i un equip d'adquisició Symphonie bicanal, a continuació se'n fa una breu descripció.

L'equip d'adquisició Symphonie bicanal, fabricat per 01dB amb número de sèrie 1950 (Figura 18), té diverses funcions, ja que està connectat a un PC i treballa amb un software propi.



Figura 18. Sistema de mesura Symphonie 01dB

Font: Pròpia

Un cable d'extensió marca CESVA, un micròfon GRAS Type 40AF amb número de sèrie 55987 i un preamplificador GRAS Type 26AK amb numero de sèrie 50960 (Figura 19).



Figura 19. Conjunt del micròfon

Font: *Pròpia*

La cadena de mesura s'ha calibrat amb un calibrador de camp marca Cesva CB-5 amb número de sèrie 028441.

4.3 Software utilitzat

L'ordinador portàtil que s'utilitza ha de tenir instal·lat el software de processat 01 dB amb els programes dB Config32, dB Trig32 i dB Trait.

- **dB Config32:** És un programa que permet crear una base de dades, que conté les característiques dels diferents transductors i calibradors disponibles, que s'utilitzin a posteriors mesures.
- **dB Trig32:** Aquest programa s'utilitza per l'adquisició de senyals, el seu processat, visualització i emmagatzematge (Figura 20). Es pot triar el format de les dades que es desitgin enregistrar: espectre, evolucions temporals, nivells de pics, percentils, senyal d'àudio, etc.

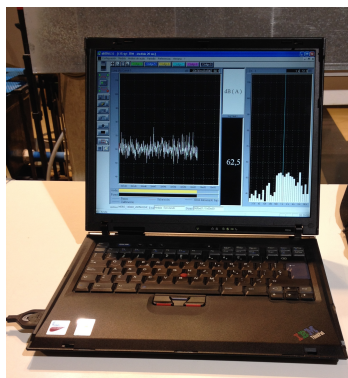


Figura 20. Programa Trig32

Font: *Pròpia*

- **dB Trait:** S'utilitza per processar les dades emmagatzemades. Permet obtenir les evolucions temporals de determinades bandes de freqüències, espectres instantanis o mitjanes en intervals de temps, càlcul del nivell continu equivalent, càlcul de nivells percentils de soroll i altres estadístiques. Es poden transferir dades a fulls de càlcul de forma senzilla com per exemple l'Excel.

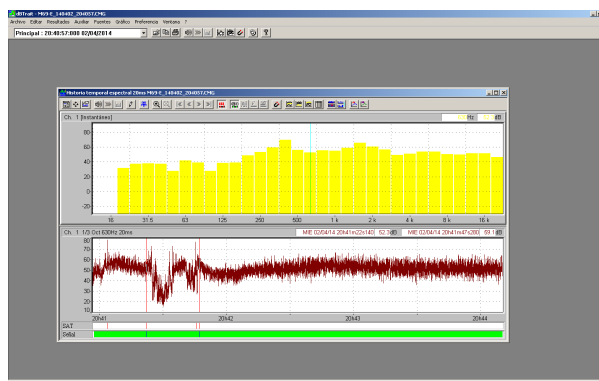


Figura 21. dB Trait, història temporal espectral

Font: Pròpia

4.4 Criteris de mesura i metodologia emprada

Una vegada realitzat el muntatge anteriorment citat *apartat 4.1*, es passa a la presa de les mesures.

Les mesures “in situ” s’han realitzat totes a partir de les 7 de la tarda, tot i realitzar-se a l’interior del laboratori de Mecànica de Fluids. No ens interessava que els registres captessin altres fonts de sorolls, com podria ser les produïdes a les aules contigües, de gent pels passadissos o d’altres sorolls externs. Tot i així, durant la presa de les mesures hi ha hagut alguna que altre font de soroll de l’exterior (gos bordant, motocicls, clàxon, autobús, soroll de la pròpia aixeta,...).

En tots els casos hem realitzat quatre repeticions, ja que el fenomen del soroll té un comportament incontrolable i aleatori. Per molt que repetíssim les mesures en general mai donarien igual.

Considerem tres intervals d’intensitat (baix, mig i alt) de cabal (Q) diferents i tres alçades de la caiguda d’aigua (H), que és la distància entre el fons del recipient i la sortida de l’aigua de la mànega, indicada a la Figura 22.

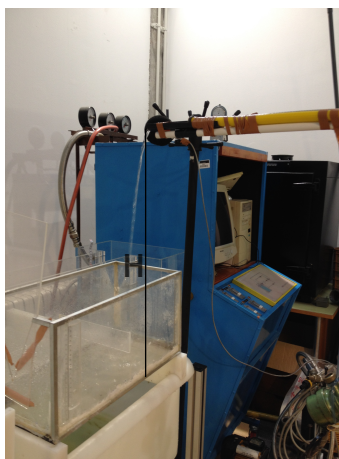


Figura 22. Representació alçada (H)
Font: *Pròpia*

La distància del micròfon a la base del recipient és fixa de 63 cm. Hem procedit a l'obtenció de les dades amb l'equip de mesura composta per un ordinador portàtil i l'equip d'adquisició. On l'hem calibrat prèviament, el temps d'integració del sonòmetre l'hem fixat a una mesura per segon. Els paràmetres a tenir en compte són el cabal (Q), alçada de la caiguda d'aigua (H) i el nivell d'aigua del recipient (g).

· Paràmetres

H: alçada caiguda d'aigua, valors fixes de 30 cm, 53 cm i 69 cm.

Q: cabal (ml/s) variables, oscil·len entre 13,54 i 87,27 ml/s.

g: nivell de l'aigua en el recipient, de 0 a 9,1 cm.

El cabal ha estat un paràmetre difícil de controlar, en tot moment a la realització del projecte treballarem amb el cabal mig entre l'inicial i al final. Per això, abans i després de realitzar cada experiment anotaven el cabal inicial i final, mitjançant la proveta omplíem una certa quantitat en un temps determinat, així poder calcular el cabal (Q) ml/s a partir de l'Equació 16:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Eq.16})$$

On V és el volum d'aigua (ml) i t el temps en segons.

Totes les mesures han estat realitzades de més o menys durada, en funció del cabal d'aigua emprat.

5 RESULTATS

A partir del criteri de mesura i la metodologia emprada, hem obtingut els valors dels cabals inicials i finals. Llavors, amb el sonòmetre hem pogut registrar les mesures de nivell de pressió sonora i els valors en terços d'octava, entre les freqüències de 20 Hz a 20 kHz, per cada un dels 36 experiments. Tots els registres estan adjuntats en format digital en al CD del projecte.

5.1 Cabals inicials i finals

Abans i després de realitzar la presa de mesures hem mirat el cabal de sortida de la mànega, tal i com es mostra a la Taula 3.

Alçada	Dades	Q inicial (ml/s)	Q final (ml/s)	
H = 30 cm	M30-E	18,93	17,95	Q BAIX
	M30-F	17,95	17,76	
	M30-G	17,76	17,54	
	M30-H	17,54	17,63	
	Q MIG	M30-A	38,34	33,98
		M30-B	33,98	32,56
		M30-C	32,56	31,99
		M30-D	31,99	31,43
	Q ALT	M30-B_8	82,59	81
		M30-C_8	81	82,58
		M30-D_8	82,58	80,28
		M30-E_8	80,28	79,24
H = 53 cm	M53-I	17,3	17,18	Q BAIX
	M53-J	17,18	16,87	
	M53-K	14,17	19,35	
	M53-L	19,35	17,86	
	Q MIG	M53-A	35,74	35,88
		M53-B	35,88	36,57
		M53-C	36,57	34,49
		M53-D	34,49	34,87
	Q ALT	M53-E	87,27	84,77
		M53-F	84,77	86,07
		M53-G	86,07	81,99
		M53-H	81,99	83,18
H = 69 cm	M69-A	20,17	17,59	Q BAIX
	M69-B	17,61	15,36	
	M69-C	14,88	14,21	
	M69-D	14,18	13,54	
	Q MIG	M69-I	44,65	41,39
		M69-J	41,39	37,87
		M69-K	37,87	37,84
		M69-L	37,84	36,02
	Q ALT	M69-E	79,24	79,1
		M69-F	78,69	78,03
		M69-G	76,72	77,1
		M69-H	77,1	78,97

Taula 3. Dades dels cabals inicials i finals

5.2 Nivell de pressió sonora

Els valors de nivell pressió sonora els hem representat en funció del temps, en tots els casos. Veure *Annex A*.

5.3 Terços d'octava

Degut a la quantitat de terços d'octava, que van entre les freqüències de 20 Hz a 20 kHz, i per cadascun dels experiments, no hem adjuntat les mesures en format paper. Les podreu veure en format digital (CD PFC_fitxers informàtics) en tots els casos amb el programa dBTrait, on a l'Annex A si adjunta el nom de l'arxiu.

Tot i així, us mostrem una pantalla exemple de la informació que observariem. (Figura 23)

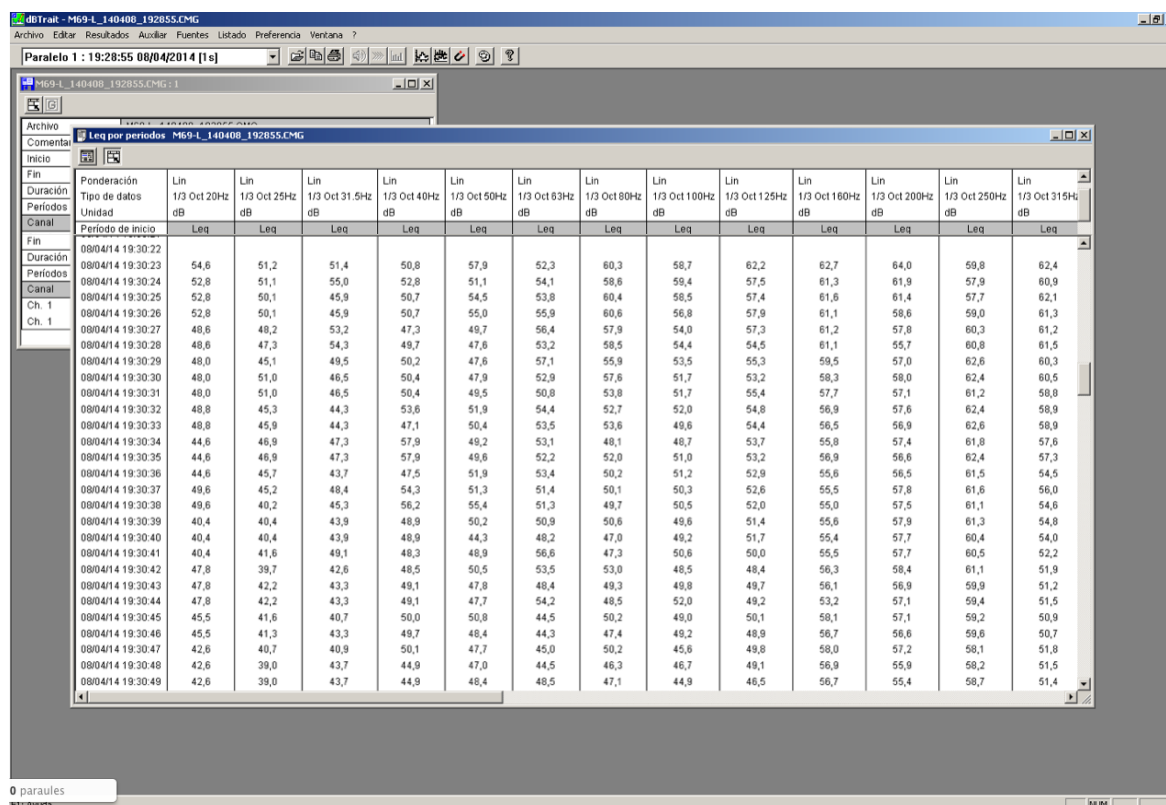


Figura 23. Pantalla exemple dBTrait dels valors dels terços d'octava per cadascuna de les freqüències

Font: Pròpia

6 TRACTAMENT DE LES DADES

Partint dels resultats obtinguts, treballem aquestes dades per tal de poder-ne fer un bon anàlisi.

6.1 Cabals mitjos

Com que el cabal té variacions, degut a l'aire de les canonades i del recorregut de la mànega, a partir d'ara treballarem amb els cabals mitjos, per intentar que els resultats per tal de reduir-ne l'error.

Alçada	Dades	Q mig (ml/s)	
H = 30 cm	M30-E	18,44	Q BAIX
	M30-F	17,86	
	M30-G	17,65	
	M30-H	17,59	
		PROMIG 17,88	
	M30-A	36,16	Q MIG
	M30-B	33,27	
	M30-C	32,28	
	M30-D	31,71	
		PROMIG 33,35	
	M30-B_8	81,80	Q ALT
	M30-C_8	81,79	
M30-D_8	81,43		
M30-E_8	79,76		
	PROMIG 81,19		
H = 53 cm	M53-I	17,24	Q BAIX
	M53-J	17,03	
	M53-K	16,76	
	M53-L	18,61	
		PROMIG 17,41	
	M53-A	35,81	Q MIG
	M53-B	36,23	
	M53-C	35,53	
	M53-D	34,68	
		PROMIG 35,56	
	M53-E	86,02	Q ALT
	M53-F	85,42	
M53-G	84,03		
M53-H	82,59		
	PROMIG 84,51		
H = 69 cm	M69-A	18,88	Q BAIX
	M69-B	16,49	
	M69-C	14,55	
	M69-D	13,86	
		PROMIG 15,94	
	M69-I	43,02	Q MIG
	M69-J	39,63	
	M69-K	37,36	
	M69-L	36,93	
		PROMIG 39,36	
	M69-E	79,17	Q ALT
	M69-F	78,36	
M69-G	76,91		
M69-H	78,04		
	PROMIG 78,12		

Taula 4. Dades dels cabals mitjos

Per tant, els tres cabals estudiats són cabal baix que oscil·la entre 15,94 i 17,88 ml/s, el cabal mig va de 33,35 a 39,36 ml/s i finalment el de major intensitat, cabal alt de 78,12 a 84,51 ml/s.

6.2 Nivell de l'aigua

Com que ens interessa també estudiar el soroll de la caiguda de l'aigua en funció del gruix de l'aigua dins del recipient, és a dir el nivell de l'aigua en el recipient receptor (g). Per estudiar la influència d'aquest paràmetre, canviem cada mesura del soroll d'aquell instant de temps a nivell d'aigua a partir de l'Equació 17.

$$g = \left(\frac{Q_{mig}}{S} \cdot t \right) \cdot 10 \quad (\text{Eq.17})$$

On,

g: nivell de l'aigua (mm)

Q_{mig}: cabal mig (ml/s)

S: secció del recipient (cm)

t: instant de temps (s)

Ho fem per tots els experiments i pels valors de mesura de la banda d'ampla i els terços d'octava. A la Taula 5 es mostra un fragment de les mesures en funció del nivell d'aigua de la mesura M69-A, al qual s'ha realitzat en tots els casos.

Mesura	M69-A	Mesures per una alçada de la caiguda d'aigua de 69 cm i un cabal baix.			
cabal mig	18,88 ml/s				
secció	1188 cm ²				
temps (s)	nivell (mm)	Leq (dB)	1/3 Oct 20Hz (dB)	1/3 Oct 20kHz (dB)
1	0,16	59,7	43,2		39,1
2	0,32	58,9	43,2		37,1
3	0,48	59,3	43,2		35,5
4	0,64	59,1	39		38,9
5	0,79	59,4	39		38,8
6	0,95	58,7	39,8		37,1
7	1,11	58,6	39,8		35
8	1,27	58,9	39,8		40,1
9	1,43	58,2	40		36,6
10	1,59	58,1	40		40,3
11	1,75	58	40		35,8
12	1,91	57,5	36,7		38,9
13	2,07	57,1	36,7		37,2
14	2,22	56,8	35,2		35,9
15	2,38	56,1	35,2		35,4
16	2,54	56,7	35,2		36,6
17	2,70	56,3	44		35,8
18	2,86	55,9	44		32,1
19	3,02	55,9	41,8		34,6
20	3,18	55,8	41,8		35,9

Taula 5. Exemple mesures en funció del nivell d'aigua

6.3 Interval de nivell d'aigua

Una vegada tenim els nivells de soroll per la banda d'ampla i pels terços d'octava. Tal i com es pot observar a la Taula 5, en aquest exemple necessitem per omplir un mil·límetre d'aigua, 6 segons, en el qual tindrem 6 valors de nivell de soroll diferents. Per tal de simplificar les mesures hem decidit agrupar els nivells en intervals d'1 mm i en fem el promig dels nivells de pressió sonora. A la Taula 6, hi ha un resum de com quedaria agrupant en intervals de nivell d'aigua. En l'Annex B hi ha representades les gràfiques del nivell de soroll per la banda d'ampla i les bandes d'octaves, en funció del nivell d'aigua.

INTERVAL NIVELL(mm)	Leq (dB)	1/3 Oct 20Hz (dB)	1/3 Oct 20kHz(dB)
[0,1)	59,18	41,23		37,75
[1,2)	58,22	39,38		37,78
[2,3)	56,48	38,38		35,50
[3,4)	55,96	40,97		35,64
[4,5)	55,72	46,43		37,80
[5,6)	54,92	39,02		38,32
[6,7)	56,31	36,67		40,39
[7,8)	57,07	39,10		41,37
[8,9)	59,58	42,45		42,05
[9,10)	61,15	45,28		41,68
[10,11)	61,97	43,73		40,71
[11,12)	61,92	42,50		40,77
[12,13)	62,83	40,87		40,35
[13,14)	62,99	40,90		40,66
[14,15)	62,72	41,57		40,73
[15,16)	63,52	39,68		41,22
[16,17)	63,12	47,80		41,10
[17,18)	62,90	42,04		40,47
[18,19)	62,97	40,78		40,62
[19,20)	62,98	42,63		40,37

Taula 6. Exemple intervals de nivell d'aigua M69-A

6.4 Bandes d'octava

Per simplificar i perquè el model de simulació treballa en octaves, hem passat de bandes de terços d'octava a bandes d'octava. Per exemple, la banda d'octava de 63 Hz engloba les freqüències de 50 a 80 Hz. Els centres de les bandes d'octava estan normalitzats per la ISO (International Organization for Standardization) són: 31,5:63:125:250:500:1k:2k:4k:8k:16k Hz

Nosaltres treballarem amb les bandes centrals d'octava següents:

63-125-500-1000-2000-4000-8000 Hz

L'Equació 18, ens permet passar els terços a bandes centrals d'octava.

$$L(\text{octava})=10\log\frac{1}{3}\sum(10^{0,1\cdot L(\text{terç})}) \quad (\text{Eq.18})$$

A la següent taula 7, es mostra el nivell de pressió sonora corresponent a cadascuna de les bandes, per cada interval de nivell de l'aigua.

Interval nivell (mm)	Oct 63Hz	Oct 125Hz	Oct 250Hz	Oct 500Hz	Oct 1000Hz	Oct 2000Hz	Oct 4000Hz	Oct 8000Hz
[0,1)	48,29	52,27	60,35	53,43	41,82	41,43	35,87	39,29
[1,2)	45,97	54,65	58,60	52,62	40,39	42,18	34,05	37,78
[2,3)	43,50	55,93	56,99	50,11	38,22	40,02	32,14	36,20
[3,4)	42,80	55,24	55,51	50,17	38,65	39,22	32,83	37,54
[4,5)	41,68	54,53	54,15	49,81	39,39	39,51	37,56	40,39
[5,6)	41,76	53,18	53,05	48,64	39,09	38,95	37,29	41,68
[6,7)	40,58	50,50	51,80	46,47	38,34	41,62	43,74	45,32
[7,8)	42,72	48,10	50,13	43,17	38,27	43,78	46,15	47,63
[8,9)	45,76	47,61	48,64	42,16	38,77	49,00	48,83	48,56
[9,10)	43,23	47,03	48,03	41,02	42,24	52,13	49,42	49,17
[10,11)	42,40	46,69	47,34	40,99	45,13	53,46	50,27	48,61
[11,12)	45,15	47,36	46,57	42,08	46,62	53,25	49,45	48,79
[12,13)	45,10	47,08	46,29	43,07	47,40	54,20	50,92	49,39
[13,14)	43,51	48,25	47,35	45,77	49,24	53,83	51,02	49,56
[14,15)	41,58	49,15	47,21	46,30	48,66	53,26	51,29	49,49
[15,16)	40,49	48,99	47,42	48,10	49,70	54,18	51,96	49,57
[16,17)	39,89	49,15	47,25	47,84	49,32	53,85	51,60	48,79
[17,18)	39,66	48,69	46,50	48,83	48,29	53,31	51,88	48,67
[18,19)	39,56	48,27	47,31	49,74	49,14	53,31	51,33	49,13
[19,20)	41,93	48,99	48,34	50,55	48,53	53,39	51,33	49,28
[20,21)	42,03	48,60	48,54	50,65	48,79	52,69	52,36	49,28
[21,22)	47,63	48,73	48,46	49,93	48,31	53,46	52,40	49,27
[22,23)	40,82	48,42	48,97	51,39	48,52	52,78	52,17	49,26
[23,24)	43,48	48,70	49,69	51,20	48,62	53,72	52,26	50,16
[24,25)	41,83	48,89	49,36	50,82	48,96	53,38	52,55	49,50
[25,26)	40,29	48,79	49,02	50,40	48,70	53,40	51,81	49,42
[26,27)	40,64	48,71	49,80	51,85	48,85	53,23	52,18	49,81
[27,28)	39,42	48,50	49,45	50,62	48,24	53,48	53,00	50,08
[28,29)	40,67	48,94	50,25	51,23	48,49	53,76	52,60	50,22
[29,30)	40,07	48,54	50,24	51,11	49,13	53,76	52,28	50,95

Taula 7. Taula resum dels valors de banda d'octava de M69-A

7 ANÀLISIS DELS RESULTATS

7.1 Comportament del nivell sonor mig

Una vegada tractades les dades, per tal de poder-ne fer un bon anàlisi, compararem les gràfiques de nivell de soroll de cadascun dels experiments *Annex B*, veure Figura 24.

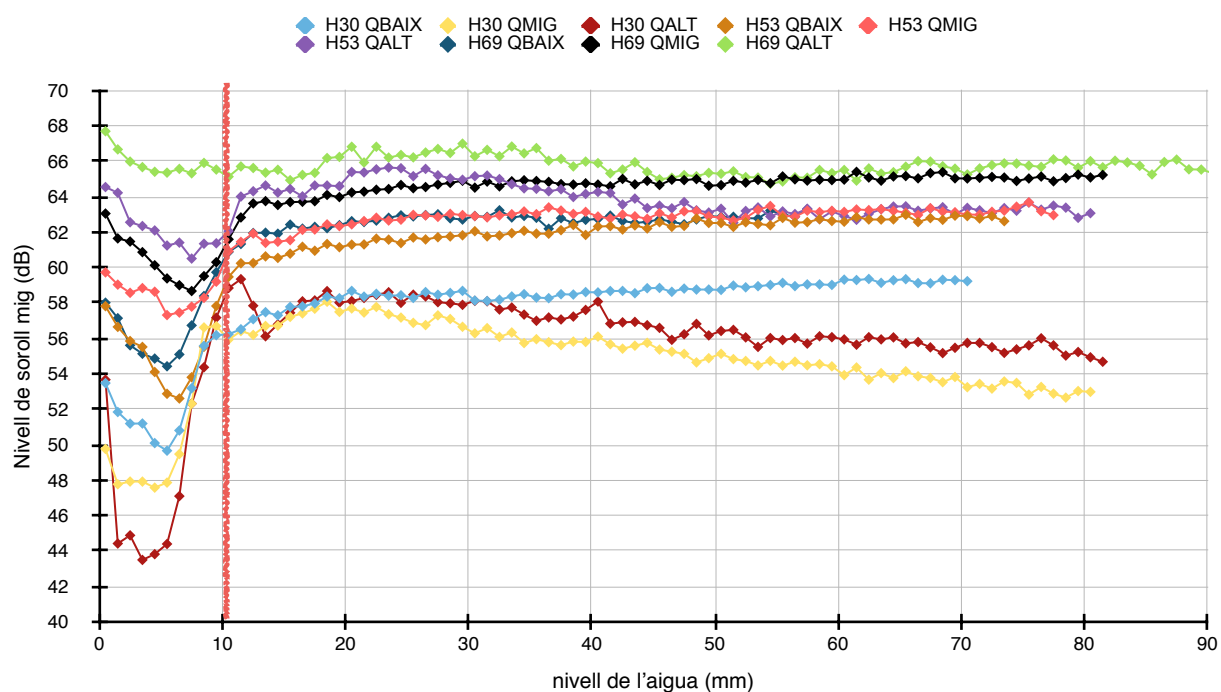


Figura 24. Representació gràfica del nivell de soroll mig vs nivell d'aigua, banda ampla.

A la Figura 24, s'observa que generalment durant l'ompliment del primer centímetre hi ha una primera fase de decreixement en el primer impacte que dura fins als 5 mm i després torna a créixer fins que el recipient està omplert 1 cm aproximadament. Passat aquest nivell s'observa una constància del soroll, on no s'arriba a més de 4 dB de diferència.

Per l'alçada de menor caiguda d'aigua, la de 30 cm s'observa en claredat les fases anteriorment explicades, independentment de la intensitat de sortida de l'aigua. En canvi, en el cas de màxima alçada estudiada (69 cm) i cabal alt (78,12 ml/s), des del primer impacte fins a tenir 9 cm de gruix d'aigua en el recipient, pràcticament el seu comportament és constant on hi ha una variació de només 3 dB.

La primera part de l'impacte, el soroll és generat entre aigua-material recipient, està condicionada clarament pel material del recipient, per tant no el podem extrapolar. Dir que en el nostre cas, el recipient no estava recolzat en la totalitat de la base, aquest fet possibilita la vibració. En els primers 5 mm quan el raig cau, s'observa que l'aigua es reparteix al voltant d'ell, fins a reduir-ne el diàmetre d'impacte i iniciant el bombolleig. Dels 5 a 10 mm augmenta l'excitació de les bombolles augmentant així el nivell de pressió acústic.

Una vegada passat el primer centímetre, el recipient té menys influència ja que l'impacte és entre aigua-aigua, el bombolleig és més constant, fent que el soroll generat també ho sigui.

En el nostre estudi, hem decidit menysprear les dades del primer centímetre, per la influència ja explicada del material del recipient. De totes maneres, com més alçada de caiguda menys influent és el material.

7.2 Anàlisis parcials

Un cop ens hem desfet de la primera part (0-1 cm), treballem amb la segona, ens interessa mirar quina relació té el soroll amb cada una de les variables. Les variables que intervenen són clarament el cabal (Q), alçada caiguda aigua (H) i gruix d'aigua (g). Fem l'anàlisi previ, del nivell de soroll respecte l'alçada de la caiguda d'aigua, el cabal i la variació de la quantitat de moviment.

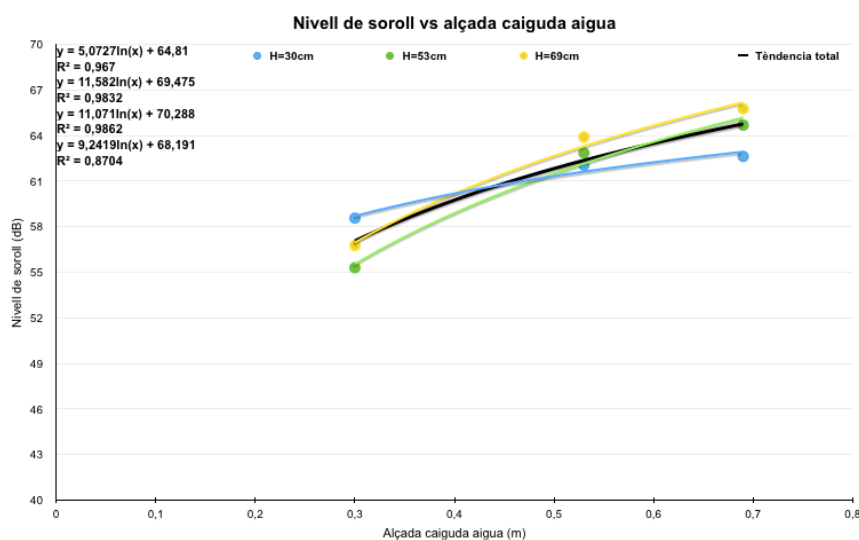


Figura 25. Gràfic de la variable H

A la Figura 25, s'observa un comportament logarítmic de la variable H, amb un coeficient de determinació R^2 molt ajustat.

En el cabal (Figura 26), aquest comportament logarítmic ho compleix en tots els punts, menys per l'alçada 30 cm i cabal mig 33,35 ml/s.

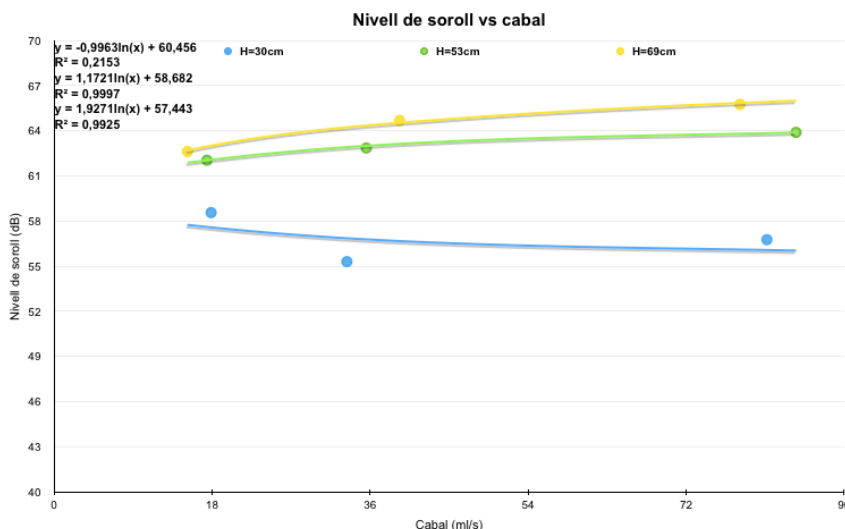


Figura 26. Gràfic de la variable Q

També hem representat a la Figura 27, la variació quantitat de moviment, que explica el cabal i alçada concentrat. I com que es calcula a partir del cabal, tampoc complirà la tendència logarítmica al mateix punt que en l'anterior Figura 26.

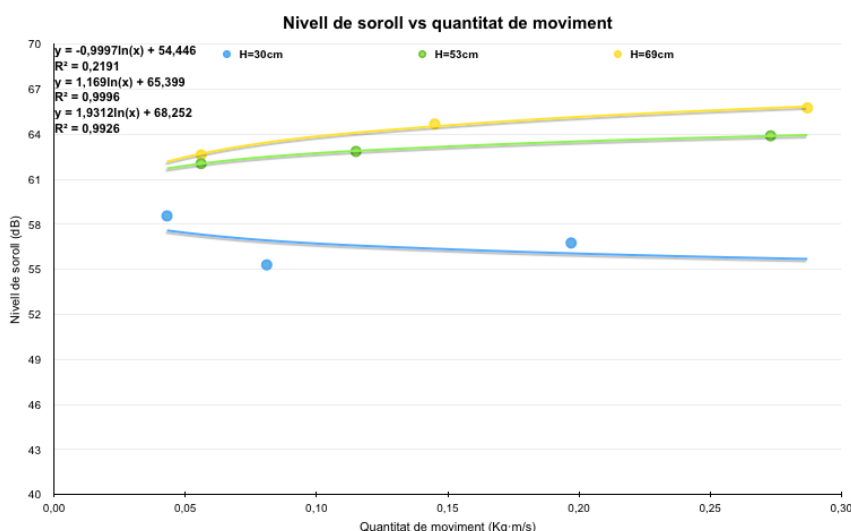


Figura 27. Gràfic variació quantitat de moviment

Per tant, podem dir que la part que estudiem, en general, per les diferents variables la funció logarítmica és la que millor explica, el núvol de punts, excepte per un cabal,

8 MODEL MATEMÀTIC

8.1 Regressió matemàtica

Un cop analitzada la informació, volem explicar el nivell de soroll en base als tres factors, Q (cabal), H (alçada de la caiguda d'aigua) i G (gruix nivell d'aigua). Per predir això, s'intenta fer una regressió respecte aquests tres paràmetres, que s'ha vist que en general tenen un comportament logarítmic, tal i com hem justificat en el capítol de l'anàlisi dels resultats. Per tant, el que es proposa és utilitzar un regressió multi-logarítmica, relacionant el nivell de soroll amb cadascú d'aquests tres paràmetres. Hem optat per utilitzar un model logarítmic amb la relació més flexible possible com indica l'Equació 19.

$$y=a+b\cdot\log_{10}(c\cdot x_1+d)+e\cdot\log_{10}(f\cdot x_2+g)+h\cdot\log_{10}(i\cdot x_3+j) \quad (\text{Eq.19})$$

S'utilitza el programa DataFit versió 9.1.32 (Oakdale Engineering), l'estimació dels coeficients es realitza pel mètode Levenberg-Marquardt, amb doble precisió per realitzar la regressió no lineal. En realitat, el que fem és utilitzar la fórmula de regressió com a interpolació entre els diferents valors, per poder-los descriure tots.

Ens interessa estudiar-ho, per la banda d'ampla i les freqüències de banda d'octaves de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz i 8000 Hz. S'ha vist que per la freqüència de 1000 Hz, que amb l'expressió multi-logarítmica no es pot descriure, en canvi s'ajusta a un model lineal múltiple. (Equació 20) Veure *Annex C*.

$$y=a\cdot x_1+b\cdot x_2+c\cdot x_3+d \quad (\text{Eq.20})$$

S'ha de dir, que hem provat altres expressions per tal de descriure aquest model, com l'exponencial, una de lineal, però no s'ajustaven tan bé com la multi-logarítmica.

En resum, pel càlcul del nivell sonor per la banda d'octava de 1000 Hz, utilitzarem la següent expressió amb els coeficients corresponents, tal i com es mostra a la Taula 8.

Expressió lineal múltiple	
$L_p=a\cdot Q+b\cdot H+c\cdot G+d$	
Coefficients	1000 Hz
a	-3,25E-03
b	0,1924
c	0,0105
d	39,0963

Taula 8. Coeficients per 1000 Hz

Per la resta, tal i com hem explicat utilitzarem el model matemàtic multi-logarítmic (Taula 9).

Expressió multi-logarítmica		$L_p = a + b \cdot \log_{10}(c \cdot Q + d) + e \cdot \log_{10}(f \cdot H + g) + h \cdot \log_{10}(i \cdot G + j)$					
Coeficients	banda ampla dBA	125 Hz	250 Hz	500 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
a	-2,1769	44,9996	-49,2343	6,6681	0,3873	-2,00E-02	-4,0354
b	34,7398	6,1407	3,4027	8,6457	6,2476	16,6043	32,9890
c	0,6378	117,0788	14,6476	5,2971	8,57E-03	0,2573	1,04E-03
d	346,6573	-1598,6786	-232,8733	1365,3833	1,3518	37,0418	0,5252
e	7,1667	18,8812	33,5234	1,8138	11,9459	8,5405	10,3515
f	20,5596	115,6278	4,0519	12,7714	13,1419	12,6776	11,5676
g	-522,5526	-1531,3063	-4,8316	-383,0825	-261,8439	-323,8351	-268,5427
h	-4,2677	-74,2378	9,1206	5,0430	6,9522	0,6166	12,0253
i	8098378,0826	0,0550	-0,3507	16,2160	-4,3713	4,8108	-4,5510
j	21143337390,8205	13,1033	44,4068	-162,3889	673,6087	-50,5064	770,9508

Taula 9. Coeficients per l'expressió multi-logarítmica

En tots els casos el cabal (Q) s'expressa en ml/s, l'alçada de la caiguda d'aigua (H) en cm, el gruix del nivell de l'aigua (G) en mm i el nivell sonor (L_p) en dB.

Recordar que aquest model matemàtic només es compleix quan els paràmetres estan dins d'aquests valors. Quan el cabal està comprès entre 15,94 i 84,51 ml/s, per una alçada de caiguda de 30 a 69 cm i un nivell d'aigua entre 10 i 91 mm.

8.2 Anàlisi de la importància de les diferents variables de la font en la generació de soroll

El soroll generat per la font, segons l'estudi realitzat, s'explica en base a 3 factors: alçada, cabal i nivell d'aigua.

Després de realitzar el model matemàtic i en base a les dades de soroll generat en banda ampla, es pot estudiar d'aquests 3 factors quin és el més i menys rellevant, pel que fa a l'energia acústica generada.

Calculem la variació del nivell de soroll, fixant cabal i alçada, ho fem en tots els casos per un nivell d'aigua de 5 cm, veure Taula 10.

H(cm)	Q(ml/s)	Lp(dB)	Variació Lp (dB)	Q(ml/s)	H(cm)	Lp(dB)	Variació Lp (dB)
30	85	58,3	1,8	16	69	63,6	7,1
	16	56,5			30	56,5	
45	85	62,8	1,7	50	69	64,4	7
	16	61,1			30	57,4	
69	85	65,3	1,7	85	69	65,3	7
	16	63,6			30	58,3	

Taula 10. Variació del nivell de soroll

A la Taula 10, veiem que si fixem l'alçada i variem el cabal, només podem arribar a tenir una variació del nivell de soroll de 1,8 dB. Per altra banda, si fem el contrari, obtenim una variació del nivell sonor de 7,1 dB. Per tant, per aconseguir més o menys soroll, tenim més joc variant l'alçada. Fet que fa que l'alçada de la caiguda de l'aigua sigui el factor més influent alhora de generar soroll.

En canvi, si fixem Q i H, el rang del nivell d'aigua en el que hem estudiat el model matemàtic, era de 1 a 9,1 cm, obtenim una variació del soroll de només 0,1 dB. Essent el nivell de l'aigua el factor menys important per generar soroll.

9 EXEMPLE D'APLICACIÓ

La finalitat de tot el projecte, una vegada trobat el model que segueix la font d'aigua estudiada, és poder utilitzar el soroll de l'aigua de la font com a emmascarant del soroll de la carretera generat pel trànsit rodat, a continuació, n'estudiarem un cas hipotètic.

Tenim una casa de colònies de tres plantes, situada a 250 m de la carretera C-162, a la població d'Urús (Baixa Cerdanya). Al qual els propietaris volen emmascarar el soroll de la carretera, per tal que els hostes puguin gaudir de la zona de relax del porxo, construint una font d'aigua. A continuació a la Figura 28 es mostra un petit esbós d'aquest cas en concret.

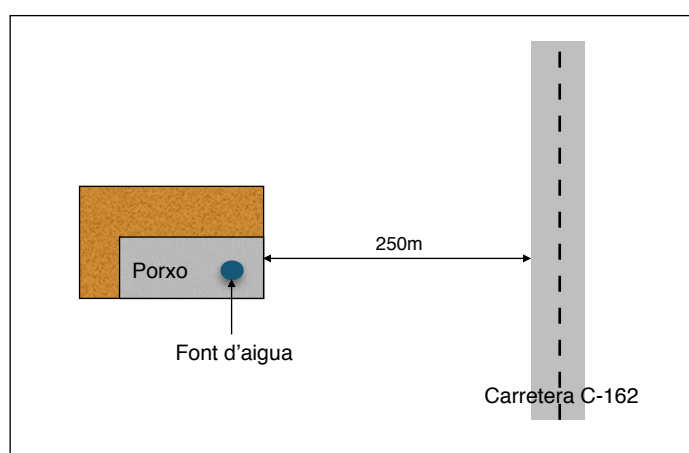


Figura 28. Esbós del cas d'aplicació

Font: Pròpia

Aquesta font està situada a 18,5 m de la façana del porxo amb sortida a la carretera, és la distància que ens interessa que no es senti el soroll de trànsit.

Ens basarem a l'estudi de Ali, Tahir Taki (2012) sobre l'emmascarament del soroll de trànsit rodat, on afirma que perquè el soroll del trànsit quedi totalment emmascarat, el nivell de soroll de la font d'aigua ha de ser el mateix que el del trànsit o com a màxim 3 dB per sota.

9.1 Caracterització del soroll de trànsit

El programa CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) és un software per Datakustik pel càlcul, presentació, avaluació i predicció del soroll ambiental. Considera el soroll de trànsit com una font de soroll lineal situada sobre l'eix de la carretera. Per fer una simulació del trànsit al màxim de real possible es treballa amb la IMD (Intensitats Mitjanes Diàries) de la via. La IMD és la intensitat mitjana de vehicles al dia que circulen per la via. Segons el pla d'aforaments 2013 de la Generalitat, la IMD en el nostre cas és el que es mostra a la Taula 11.

Carretera	Població	Definició del tram	IMD	Velocitat Km/h	Any
C-162	Urús	C-16(Bellver de Cerdanya)- N-152(Fontanals de Cerdanya)	3.726	70,14	2012

Taula 11. Característiques de la carretera C-162

Una vegada introduïdes les característiques de la carretera en el programa de simulació, es determinen els nivells de soroll generats pel trànsit, a continuació es mostra a la Figura 29.

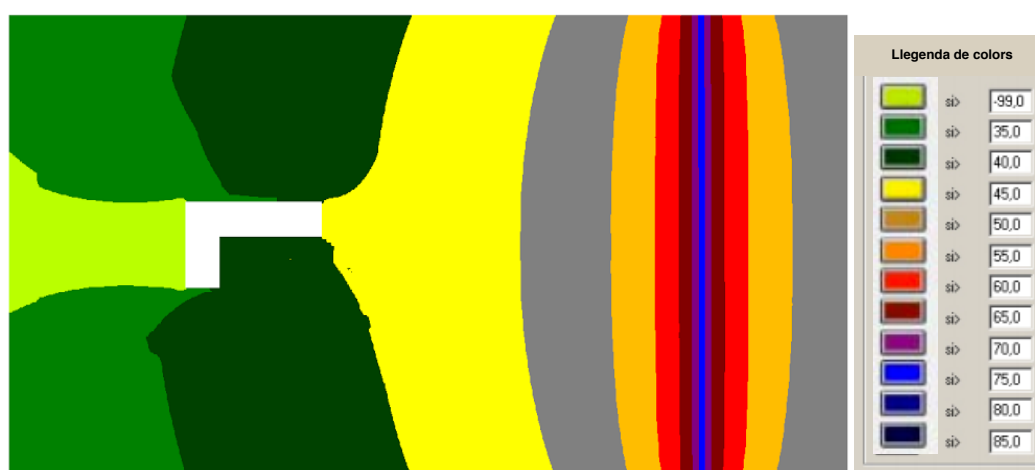


Figura 29. Simulació dels nivells d'immissió generats pel trànsit

Observem, que hi ha un cert impacte a la zona del porxo és quantifica per la zona verd fosc per l'ordre de 40 a 45 dBA.

El programa ens determina que en el punt en concret que volem estudiar, hi arriba un nivell de soroll de 44,4 dBA. És un soroll molt lleu, però per l'ambient de la zona relax podria ser molest, aquest és el soroll a emmascarar, per la font d'aigua.

9.2 Disseny de la font d'aigua

Un cop hem descrit matemàticament tot el comportament, en el capítol 8. Simplement dins dels marges en el qual hem fet l'estudi, podem imposar unes certes condicions i així poder fer el disseny de la caiguda d'aigua (Figura 30).

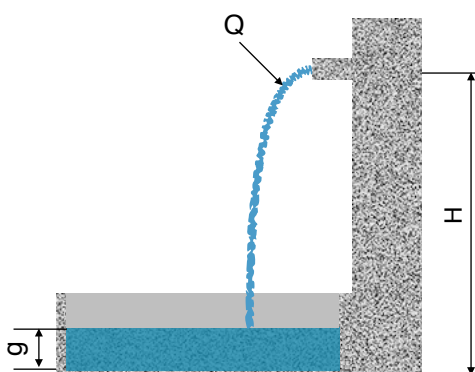


Figura 30. Disseny de la font amb els seus paràmetres

Font: Pròpia

Donant els següents valors als nostres paràmetres: $H=50\text{cm}$, $Q=80\text{ml/s}$, $g=50\text{mm}$ i n , on n és el nombre de rajos d'aigua de la font. Obtenim els següents nivells de soroll de la font d'aigua per cadascuna de les bandes d'octava centrals i de l'ampla. (Taula 12)

Bandes	ampla	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Lp (dB)	63,4	48,3	50,9	53,3	49	51,8	51,9	47,5

Taula 12. Nivells de soroll de la font d'aigua

Després el que fem és una correcció aritmètica, ponderem en A, ajustarem cadascun dels nivells per adaptar-les al comportament de la oïda humana. Aquests ajustos, els sumem logarítmicament i obtenim que la suma energètica de les diferents freqüències en banda d'octava, ponderades segons la corba A, resulten en un nivell de soroll en banda ampla de 58 dBA.

Degut al tractament matemàtic diferenciat dels nivells en banda ampla i els nivells procedents de l'espectre del fenomen acústic, aquest no coincideixen totalment. En aquest cas, des del punt de vista energètic es pren el valor resultant del tractament matemàtic en banda ampla, donat que el seu ajust estadístic és millor. Tot i això la informació espectral, també necessària, només es pot extreure de l'ajust estadístic de les mesures en banda d'octava.

Finalment per coherència, es prendrà la "forma" espectral del soroll analitzat i se li aplicarà un procés d'adaptació d'espectre (variar proporcionalment els nivells individuals de cada banda d'octava, mantenint la diferència relativa entre elles), per tal d'obtenir un espectre amb la forma original, però amb un nivell equivalent ponderat segons la corba A coherent amb els valors estudiats.

El resultat d'aquest tractament per adaptació d'espectre es pot veure a la següent Taula 13.

Bandes	ampla	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Lp adaptat (dBA)	63,4	53,7	56,3	58,7	54,3	57,2	57,3	52,9

Taula 13. Nivells de soroll adaptats de la font d'aigua

A la Figura 31, es mostra el gràfic on es pot observar la “forma” espectral d'aquests nivells de soroll adaptats.

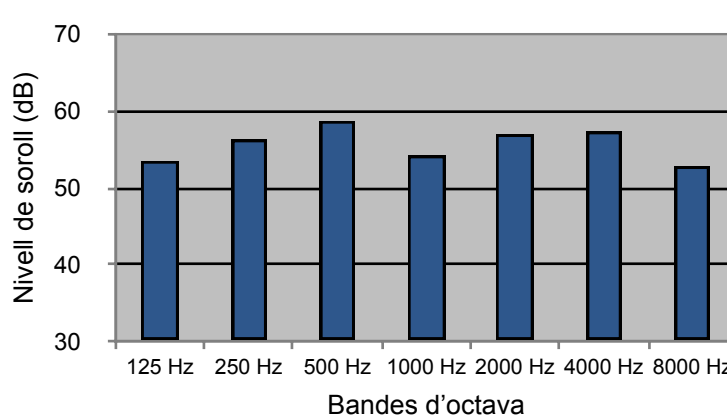


Figura 31. Representació gràfica espectral dels nivells de soroll adaptats

A partir dels nivells de soroll adaptats, es calcularà el nivell de potència, considerant la font de soroll com a puntual, mitjançant l'Equació 21.

$$L_w = L_p + 20 \log_{10}(r) - D_i - 10 \log_{10} \left[\frac{W_{ref} \rho^2 c}{p_{ref}^2 \cdot 4\pi} \right] \quad (\text{Eq.21})$$

On,

L_w : Nivell de potència acústica (dB)

L_p : Nivell de pressió acústica (dB)

r : Distància entre la mesura i la font puntual (m)

D_i : Índex de directivitat ($D_i=3$)

W_{ref} : Potència sonora de referència ($10^{-12}W$)

p_{ref} : Pressió sonora de referència ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa)

ρ : Densitat de l'aire (Kg/m³) on T=18°C

c : Velocitat del so (m/s) on T=18°C

L'única cosa que hem fet és calcular la potència acústica del doll d'aigua, a partir de les mesures reals que hem fet al laboratori. Utilitzant així la nostra distància real (r) de 0,63m, essent la distància del micròfon a la base del recipient.

A continuació, a la Taula 14, s'indica els resultats obtinguts dels nivells de potència generats per la caiguda de l'aigua de la font.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Lw (dB)	57,5	60,1	62,5	58,2	61,0	61,1	56,7

Taula 14. Nivells de potència a $r=0,63m$

Tal i com hem fet amb els nivells de soroll, els nivells de potència també els ponderem segons la corba A, i obtenim un nivell de potència en banda ampla de 67,2 dBA.

Com que volem pre-dimensionar aquesta potència per un cas en concret, perquè volem que la font d'aigua doni uns decibels en concret a 18,5 m. Calcularem els nivells de potència, considerant la font puntual i de propagació esfèrica, però en aquest cas $r=18,5m$. Mirem quin nivell de soroll de la font d'aigua arribaria a aquest punt en concret, $L_p=34$ dBA. Per tant, aquesta font dissenyada amb un únic doll no emmascararia el soroll de la carretera perquè aquest soroll hauria de ser entre 44,4 i 41,4 dBA.

El que fem, és jugar amb n , el nombre de rajos d'aigua de la font i veiem que el nivell de soroll, generat per 4 rajos a 18'5m és de 43 dBA. Hem suposat que els diferents rajos d'aigua estan molt propers perquè els quatre funcionen com una font puntual i així poder sumar directament les potències.

La potència acústica resultant es pot veure a la següent Taula 15.

Bandes	ampla	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Lw (dBA)	67,2	66,5	69,1	71,5	67,2	70,0	70,1	65,7

Taula 15. Nivells de potència per 4 dolls d'aigua

Aquests valors de potència els introduïm al Cadna-A, a la Figura 32 es mostra el mapa de soroll generat per aquesta font d'aigua, anteriorment dissenyada.



Figura 32. Simulació de soroll generat per la font d'aigua

Veiem que en el punt central de la font d'aigua, zona vermella és el punt de màxim soroll, a mesura que ens anem separant d'aquest diàmetre inicial, el soroll serà menor. En el mateix punt on anteriorment hem vist que hi arribava un soroll de trànsit de 44,4 dBA desconnectant la font d'aigua. Ara, únicament amb el soroll de la font d'aigua hi haurà un nivell de soroll de 43 dBA, tal i com hem calculat. En resum, es compleix l'estudi de Ali, Tahrir Taki (2012), ja que en aquest punt el soroll queda totalment emmascarat quan el soroll de la font d'aigua, està entre 44,4 i 41,4 dBA, per una font amb 4 caigudes d'aigua a mig metre i amb un cabal de 80 ml/s, amb un gruix de nivell d'aigua de 5 cm al recipient de la font.

9.3 Zona d'afectació

Una vegada tenim les potències, fem la propagació acústica, en el nostre cas la diferència dels mapes de soroll, el de trànsit i el de la font d'aigua. I així poder determinar l'àrea d'afectació (Figura 33), és a dir la zona que queda coberta del soroll del trànsit. Dins d'aquesta zona "cercle negre", el soroll de la carretera queda 100% emmascarat, en base al criteri de Ali, Tahrir Taki (2012), fora d'aquesta zona la font deixaria de ser efectiva.

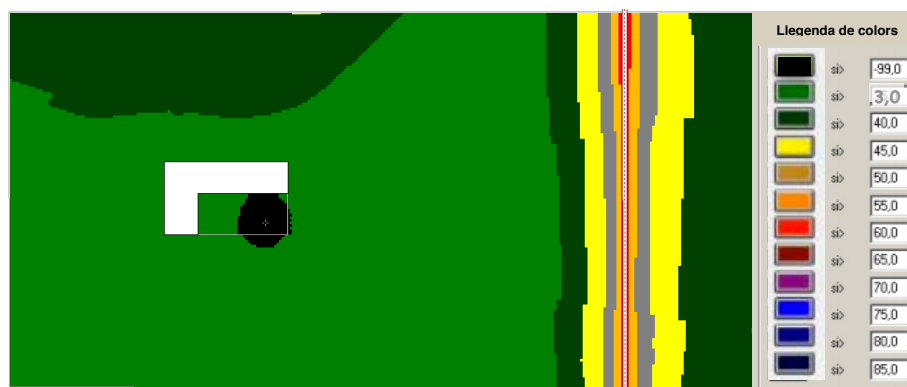


Figura 33. Zona d'emascarament

10 CONCLUSIONS

Malgrat alguna dificultat matemàtica, hem pogut predir el soroll que fa la font d'aigua, dins dels nostres marges de mesura, en base a tres factors: cabal, alçada de la caiguda del doll d'aigua i el nivell de l'aigua en el recipient. Dins d'aquests tres factors, els resultats semblen indicar que el més rellevant i influent alhora de generar soroll és l'alçada.

Hem vist que durant el primer centímetre, el soroll està fortament influenciat pel material de construcció de la font. En una font amb aquestes característiques no tindria massa sentit considerar-lo, en el nostre cas, el soroll era considerable. Una font més pesada o amb un material més rígid i menys deformable, el nivell de soroll seria molt baix i no usable per generar soroll. Per tant, la font d'aigua ha de tenir un nivell mínim d'aigua. A partir d'aquest centímetre, el soroll procedeix bàsicament de la formació de les bombolles degudes a l'impacte aigua-aigua, aquestes bombolles tenen una dinàmica relativament complexa.

Hi ha moltes possibilitats pel que fa a expressions matemàtiques, que podrien descriure el comportament de la caiguda d'aigua, però hem elegit el model més coherent. Si en banda ampla el soroll té un comportament relativament bo i es pot ajustar en certs paràmetres de qualitat en els diferents espectres, en alguns d'ells no ho és tant.

Sense fer aquest estudi previ, no seria possible aquest disseny, només amb prova i error. En canvi, aquest treball possibilita algunes aplicacions com el disseny de fonts ornamentals o per a aspectes més d'emascament, que d'una altra manera seria molt complicat fer-ho o mitjançant un complex exercici de prova i error, tal i com hem dit.

Unes de les finalitats del projecte, és que per el nostre exemple d'aplicació acabem calculant la potència acústica en funció del cabal, alçada de la caiguda d'aigua, el nivell de l'aigua i el nombre de dolls. I avaluant-ho, podem més o menys determinar aquesta font com d'efectiva pot ser en un cas en concret, per exemple per atenuar el soroll de trànsit, perquè no sigui desagradable.

11 BIBLIOGRAFIA

Ali Al-Musawi, T.T (2012). *Acoustical design of water features and their use for road traffic noise masking*. (Tesi doctoral, Heriot-Watt University). Recuperat a <http://www.ros.hw.ac.uk/handle/10399/2603>

Ángel, J. (2014). El ruido. Conceptos básicos y criterios de Evaluación y Control. Recuperat a http://es.slideshare.net/presentaciones_exponav/ja-fraguela-conceptos-bsicos-criterios-de-evaluacin-y-control-35341302

Franco, A. (1998). *Dinámica de fluidos*. Madrid: CICYT, Ministerio de Educación y Cultura.

Garcia, B., i Garrido, F.J. (2003). *La contaminació acústica a les nostres ciutats*. Barcelona: Fundació "la Caixa".

Garcia, R. (2009). *Ondulaciones en un chorro de agua*. Recuperat a <http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/131s+mf.pdf>

Naharro, J. (2014). *Dispositivos acústicos de alarma de incendios*. Recuperat de <http://blog.prefire.es/tag/sirena-de-alarma-de-incendios/#>

Ochoa, J.M., i Bolaños, F. (1990). *Medida y control del ruido*. Barcelona: Marcombo S.A.

París, A., i Hevia, A. (2002). Menys soroll millor. *Guies d'educació ambiental*, 8, 1-28. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, Direcció d'Educació Ambiental i Participació.

Querol, J.M. (1994). *Manual de mesurament i avaluació del soroll* (1 edició). Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.

Torralba, A (2013). Pla d'aforaments 2013. *Servei d'Instal·lacions i Equipaments Viaris*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat.

Wikipedia. *Enmascaramiento temporal*. Recuperat de http://es.wikipedia.org/wiki/Enmascaramiento_temporal

Wikipedia. *Umbral de enmascaramiento*. Recuperat de http://es.wikipedia.org/wiki/Umbral_de_enmascaramiento

ANNEXOS

A. MESURES

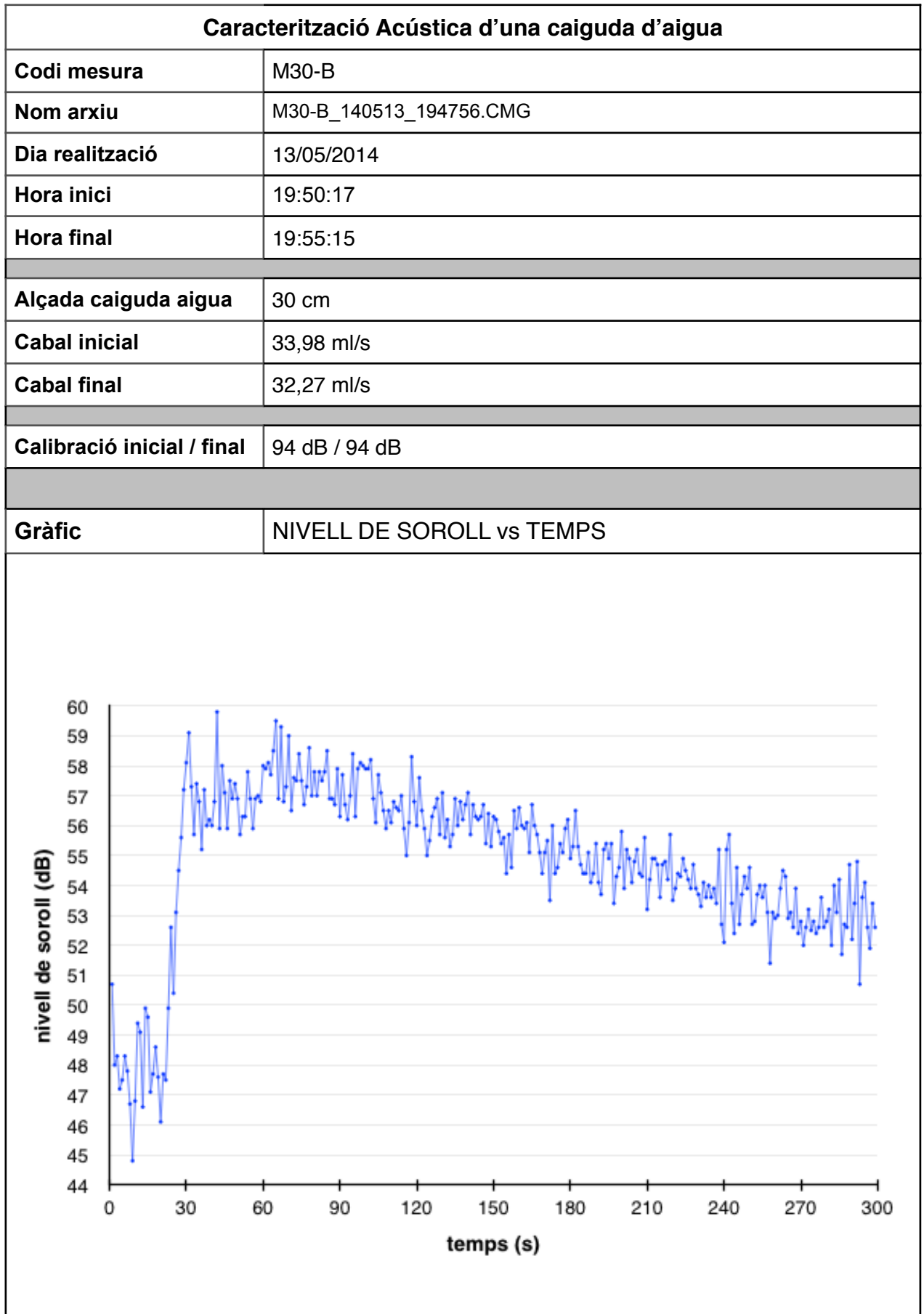
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-E
Nom arxiu	M30-E_140513_201523.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	20:15:52
Hora final	20:24:21
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	18,93 ml/s
Cabal final	17,95 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 510 seconds. The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 46 to 63 in increments of 1. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 510 with major ticks at 0, 85, 170, 255, 340, 425, and 510. The data shows a noisy signal that starts at approximately 50 dB at 0 seconds, drops to a minimum of about 47 dB at 10 seconds, then rises sharply to about 58 dB by 30 seconds. From 30 seconds onwards, the noise level fluctuates significantly, generally staying between 57 dB and 62 dB, with several peaks reaching 61 dB or higher.</p>	

Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-F
Nom arxiu	M30-F_140513_202442.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	20:26:02
Hora final	20:34:42
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	17,95 ml/s
Cabal final	17,76 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 525 seconds. The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 45 to 62 in increments of 1. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 525 in increments of 75. The data shows a noisy signal that starts at approximately 54 dB at 0 seconds, drops to a minimum of about 46 dB at 30 seconds, and then gradually increases, reaching a steady state between 58 dB and 61 dB from 150 seconds onwards. There are several sharp peaks, notably one around 275 seconds reaching approximately 61.5 dB.</p>	

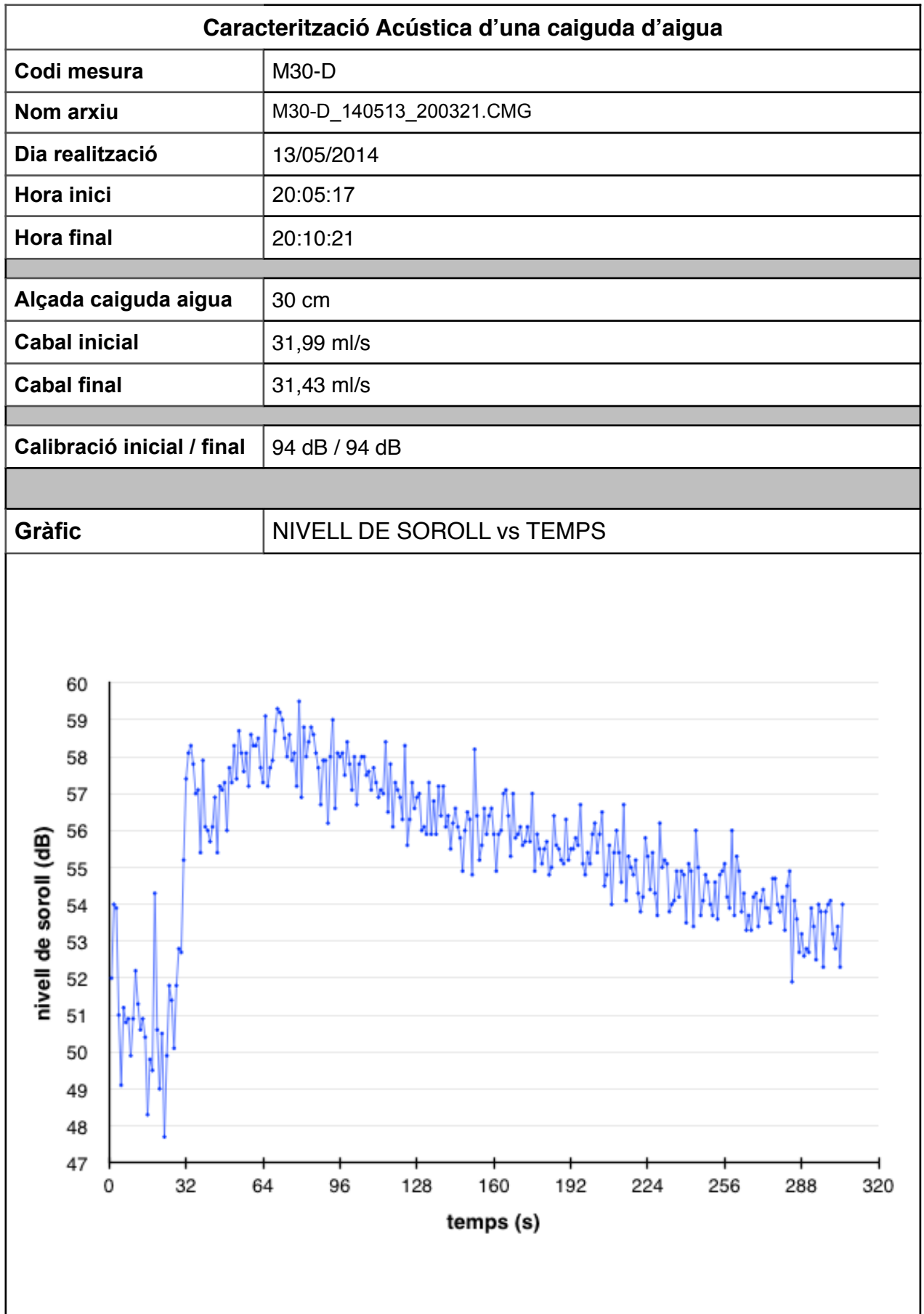
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-G
Nom arxiu	M30-G_140513_203510.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	20:36:30
Hora final	20:45:02
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	17,76 ml/s
Cabal final	17,54 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 525 seconds. The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 45 to 62 in increments of 1. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 525 in increments of 75. The data shows a noisy signal that starts at approximately 55 dB at 0 seconds, drops to a minimum of about 46.5 dB at 25 seconds, then rises to about 58 dB by 75 seconds. From 75 seconds onwards, the noise level fluctuates significantly, generally staying between 57 dB and 61 dB, with a notable peak of approximately 61.5 dB at 225 seconds.</p>	

Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-H
Nom arxiu	M30-H_140513_204522.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	20:47:23
Hora final	20:55:21
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	17,54 ml/s
Cabal final	17,63 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 500 seconds. The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 45 to 61 in increments of 1. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 500 in increments of 50. The data shows a noisy signal that starts at approximately 54 dB at 0 seconds, drops to a minimum of about 46 dB at 40 seconds, and then rises to fluctuate between 57 dB and 60 dB for the remainder of the measurement period.</p>	

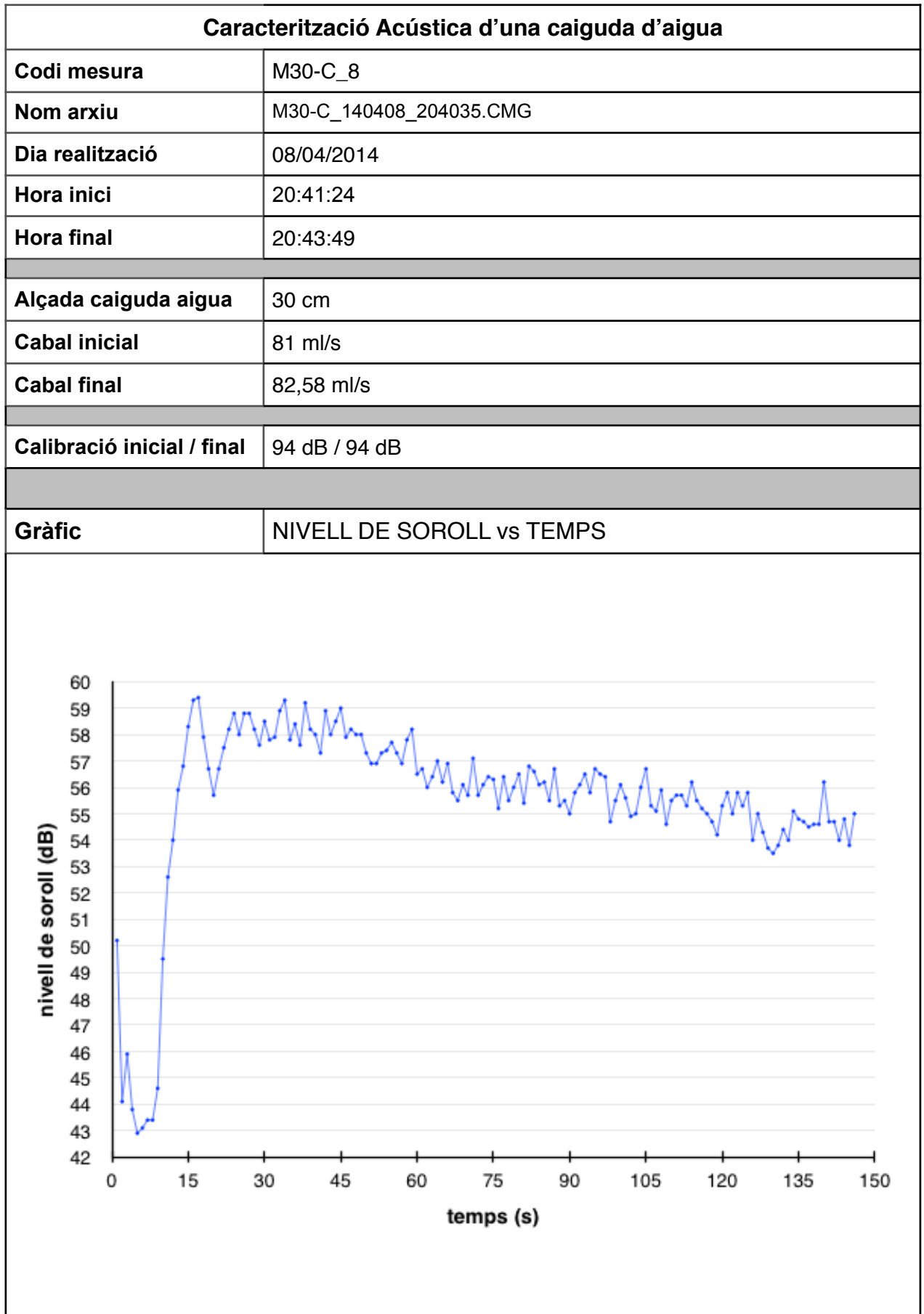
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-A
Nom arxiu	M30-A_140513_194204.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	19:42:39
Hora final	19:47:33
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	38,34 ml/s
Cabal final	33,98 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 300 seconds. The vertical axis (nivell de soroll) is marked from 40 to 59 dB in increments of 1. The horizontal axis (temps) is marked from 0 to 300 seconds in increments of 30. The data shows a noisy signal that starts at approximately 49 dB at 0 seconds, drops to a minimum of about 42 dB at 10 seconds, then rises sharply to about 57 dB by 30 seconds. It remains relatively stable between 55 dB and 58 dB until 120 seconds, after which it gradually decreases to about 51 dB by 300 seconds.</p>	



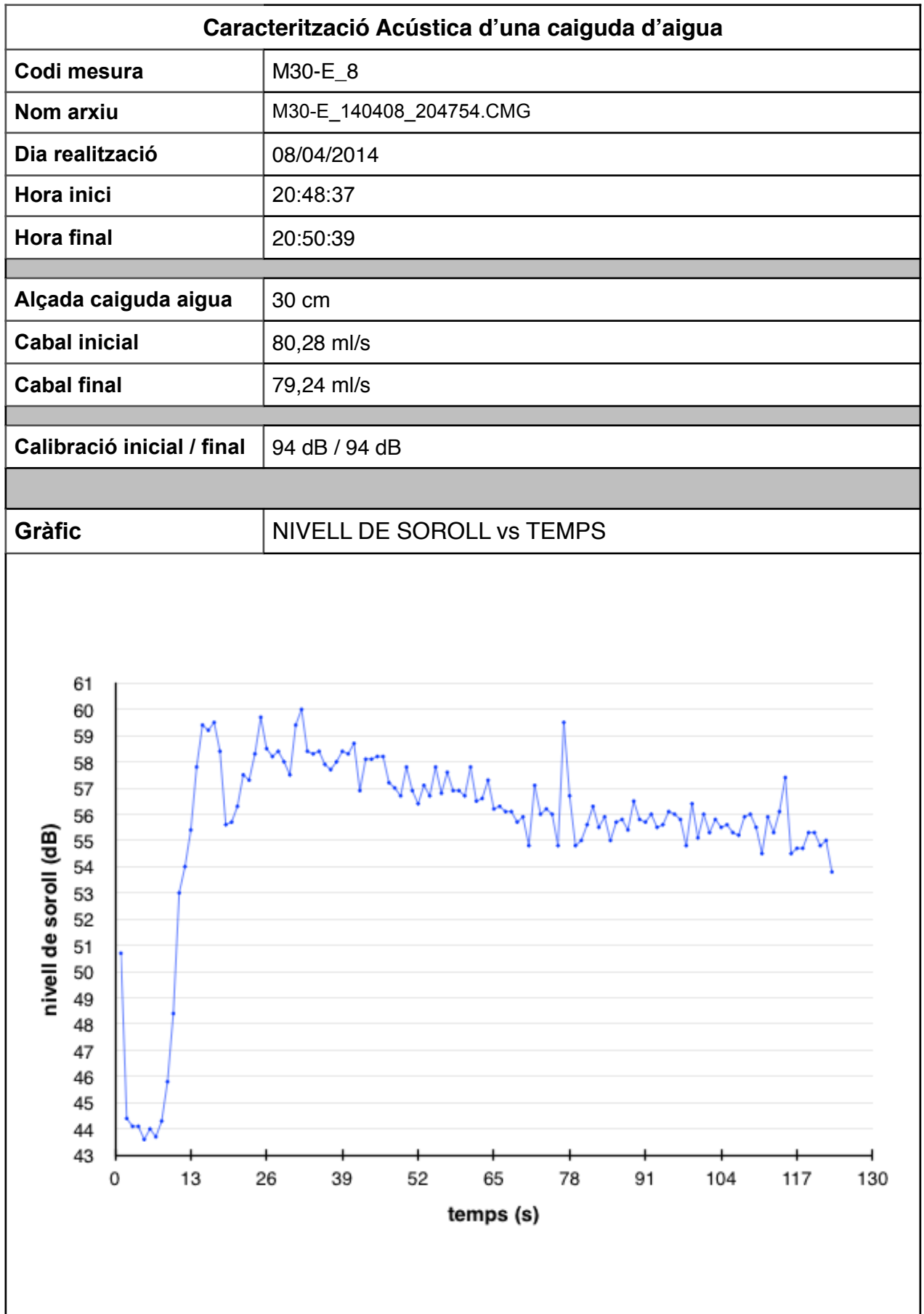
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-C
Nom arxiu	M30-C_140513_195553.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	19:58:04
Hora final	20:03:03
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	32,56 ml/s
Cabal final	31,99 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a 300-second period. The vertical axis (nivell de soroll (dB)) is marked from 46 to 60 in increments of 1. The horizontal axis (temps (s)) is marked from 0 to 300 in increments of 30. The data shows a sharp initial increase from 51 dB to a peak of approximately 59.5 dB at 30 seconds. Following this, the noise level remains relatively high, fluctuating between 57 and 60 dB until the 150-second mark. After 150 seconds, the noise level shows a general downward trend, fluctuating between 54 and 56 dB for the remainder of the 300-second duration.</p>	



Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-B_8
Nom arxiu	M30-B_140408_203728.CMG
Dia realització	08/04/2014
Hora inici	20:38:09
Hora final	20:40:18
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	82,59 ml/s
Cabal final	81 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph plots the noise level in decibels (dB) against time in seconds (s). The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 41 to 60 in increments of 1. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 135 in increments of 15. The data points are connected by a blue line. The noise level starts at approximately 43 dB at 0 seconds, rises to about 47 dB at 2 seconds, then to 55 dB at 10 seconds, and reaches a peak of about 59 dB at 15 seconds. From 15 to 135 seconds, the noise level fluctuates between approximately 54 dB and 59 dB, with a general downward trend over time.</p>	



Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M30-D_8
Nom arxiu	M30-D_140408_204428.CMG
Dia realització	08/04/2014
Hora inici	20:45:23
Hora final	20:47:32
Alçada caiguda aigua 30 cm	
Cabal inicial	82,58 ml/s
Cabal final	80,28 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a 130-second interval. The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 43 to 61 in increments of 1. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 130 in increments of 13. The data points are connected by a blue line, showing a sharp initial drop from 59.5 dB at 0s to 44 dB at 10s, followed by a rapid rise to a peak of 60 dB at 15s. The noise level then stabilizes, fluctuating between approximately 54 dB and 59 dB for the rest of the measurement period.</p>	

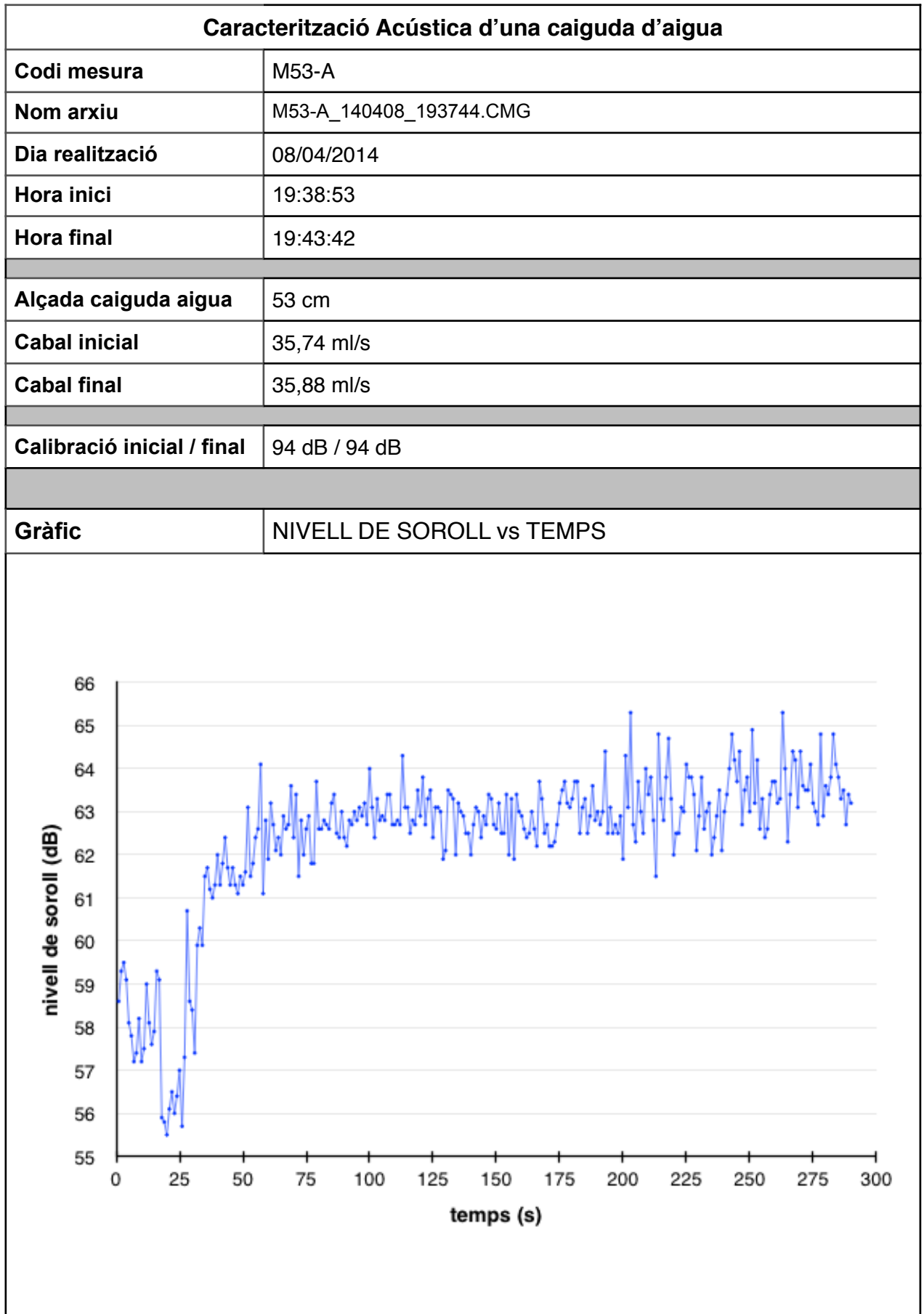


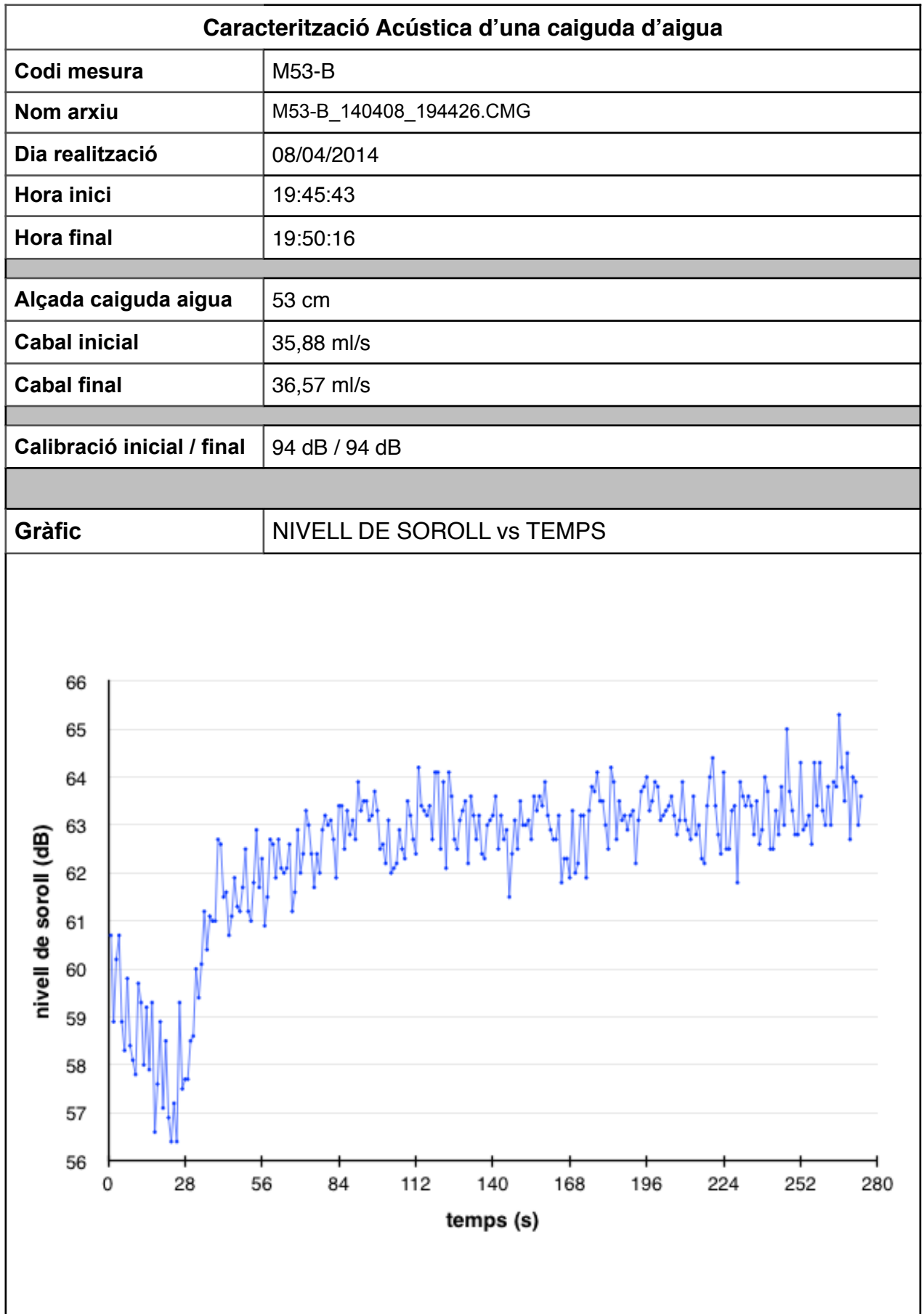
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M53-I
Nom arxiu	M53-I_140513_205943.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	21:01:14
Hora final	21:09:43
Alçada caiguda aigua 53 cm	
Cabal inicial	17,3 ml/s
Cabal final	17,18 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll (dB) en funció del temps (s) durant la caiguda d'aigua. L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 51 a 66 dB. L'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 520 s. La línia de dades indica un nivell de soroll inicial de 59 dB a 0s, que baixa a un mínim de 52 dB a 52s, i després s'eleva i fluctua entre 60 i 66 dB fins a 520s.</p>	

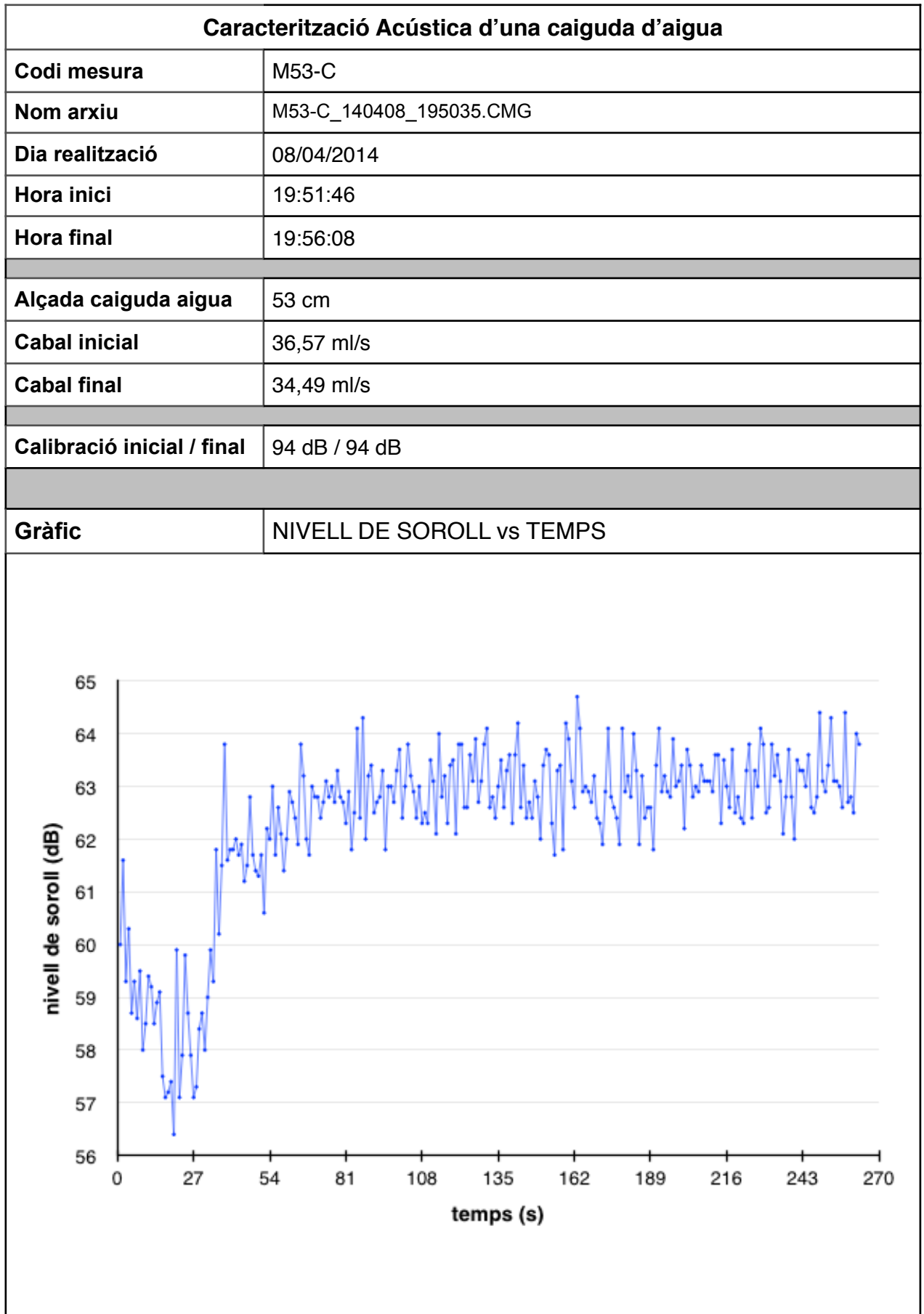
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M53-J
Nom arxiu	M53-J_140513_211025.CMG
Dia realització	13/05/2014
Hora inici	21:11:08
Hora final	21:20:10
Alçada caiguda aigua 53 cm	
Cabal inicial	17,18 ml/s
Cabal final	16,87 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll en dB al llarg del temps en segons. L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 51 a 66 dB. L'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 550 s. La línia de dades és una sèrie de punts connectats per una línia blava, que mostra una gran variabilitat. Inicialment, el nivell de soroll és d'aproximadament 58,5 dB a t=0, baixa a un mínim de 52,5 dB a t=40s, i puja a un nivell estable d'aproximadament 62-63 dB a partir de t=100s.</p>	

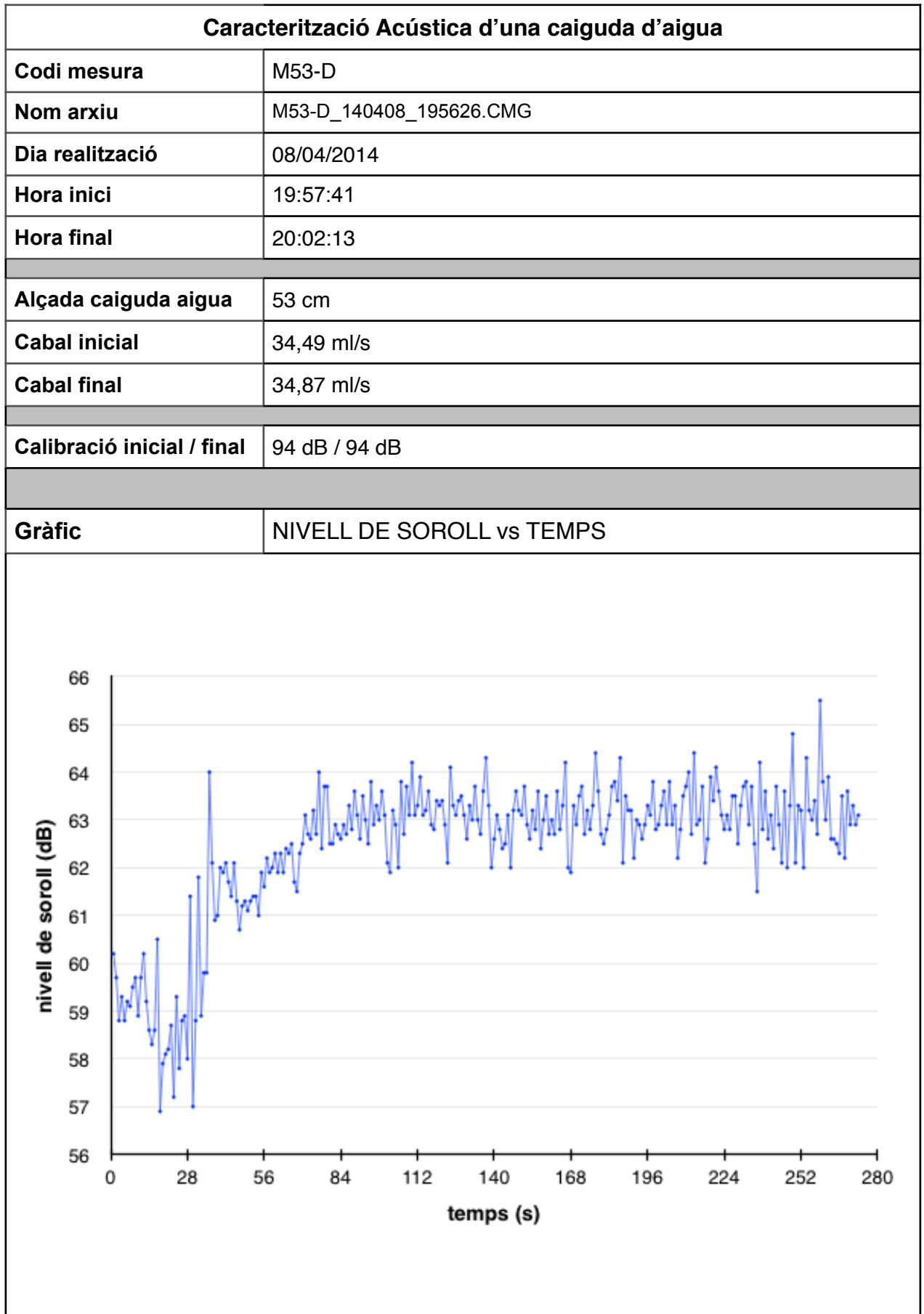
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M53-K
Nom arxiu	M53-K_140527_193618.CMG
Dia realització	27/05/2014
Hora inici	19:37:29
Hora final	19:41:51
Alçada caiguda aigua 53 cm	
Cabal inicial	14,17 ml/s
Cabal final	19,35 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll (dB) en funció del temps (s) per a una caiguda d'aigua. L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 51 a 66 dB. L'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 525 s. La línia de dades indica un pic inicial de soroll a 0s (aproximadament 58 dB), una disminució ràpida fins a un mínim de 52 dB a 50s, i després un augment progressiu fins a un nivell estable de aproximadament 63-64 dB a partir de 150s. Hi ha algunes puntes de soroll més altes, fins a 65 dB, durant el període estable.</p>	

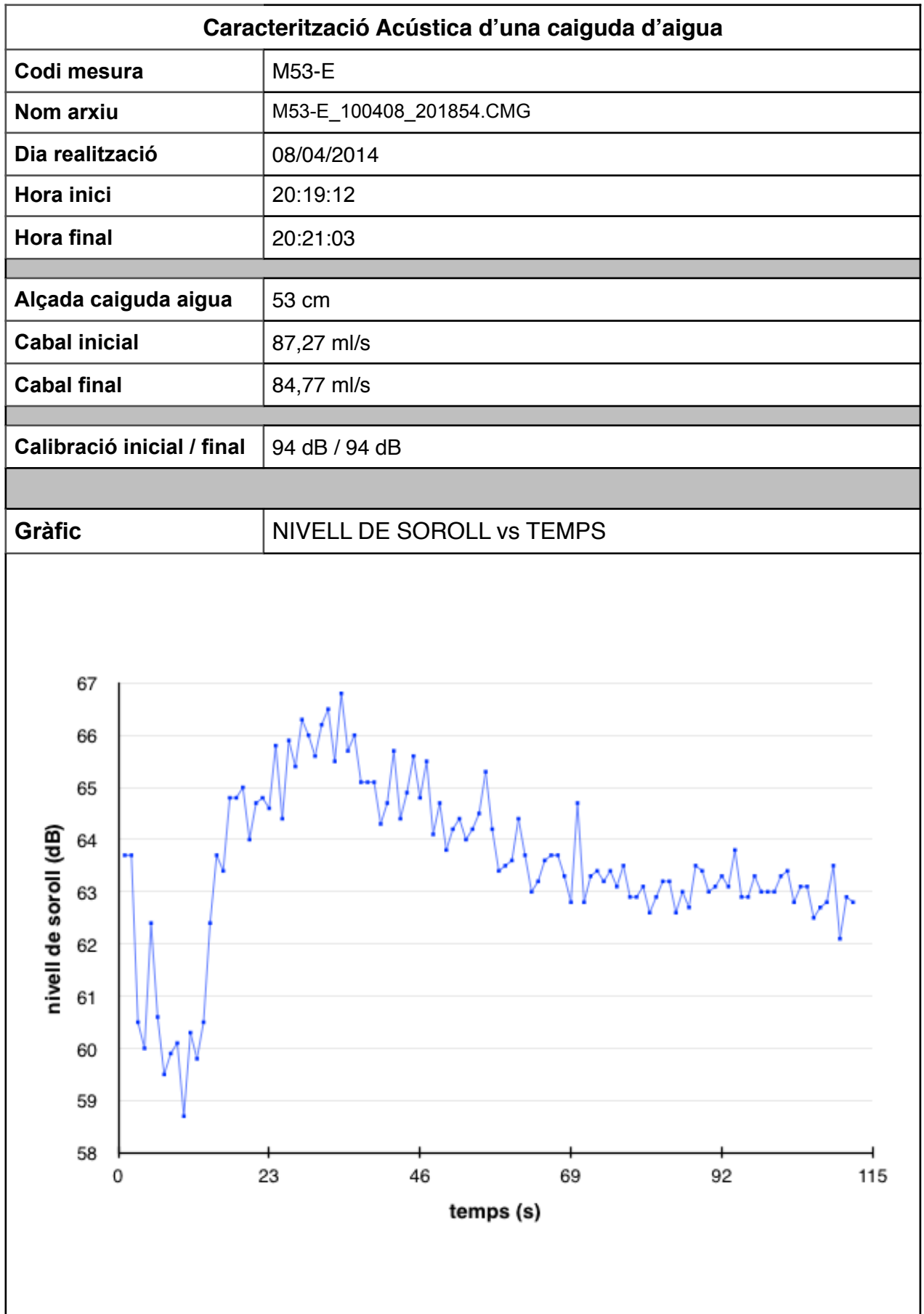
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua																															
Codi mesura	M53-L																														
Nom arxiu	M53-D_140527_194751.CMG																														
Dia realització	27/05/2014																														
Hora inici	19:49:10																														
Hora final	19:57:50																														
Alçada caiguda aigua 53 cm																															
Cabal inicial	19,35 ml/s																														
Cabal final	17,86 ml/s																														
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB																															
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS																														
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll en decibels (dB) al llarg del temps en segons (s). L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 51 a 67 dB, i l'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 525 s. La línia blava representa les dades, mostrant una caiguda inicial de soroll fins a 25s, seguida d'un augment i d'oscil·lacions al voltant d'un nivell mitjà de 62-63 dB.</p> <table border="1"> <caption>Dades aproximades del nivell de soroll vs temps</caption> <thead> <tr> <th>Temps (s)</th> <th>Nivell de soroll (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>59</td></tr> <tr><td>25</td><td>52</td></tr> <tr><td>50</td><td>60</td></tr> <tr><td>75</td><td>61</td></tr> <tr><td>100</td><td>62</td></tr> <tr><td>150</td><td>62</td></tr> <tr><td>200</td><td>63</td></tr> <tr><td>250</td><td>64</td></tr> <tr><td>300</td><td>63</td></tr> <tr><td>350</td><td>63</td></tr> <tr><td>400</td><td>64</td></tr> <tr><td>450</td><td>63</td></tr> <tr><td>500</td><td>64</td></tr> <tr><td>525</td><td>64</td></tr> </tbody> </table>		Temps (s)	Nivell de soroll (dB)	0	59	25	52	50	60	75	61	100	62	150	62	200	63	250	64	300	63	350	63	400	64	450	63	500	64	525	64
Temps (s)	Nivell de soroll (dB)																														
0	59																														
25	52																														
50	60																														
75	61																														
100	62																														
150	62																														
200	63																														
250	64																														
300	63																														
350	63																														
400	64																														
450	63																														
500	64																														
525	64																														

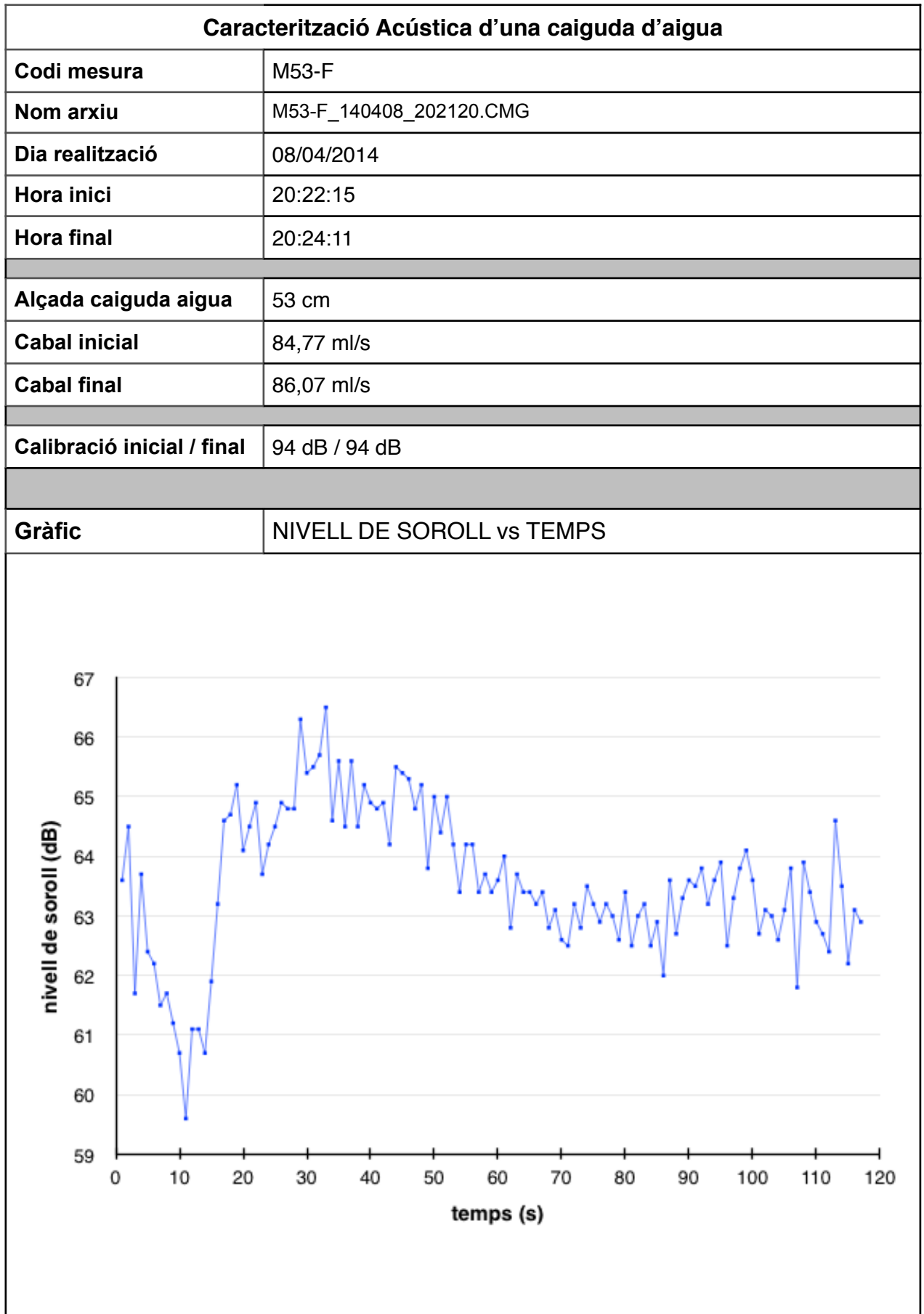


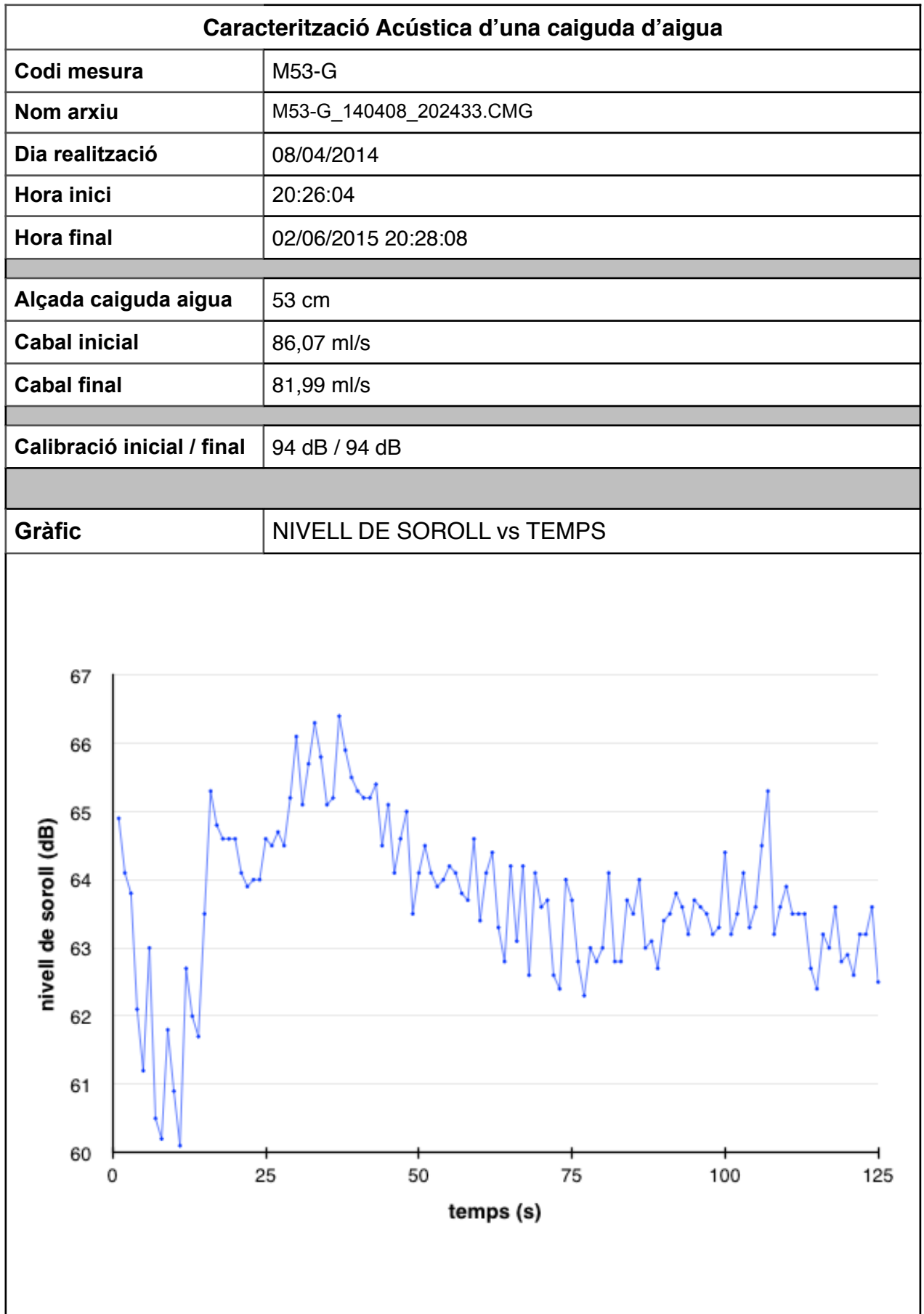


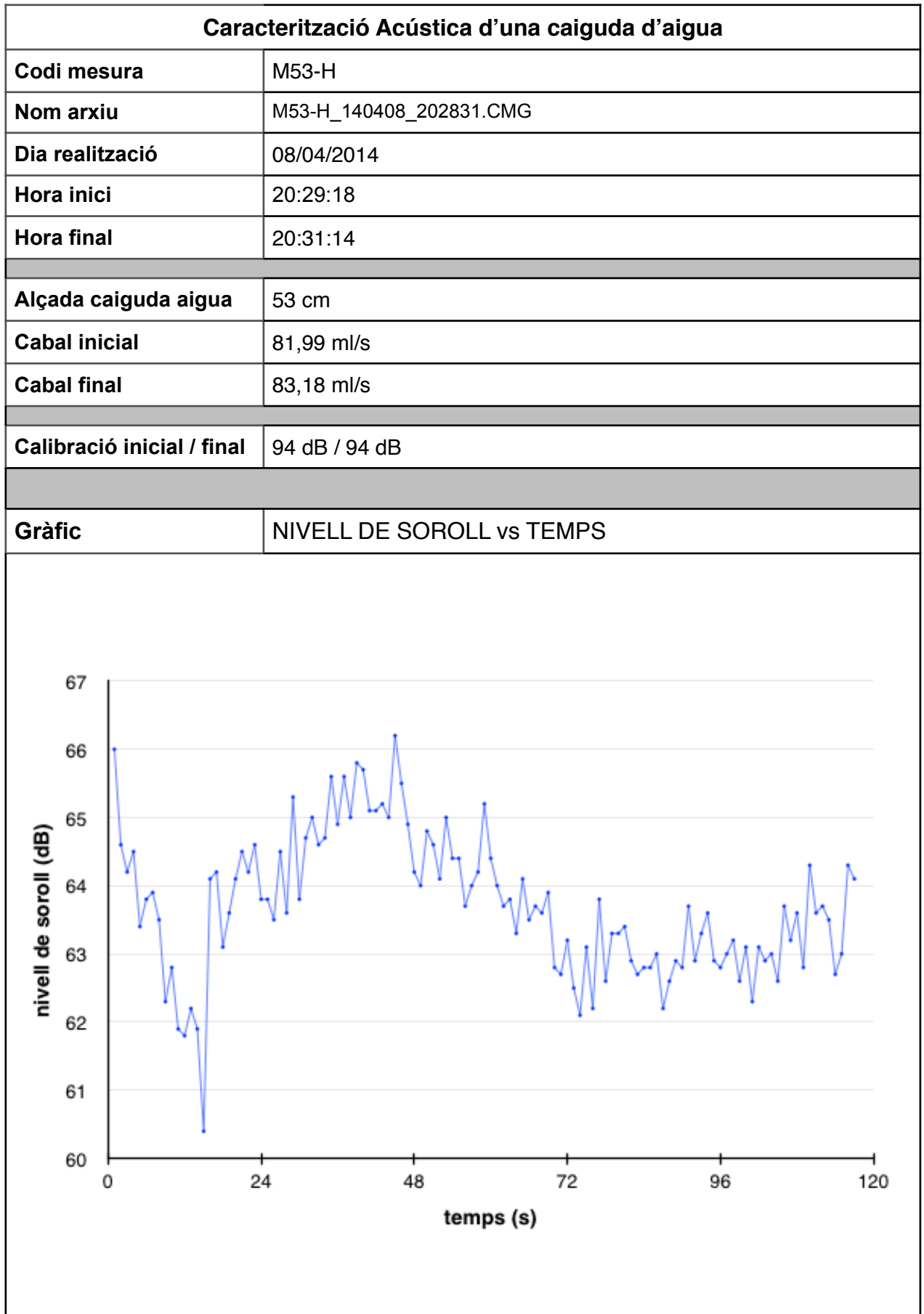










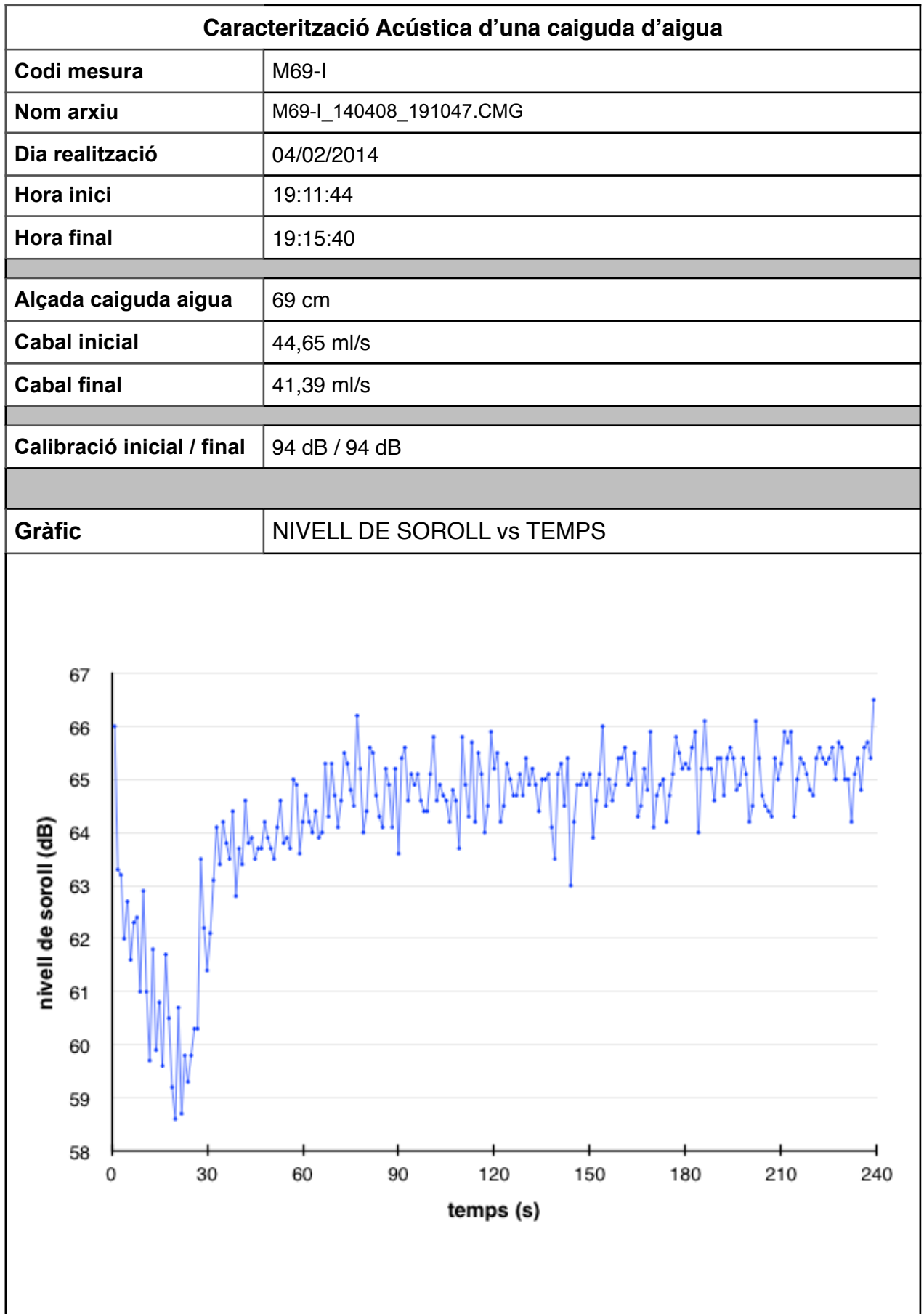


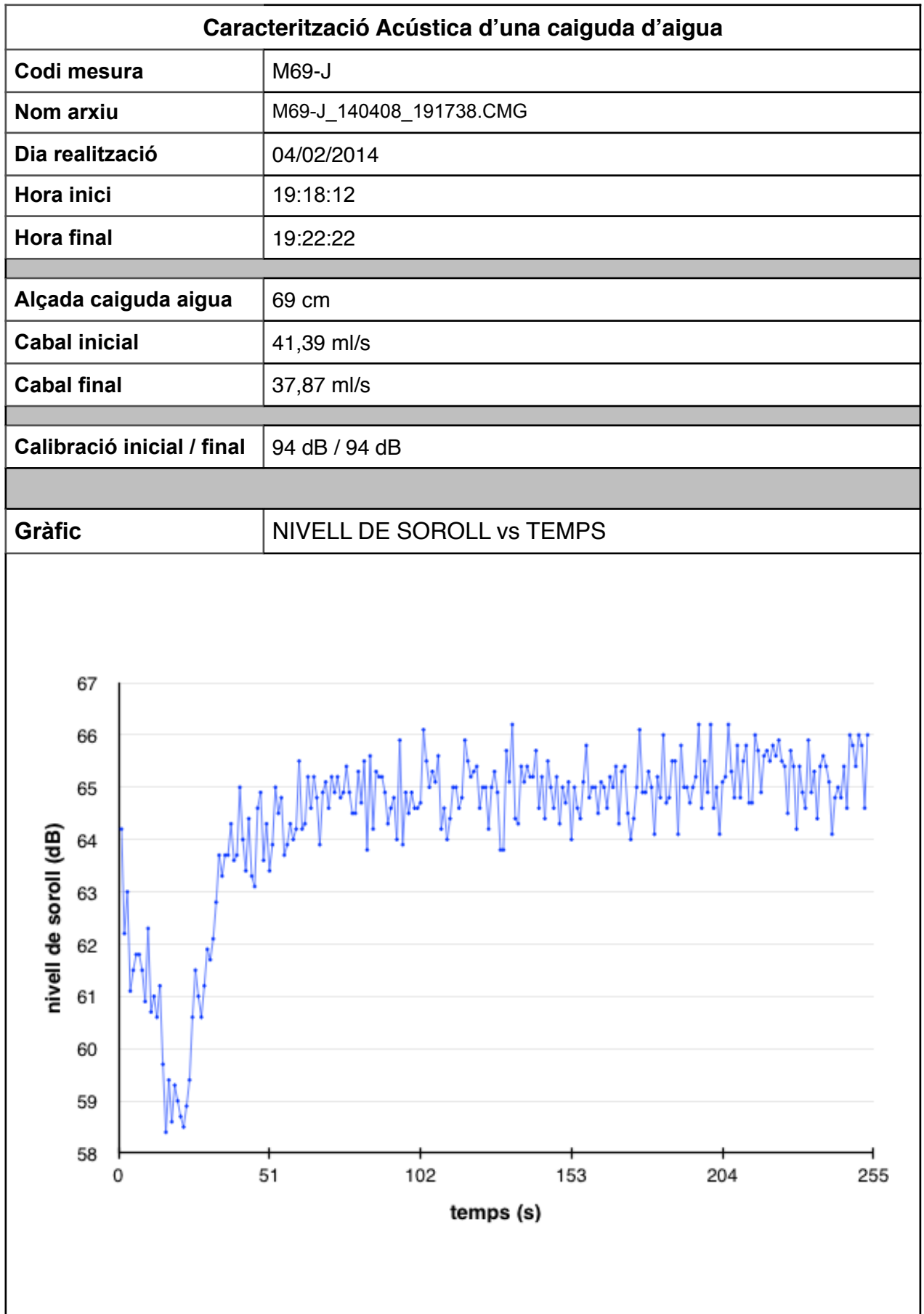
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua																															
Codi mesura	M69-A																														
Nom arxiu	M69-A_140402_194259.CMG																														
Dia realització	04/02/2014																														
Hora inici	19:44:17																														
Hora final	19:53:00																														
Alçada caiguda aigua 69 cm																															
Cabal inicial	20,17 ml/s																														
Cabal final	17,59 ml/s																														
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB																															
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS																														
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll en decibels (dB) al llarg del temps en segons (s). L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 54 a 67 dB, i l'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 525 s. La línia blava representa les dades, que mostren una caiguda inicial de soroll fins a 25s, seguida d'un augment i d'oscil·lacions al voltant d'un nivell mitjà de 63-64 dB.</p> <table border="1"> <caption>Dades aproximades del nivell de soroll vs temps</caption> <thead> <tr> <th>temps (s)</th> <th>nivell de soroll (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>59</td></tr> <tr><td>25</td><td>54</td></tr> <tr><td>50</td><td>61</td></tr> <tr><td>75</td><td>63</td></tr> <tr><td>100</td><td>63</td></tr> <tr><td>150</td><td>63</td></tr> <tr><td>200</td><td>63</td></tr> <tr><td>250</td><td>63</td></tr> <tr><td>300</td><td>63</td></tr> <tr><td>350</td><td>63</td></tr> <tr><td>400</td><td>63</td></tr> <tr><td>450</td><td>63</td></tr> <tr><td>500</td><td>63</td></tr> <tr><td>525</td><td>63</td></tr> </tbody> </table>		temps (s)	nivell de soroll (dB)	0	59	25	54	50	61	75	63	100	63	150	63	200	63	250	63	300	63	350	63	400	63	450	63	500	63	525	63
temps (s)	nivell de soroll (dB)																														
0	59																														
25	54																														
50	61																														
75	63																														
100	63																														
150	63																														
200	63																														
250	63																														
300	63																														
350	63																														
400	63																														
450	63																														
500	63																														
525	63																														

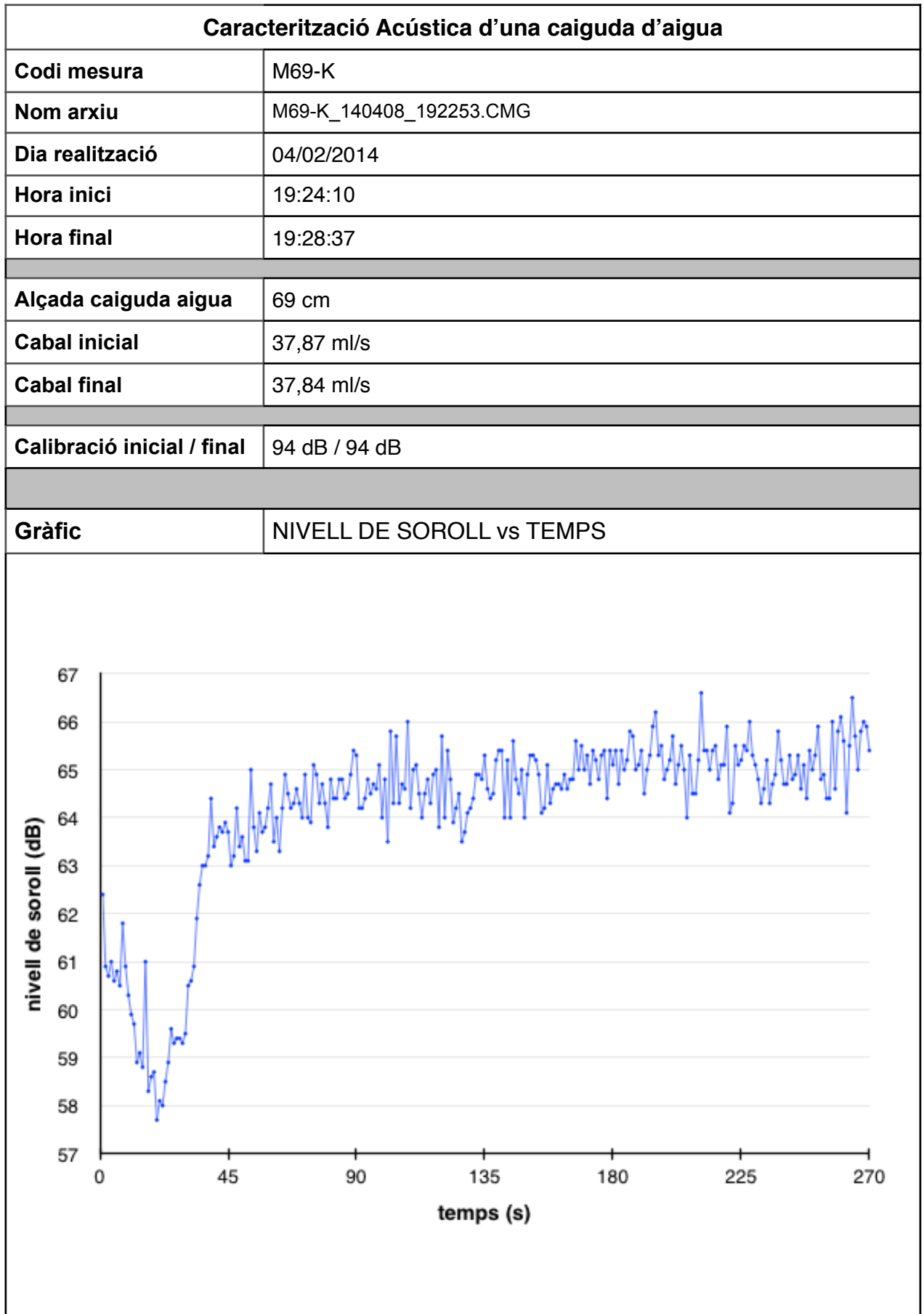
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M69-B
Nom arxiu	M69-B_140402_195735.CMG
Dia realització	04/02/2014
Hora inici	20:00:25
Hora final	20:07:35
Alçada caiguda aigua 69 cm	
Cabal inicial	17,61 ml/s
Cabal final	15,36 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 440 seconds. The vertical axis (nivell de soroll (dB)) is marked from 52 to 68 in increments of 1. The horizontal axis (temps (s)) is marked at 0, 88, 176, 264, 352, and 440. The data shows a significant initial drop in noise level, reaching a minimum around 40 seconds, followed by a rapid increase and a period of high-frequency, high-amplitude oscillations between 60 and 440 seconds.</p>	

Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M69-C
Nom arxiu	M69-C_140402_201207.CMG
Dia realització	04/02/2014
Hora inici	20:13:24
Hora final	20:22:06
Alçada caiguda aigua 69 cm	
Cabal inicial	14,88 ml/s
Cabal final	14,21 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll en decibels (dB) al llarg del temps en segons (s). L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 52 a 66 dB, i l'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 525 s. La línia de dades és molt irregular, reflectint la naturalesa estocàstica del soroll. Inicialment, el nivell fluctua entre 54 i 58 dB. A partir dels 30 segons, el nivell baixa significativament, arribant a un mínim de 53 dB. Després, el nivell augmenta i es manté principalment entre 61 i 65 dB, amb algunes puntes que arriben a 66 dB.</p>	

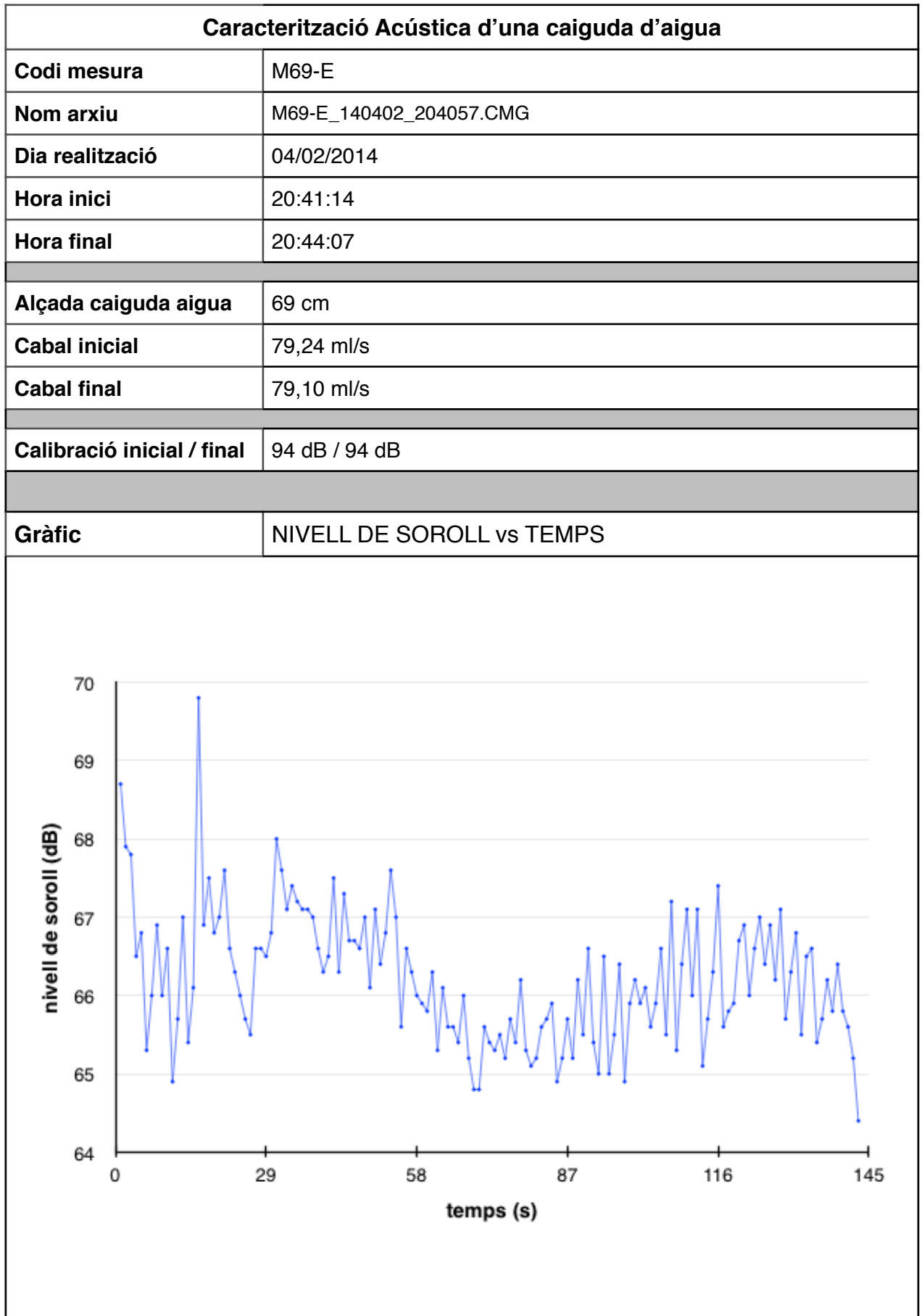
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M69-D
Nom arxiu	M69-D_140402_202544.CMG
Dia realització	04/02/2014
Hora inici	20:27:31
Hora final	20:35:45
Alçada caiguda aigua 69 cm	
Cabal inicial	14,18 ml/s
Cabal final	13,54 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>El gràfic mostra el nivell de soroll (dB) en funció del temps (s). L'eix vertical (nivell de soroll) varia de 52 a 66 dB. L'eix horitzontal (temps) varia de 0 a 500 s. La línia de dades és blava i mostra una tendència general d'augment del nivell de soroll al llarg del temps, amb grans oscil·lacions. El nivell de soroll comença a 0 s amb un valor d'aproximadament 58 dB, baixa a un mínim d'aproximadament 53 dB a 50 s, i després augmenta i es manté entre 60 i 65 dB fins a 500 s.</p>	

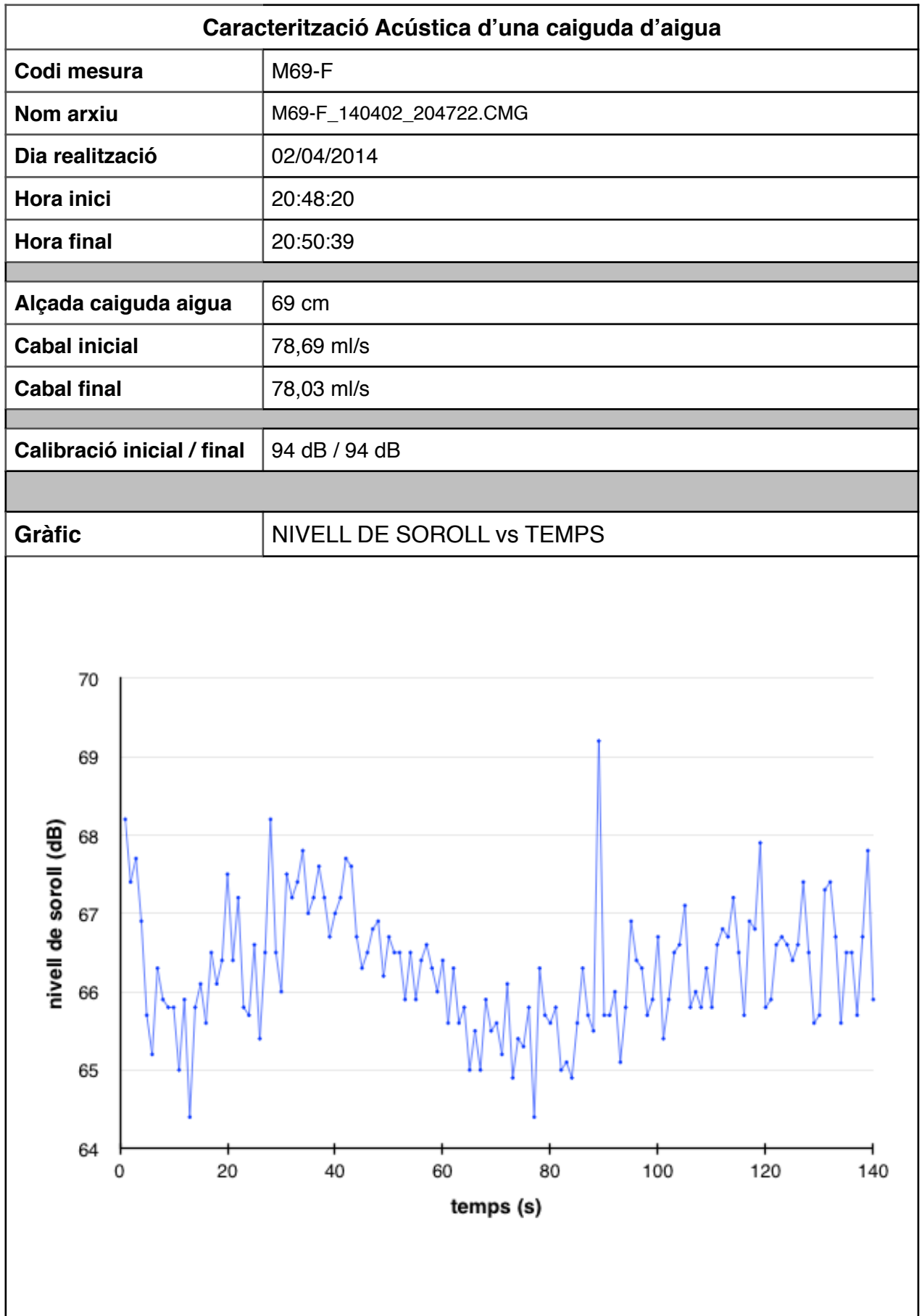


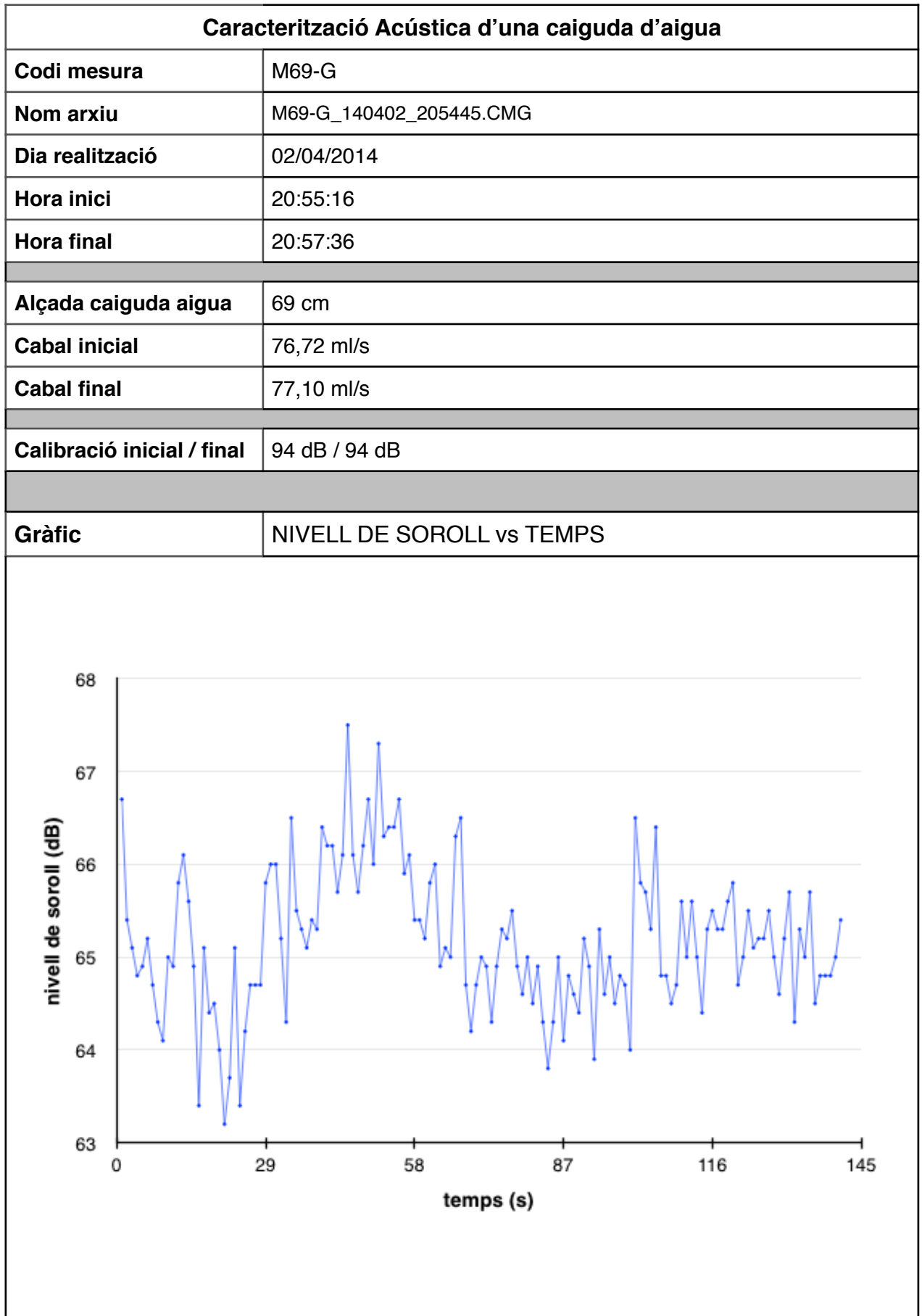




Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M69-L
Nom arxiu	M69-L_140408_192855.CMG
Dia realització	04/02/2014
Hora inici	19:30:24
Hora final	19:34:46
Alçada caiguda aigua 69 cm	
Cabal inicial	37,84 ml/s
Cabal final	36,02 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a period of 270 seconds. The vertical axis (nivell de soroll (dB)) is marked from 57 to 67 in increments of 1. The horizontal axis (temps (s)) is marked from 0 to 270 in increments of 45. The data shows a sharp initial drop from ~64.5 dB to ~57.5 dB within the first 25 seconds, followed by a recovery and a period of high-frequency oscillations between 63.5 dB and 67 dB.</p>	

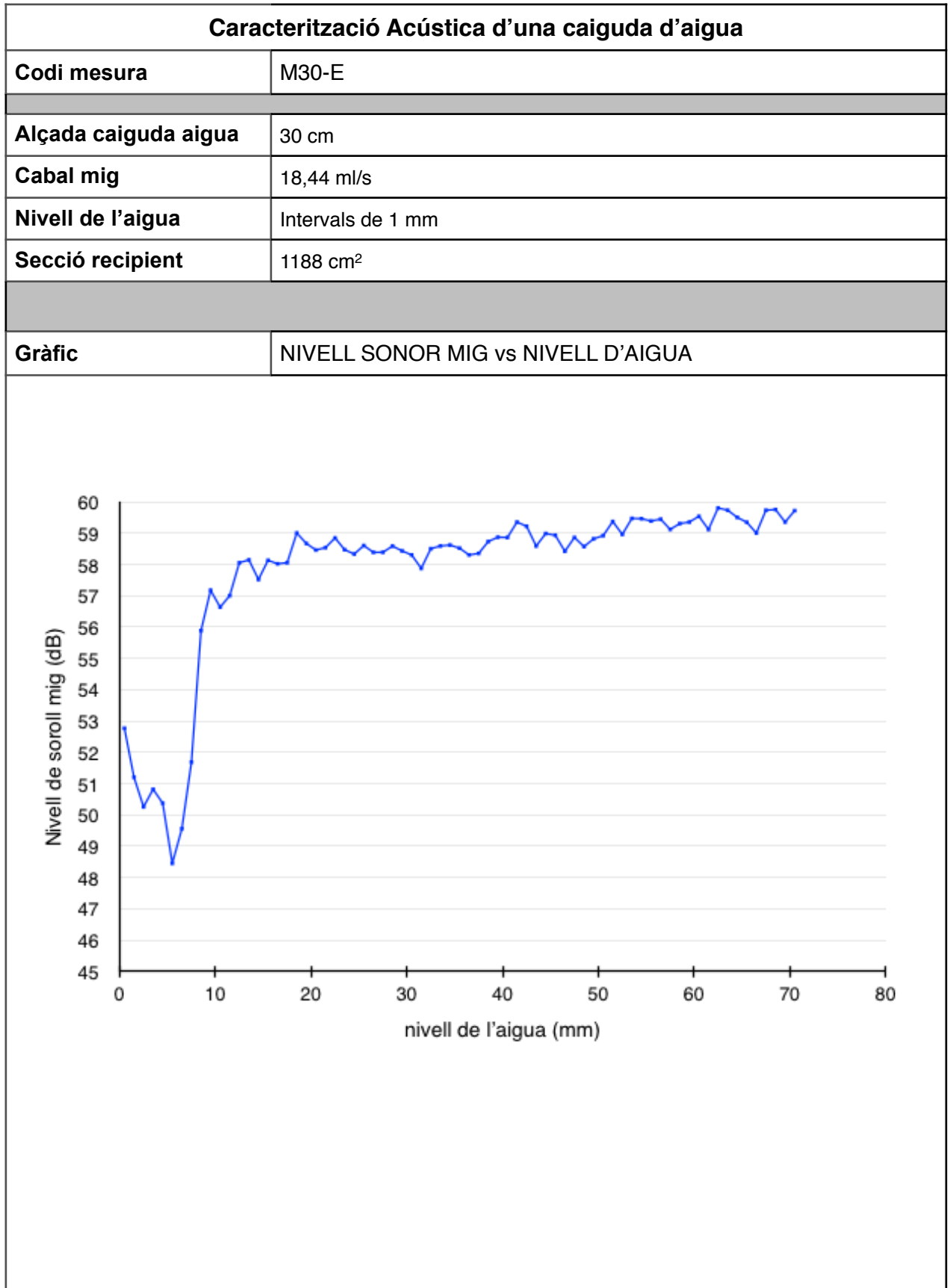






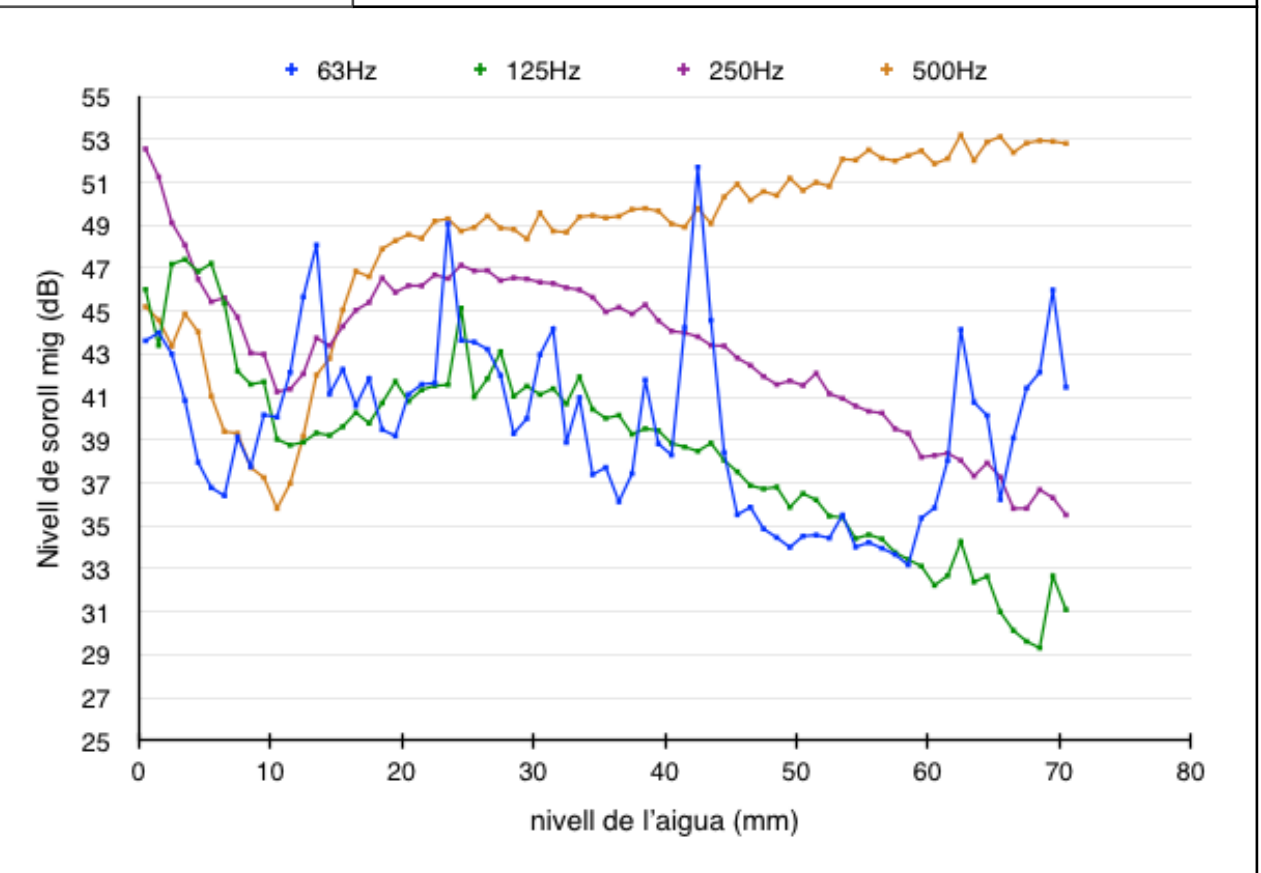
Caracterització Acústica d'una caiguda d'aigua	
Codi mesura	M69-H
Nom arxiu	M69-H_140402_205642.CMG
Dia realització	02/04/2014
Hora inici	20:58:18
Hora final	21:00:35
Alçada caiguda aigua 69 cm	
Cabal inicial	77,10 ml/s
Cabal final	78,97 ml/s
Calibració inicial / final 94 dB / 94 dB	
Gràfic	NIVELL DE SOROLL vs TEMPS
<p>The graph displays the noise level in decibels (dB) over a 140-second interval. The vertical axis (y-axis) is labeled 'nivell de soroll (dB)' and ranges from 63 to 68 with major grid lines every 1 dB. The horizontal axis (x-axis) is labeled 'temps (s)' and ranges from 0 to 140 with major grid lines every 20 seconds. The data is represented by a blue line with small circular markers at each data point. The noise level starts at approximately 67.2 dB at 0 seconds, drops to a minimum of about 63.5 dB around 25 seconds, and then fluctuates between 64 dB and 67.8 dB for the remainder of the measurement. There are several peaks above 66 dB, with the highest peak reaching nearly 68 dB at approximately 45 seconds.</p>	

B. DADES TRACTADES



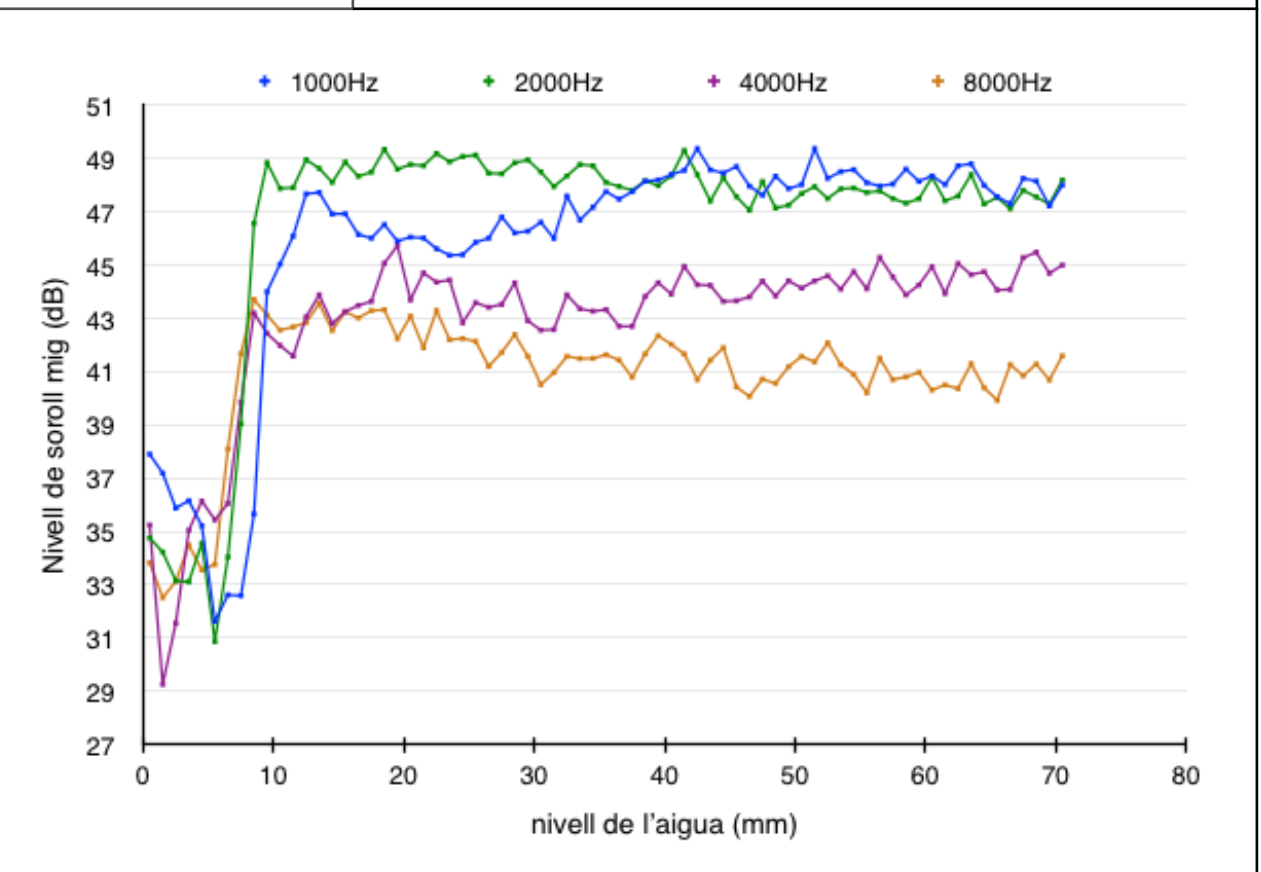
Gràfic

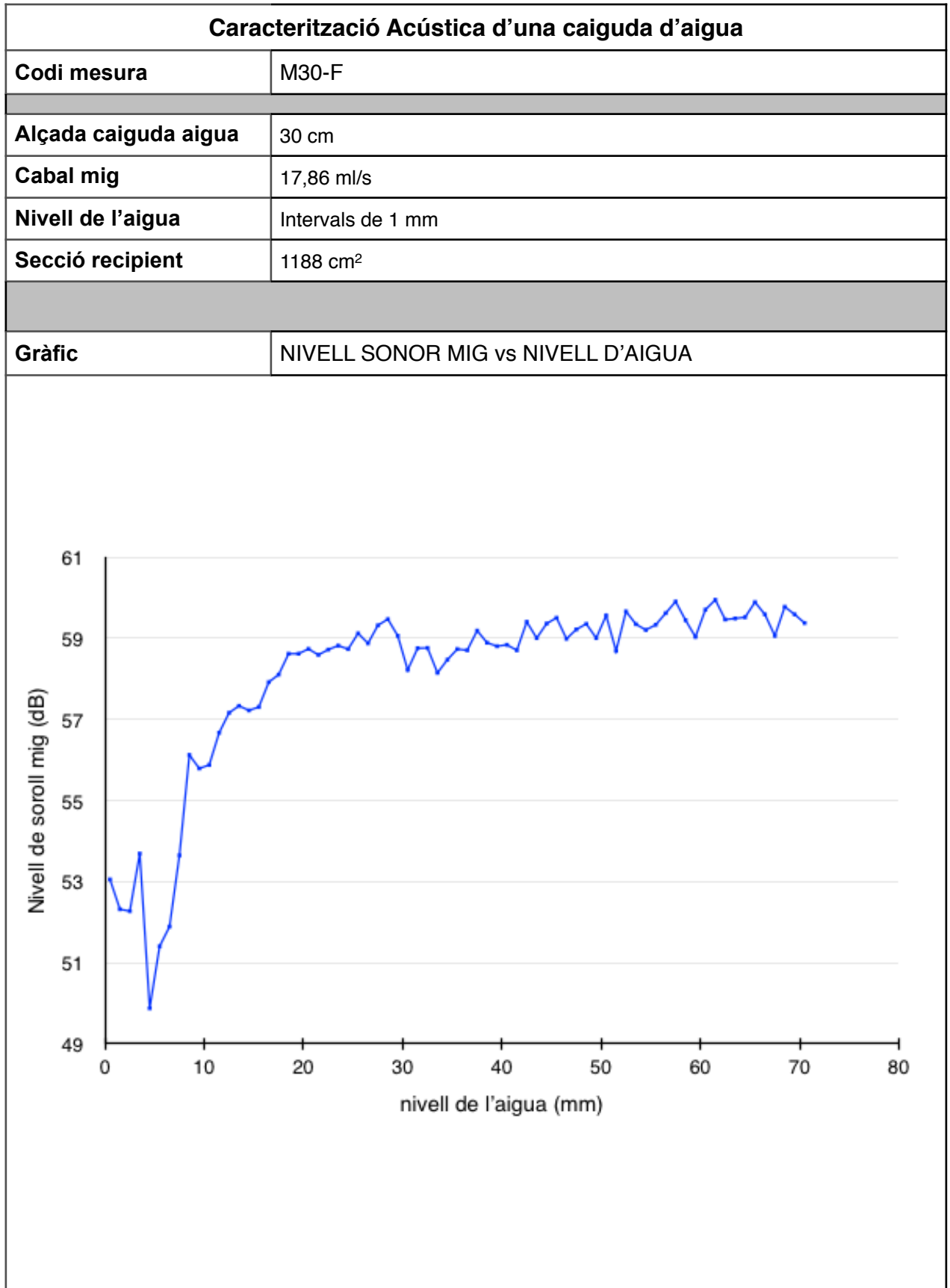
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

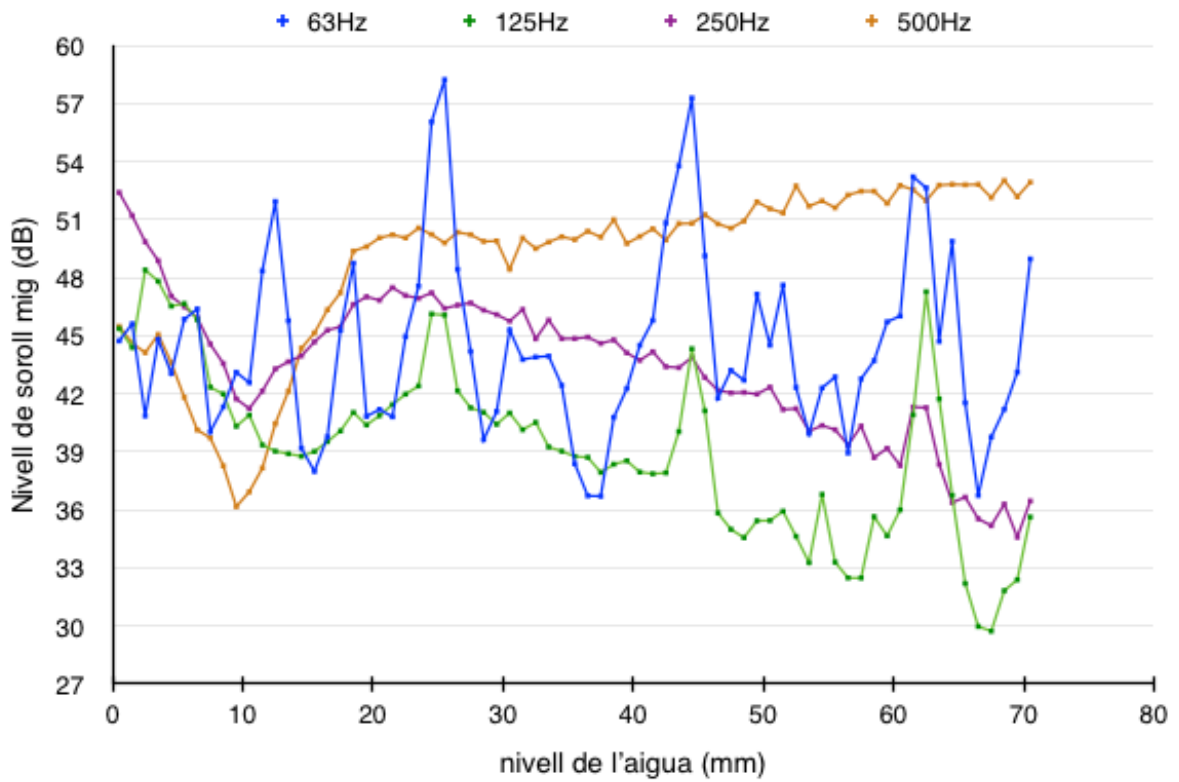
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





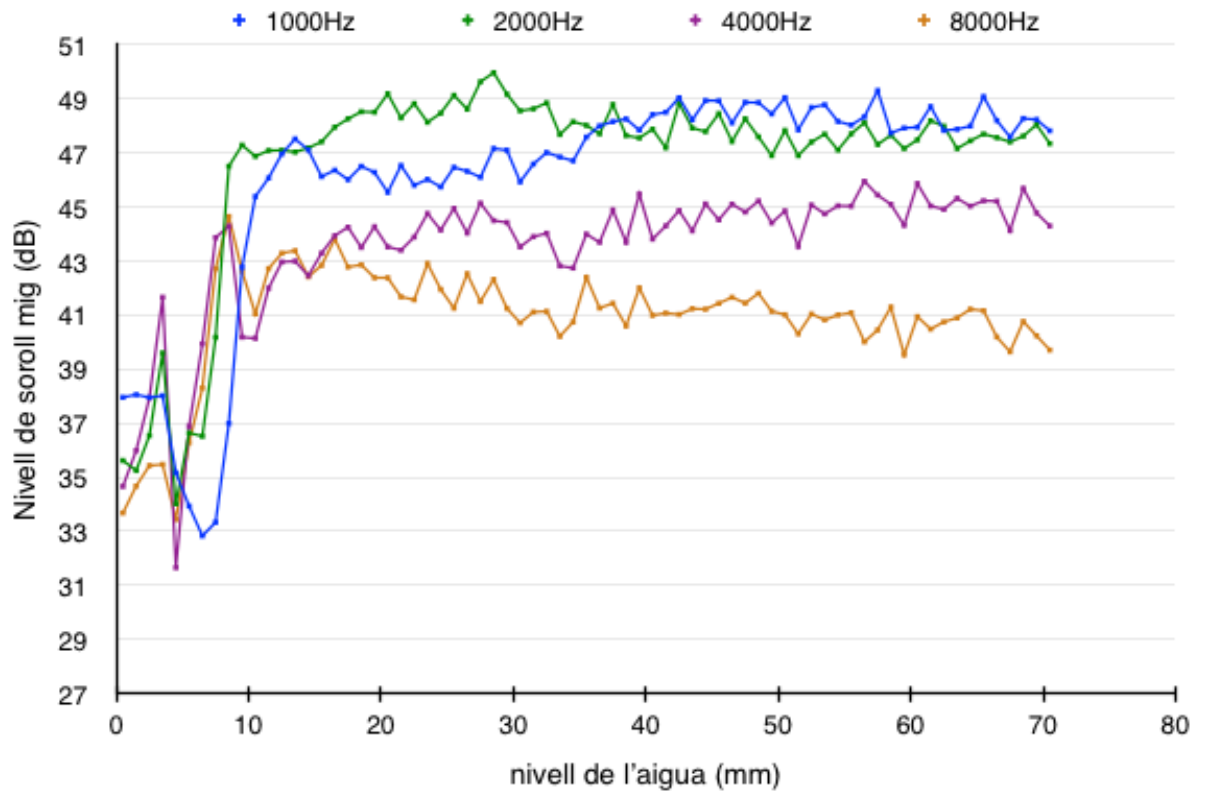
Gràfic

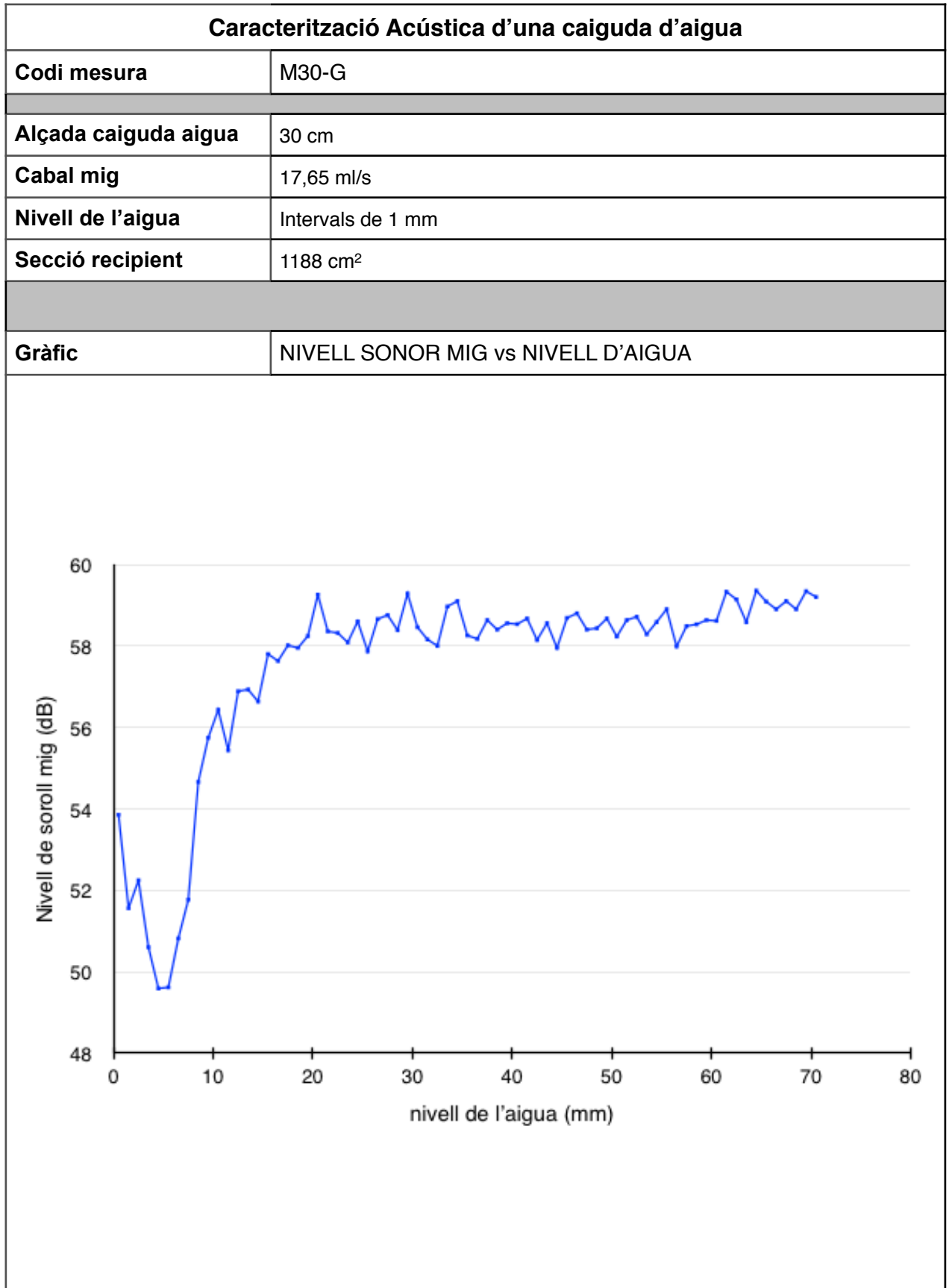
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

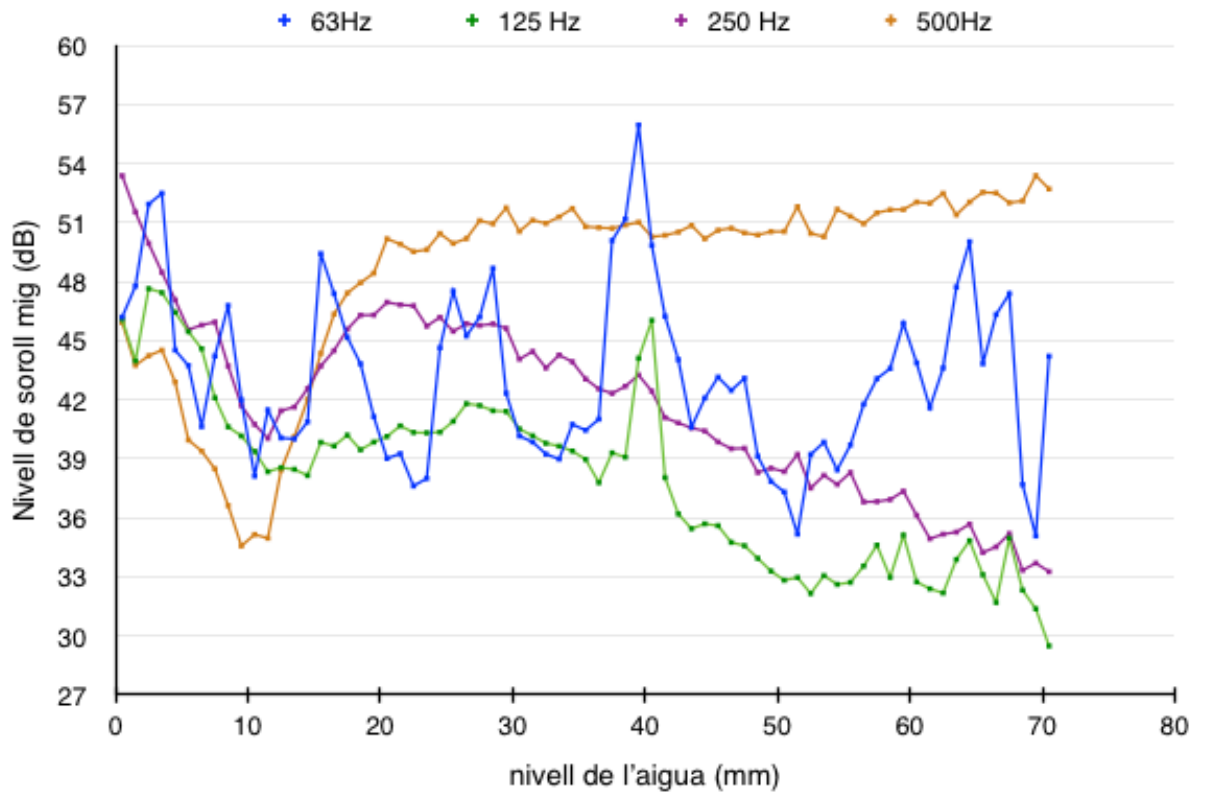
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





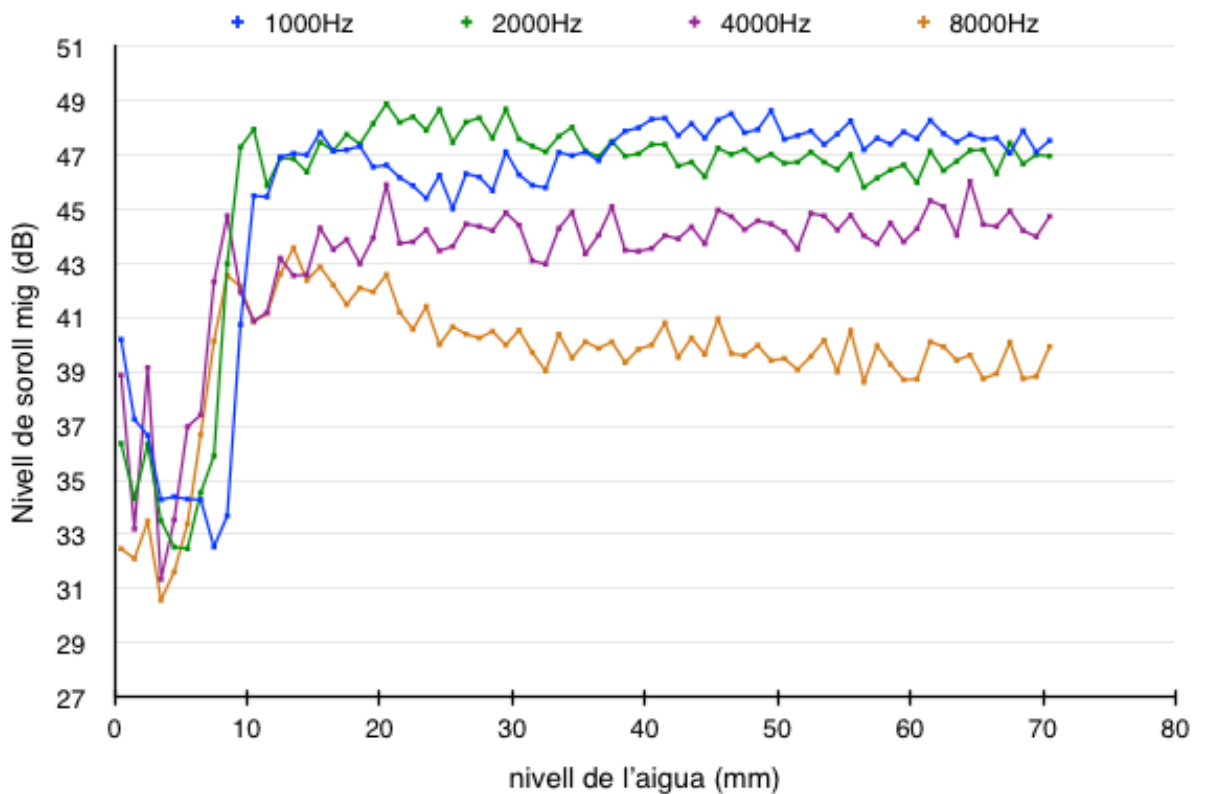
Gràfic

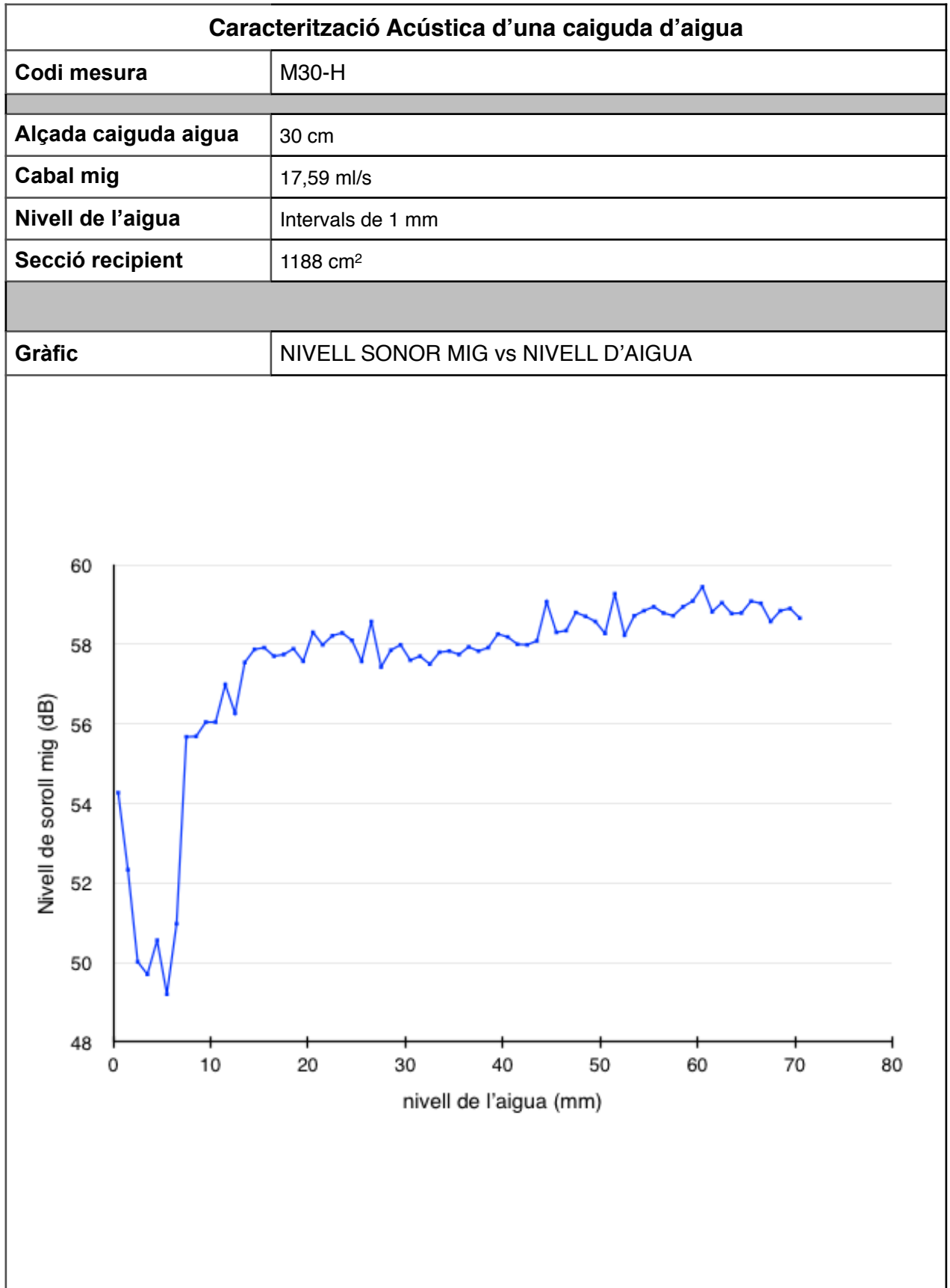
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

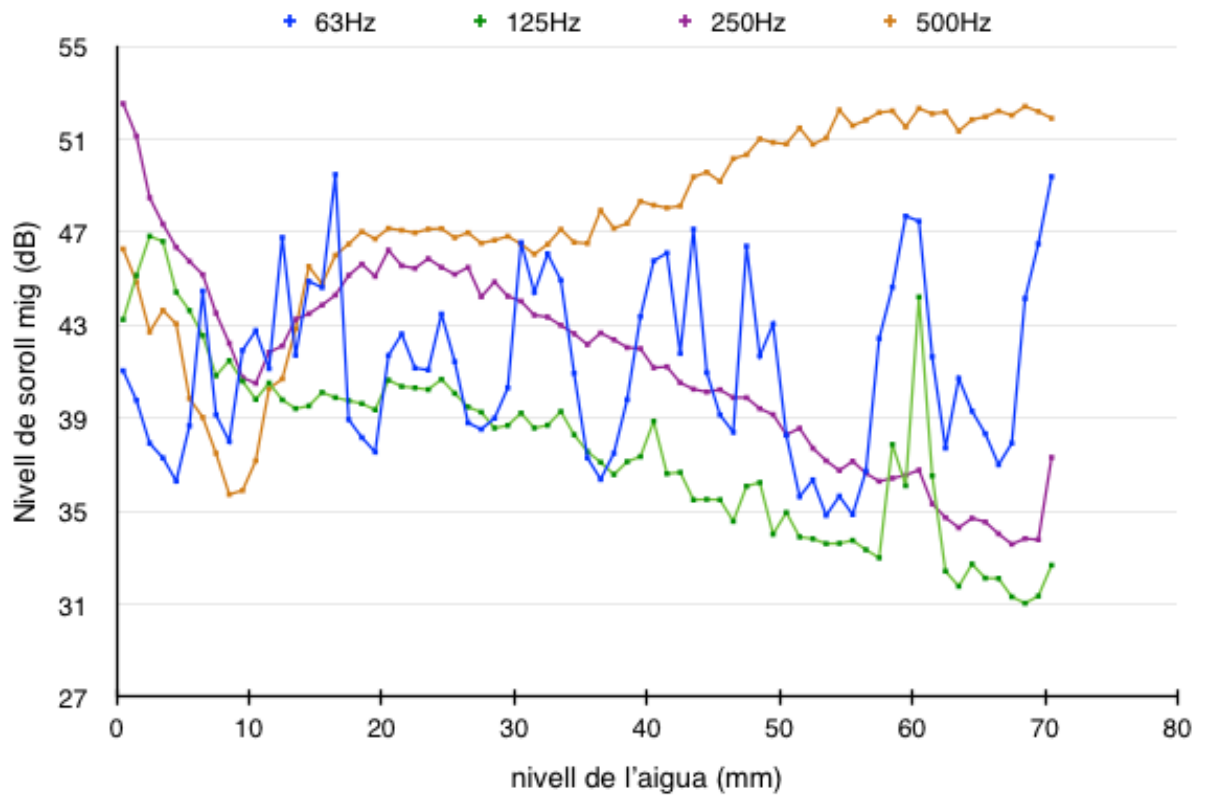
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





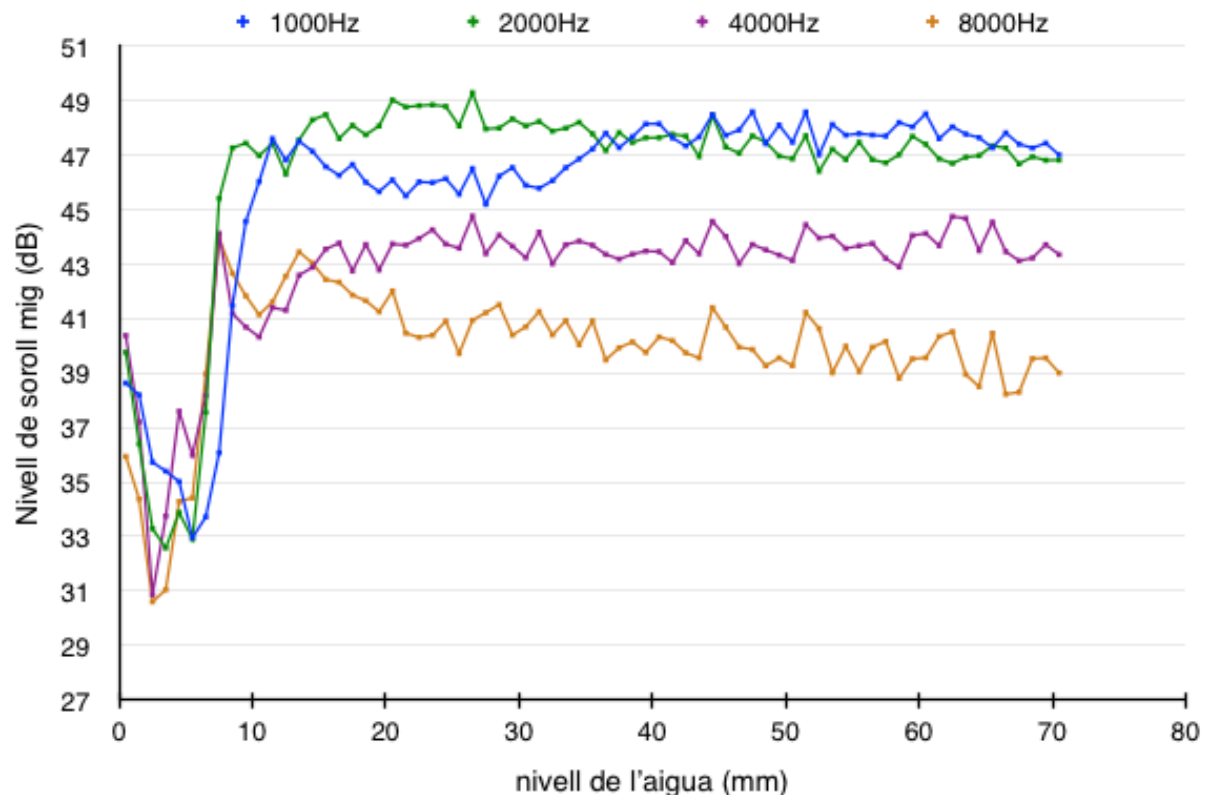
Gràfic

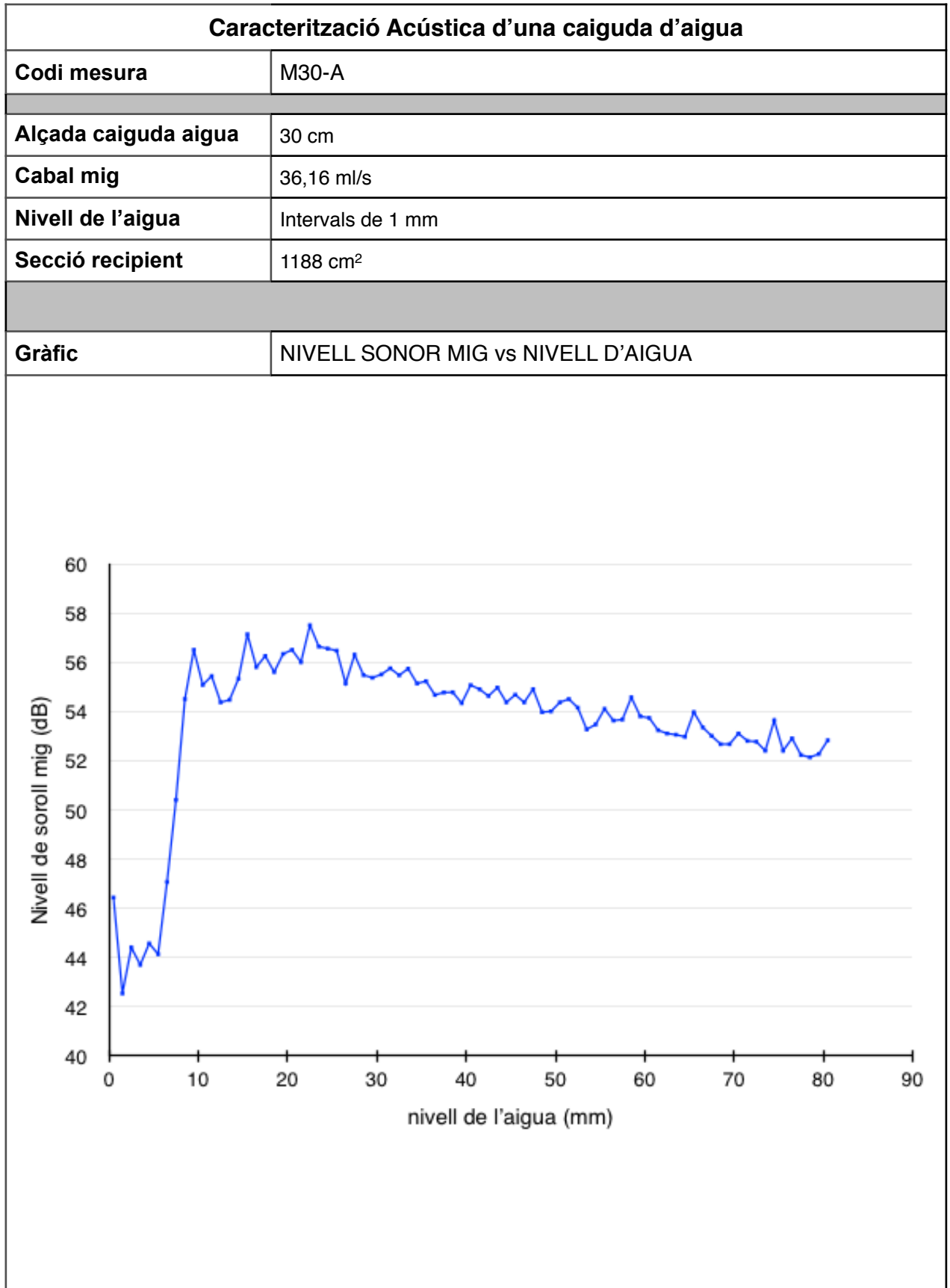
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

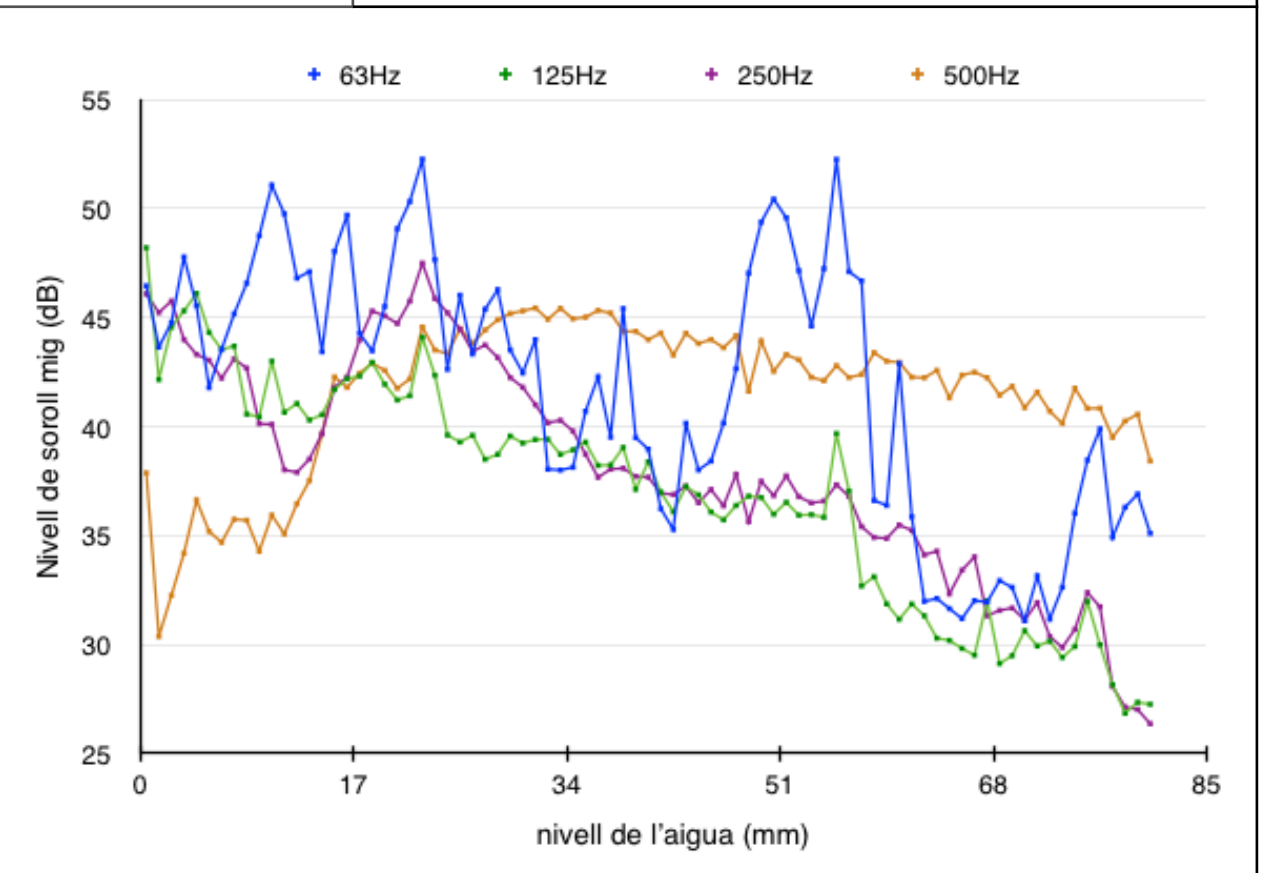
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





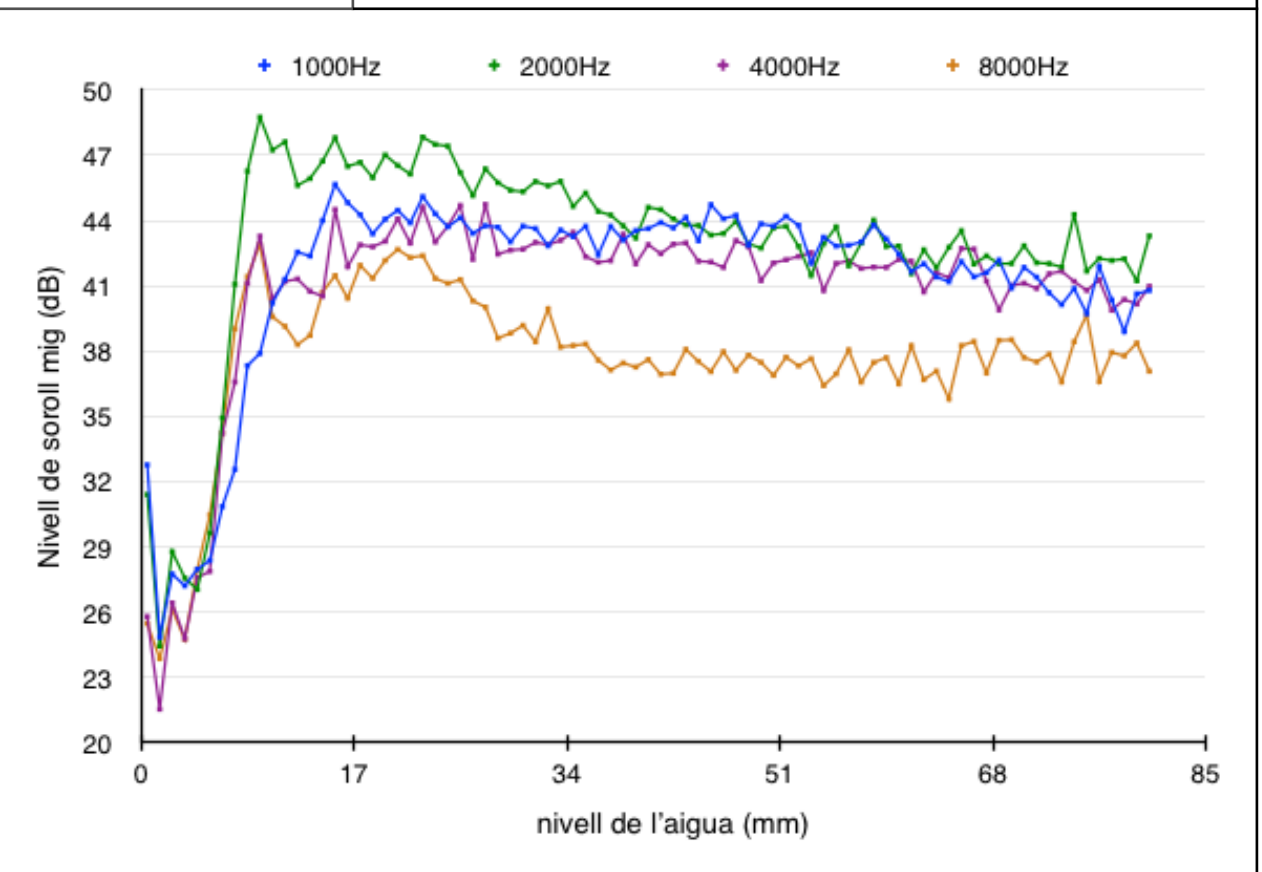
Gràfic

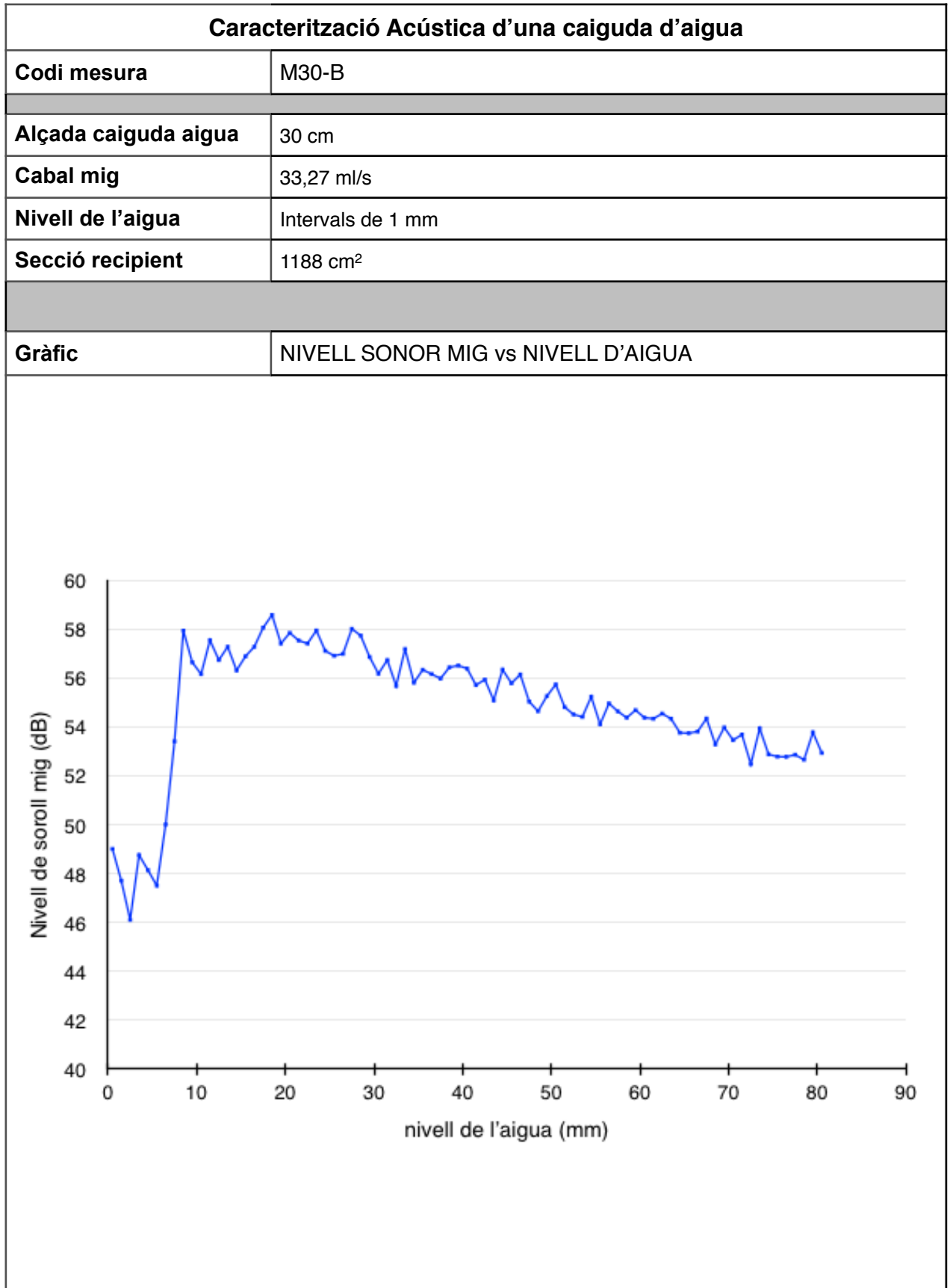
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

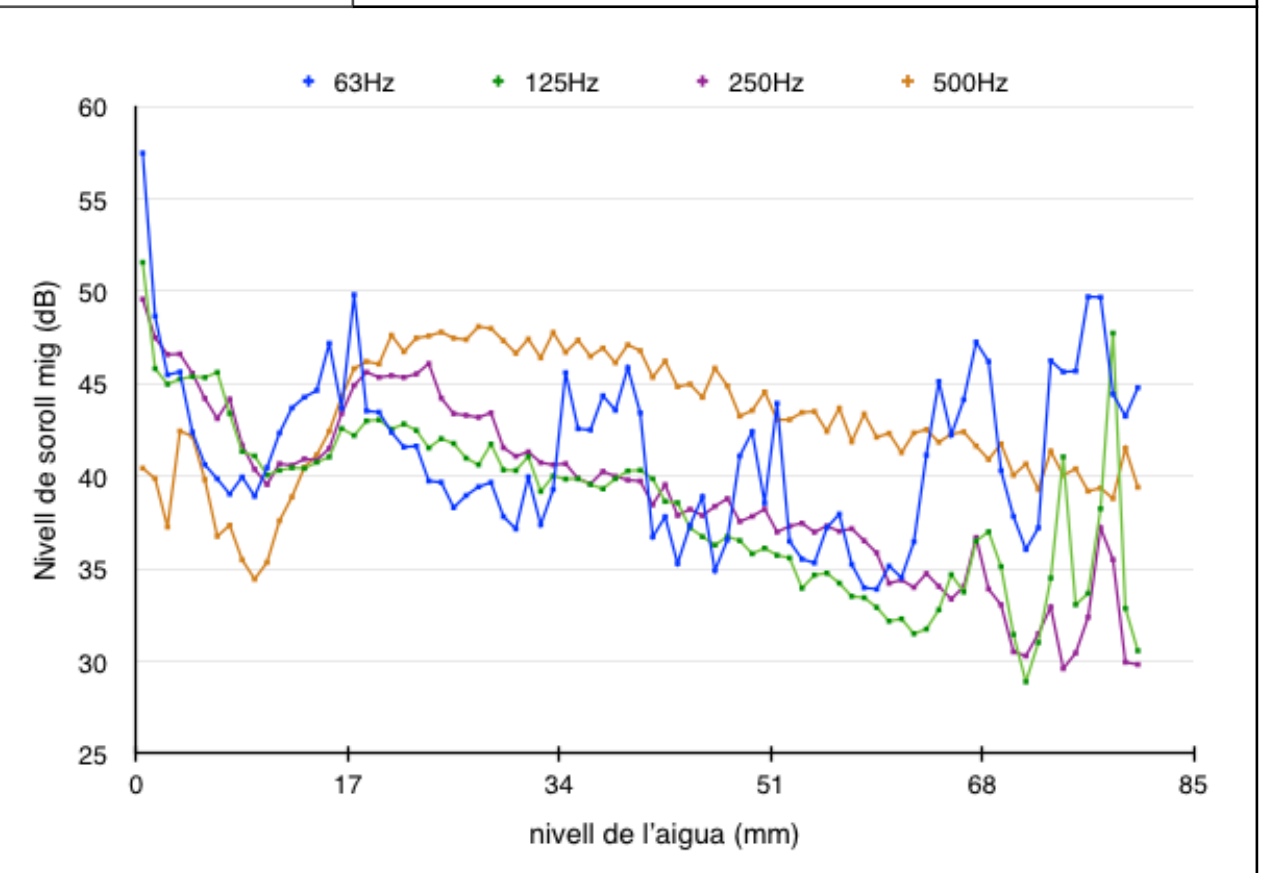
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





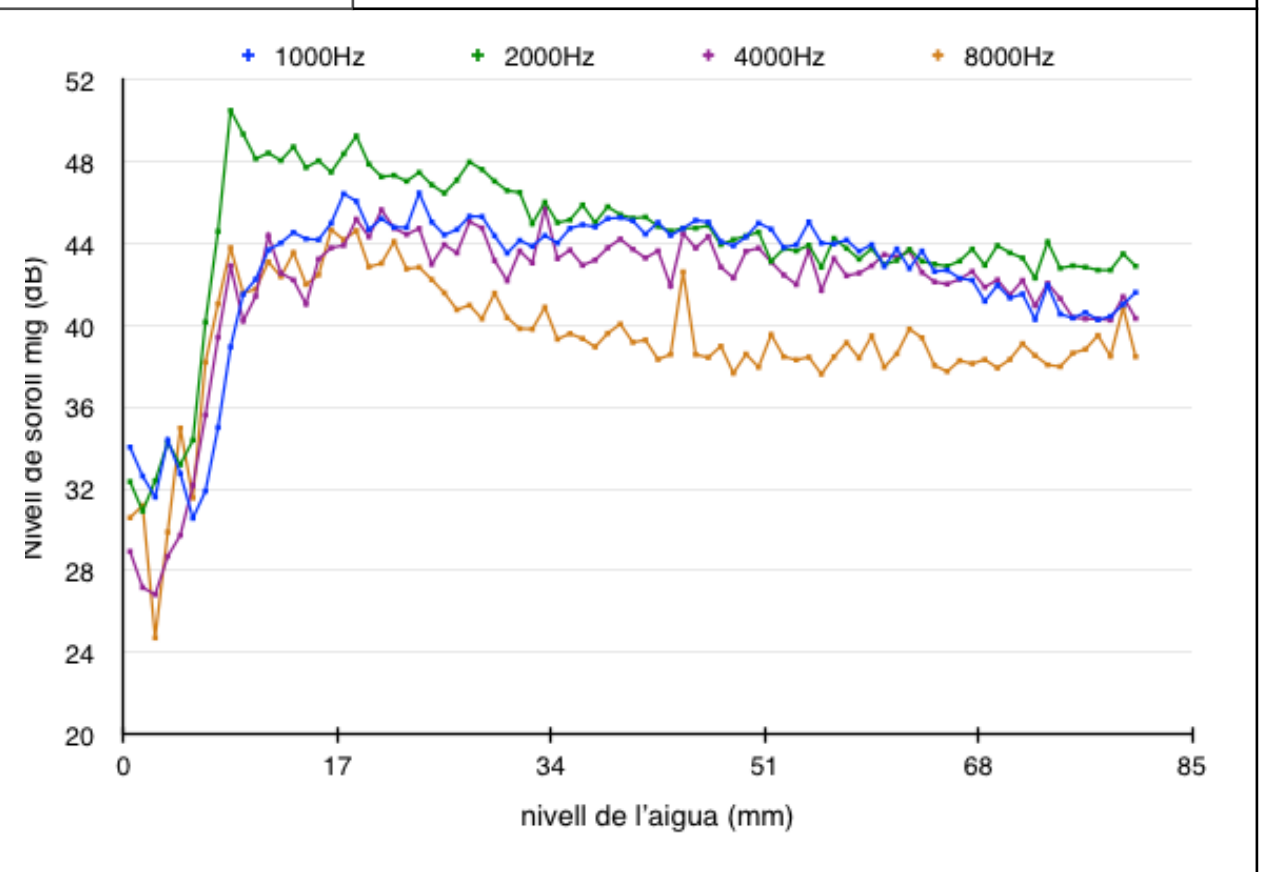
Gràfic

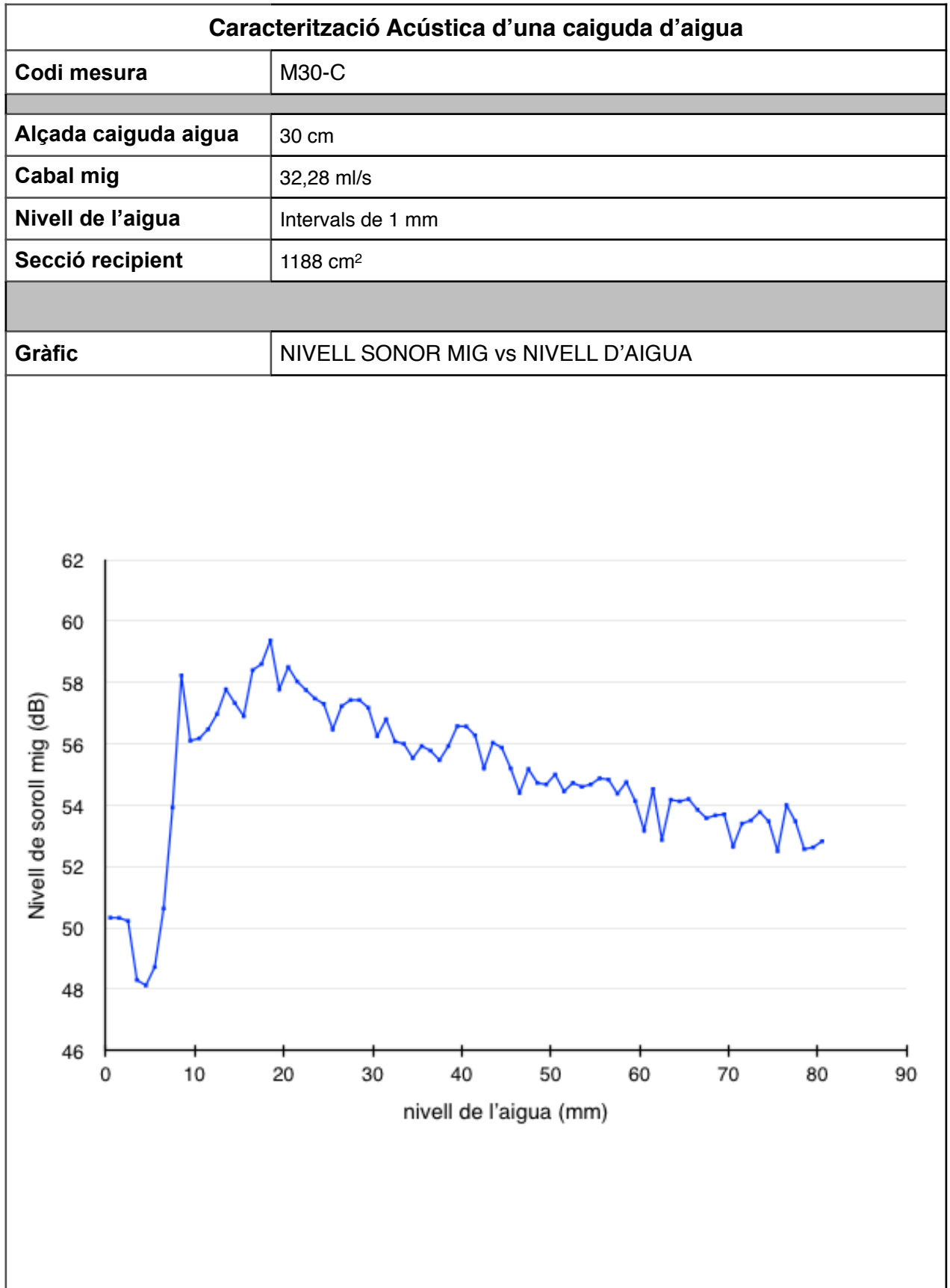
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

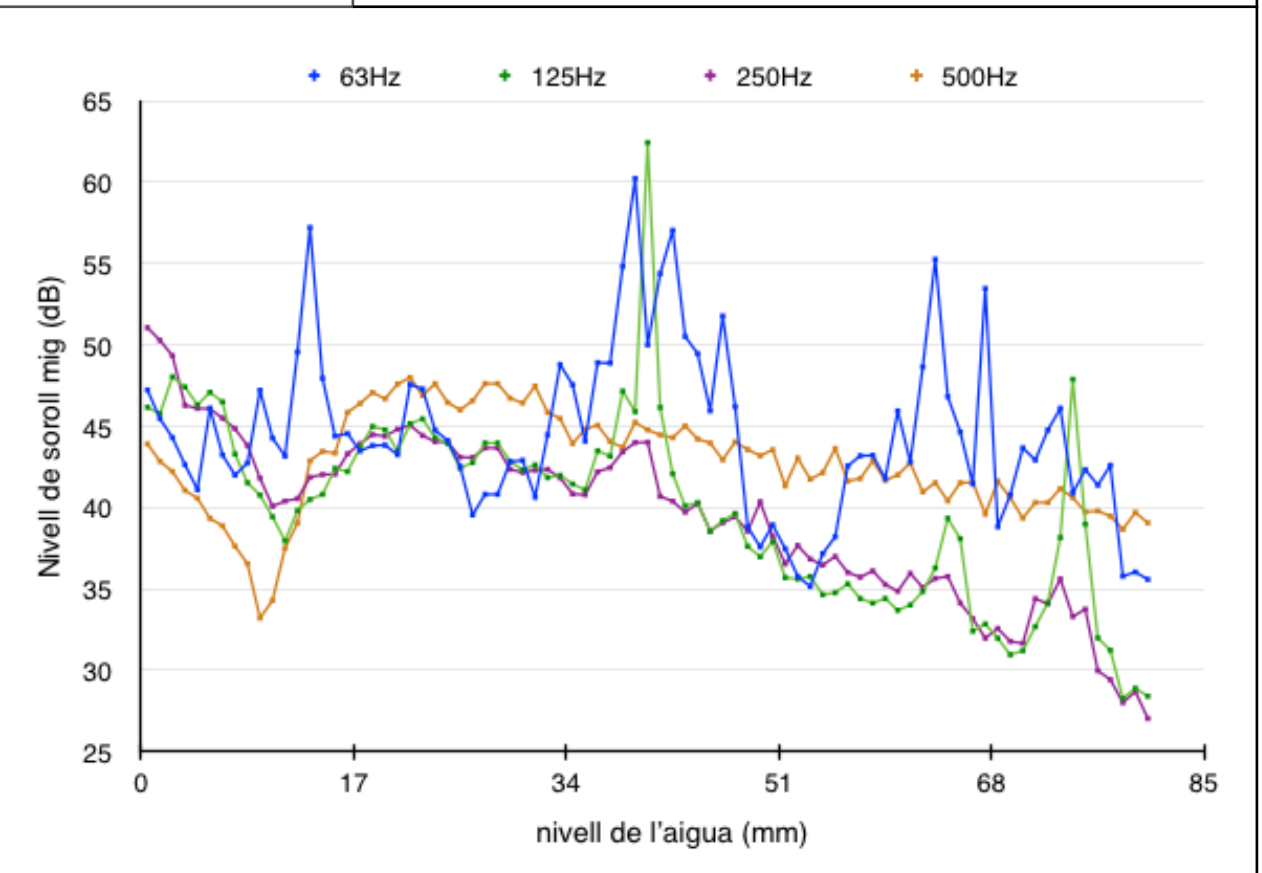
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





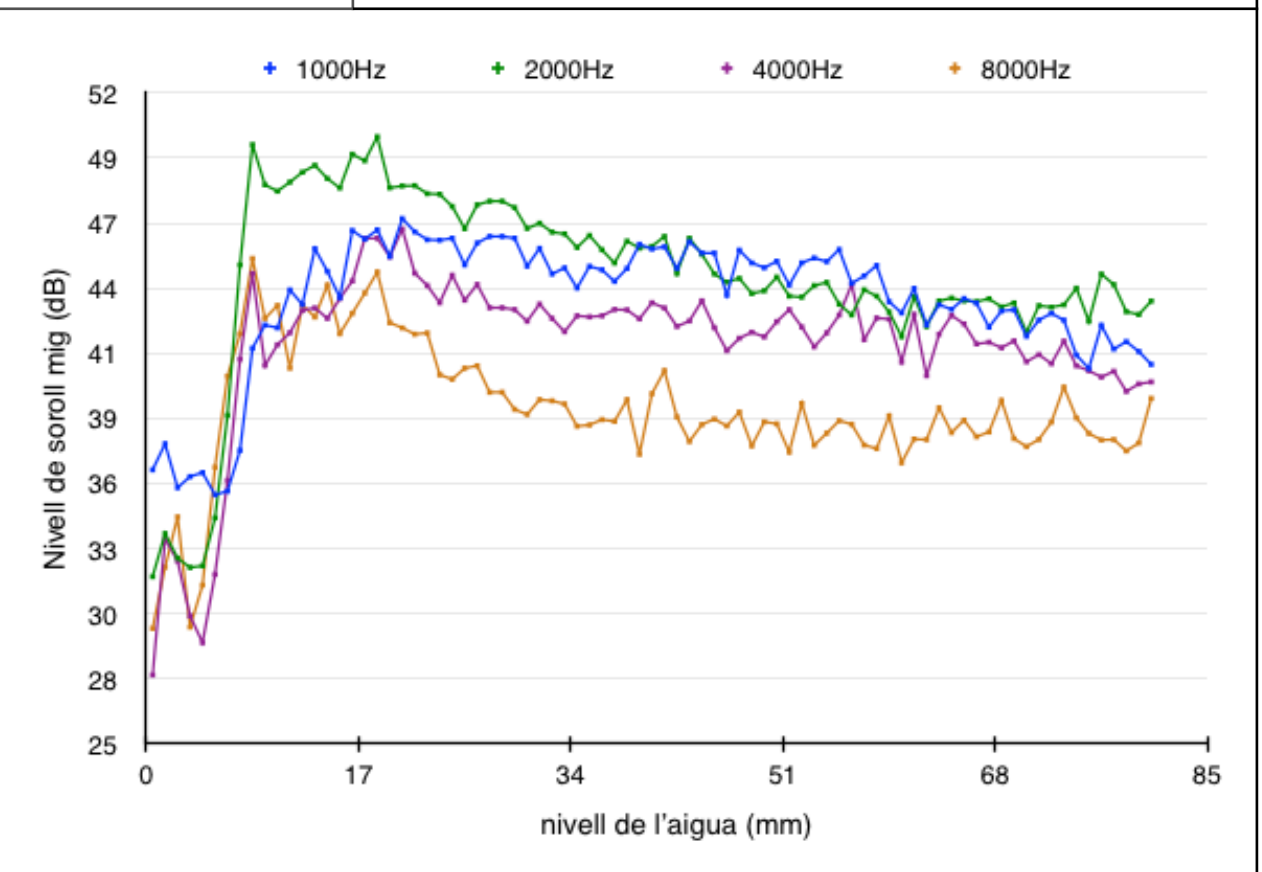
Gràfic

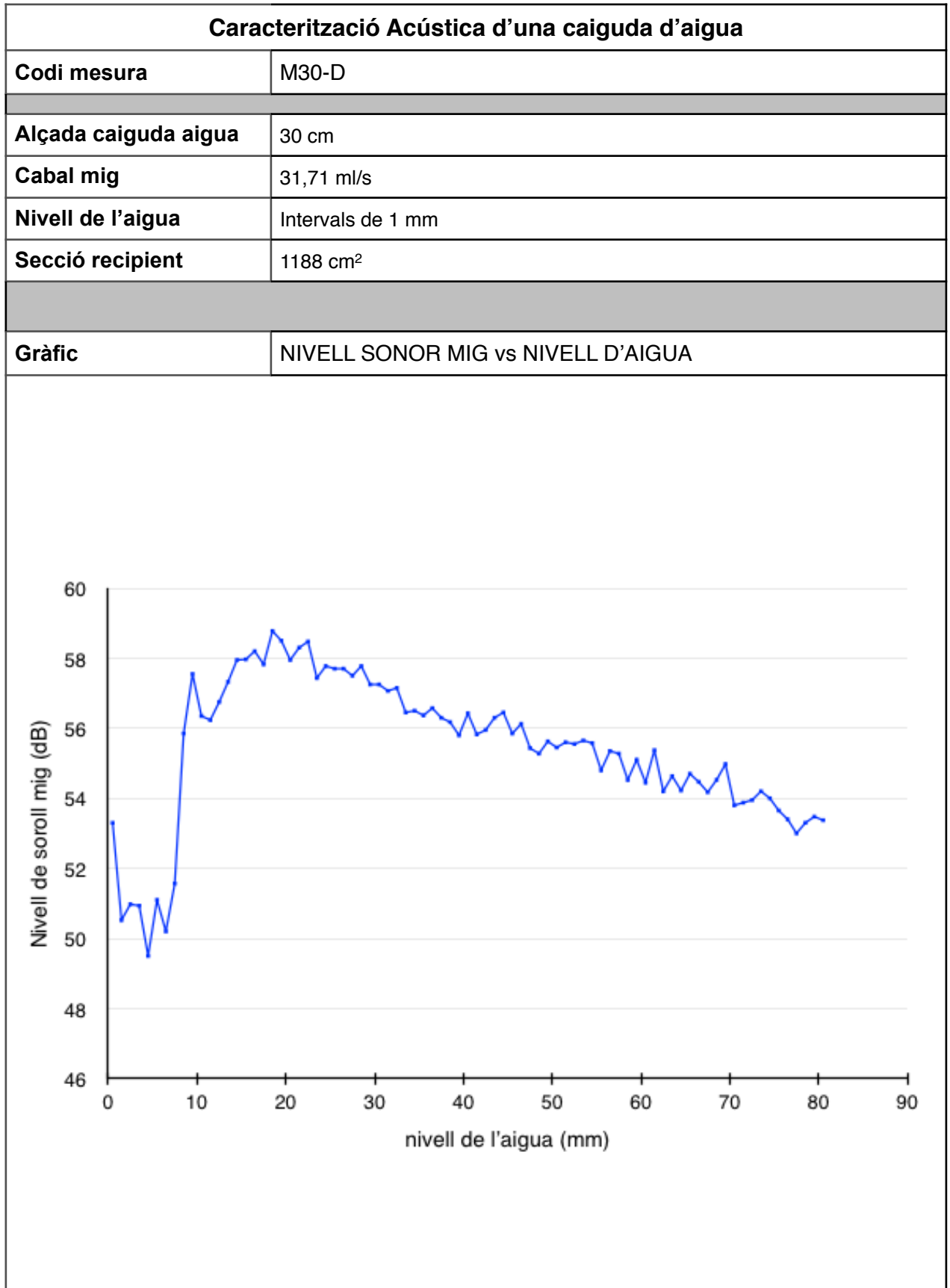
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

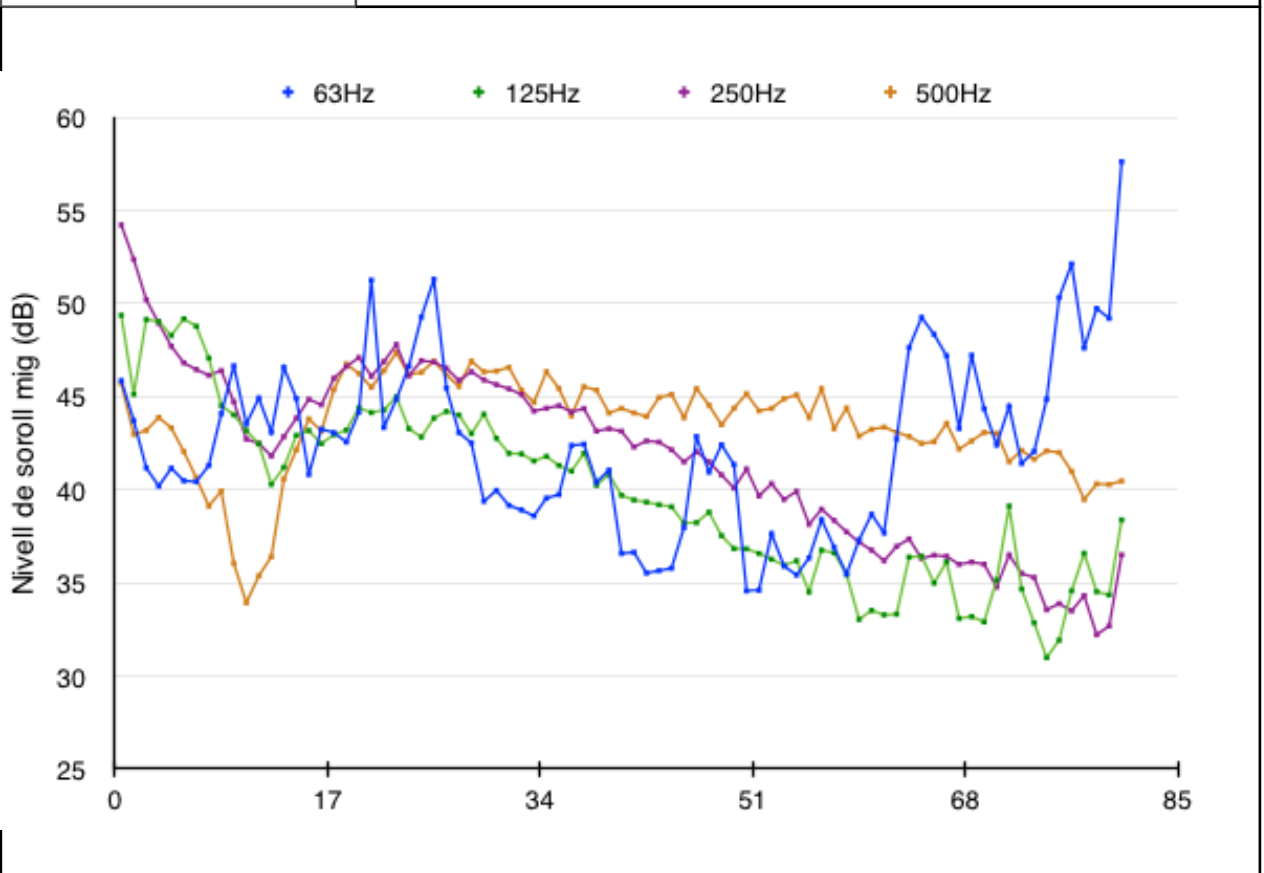
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





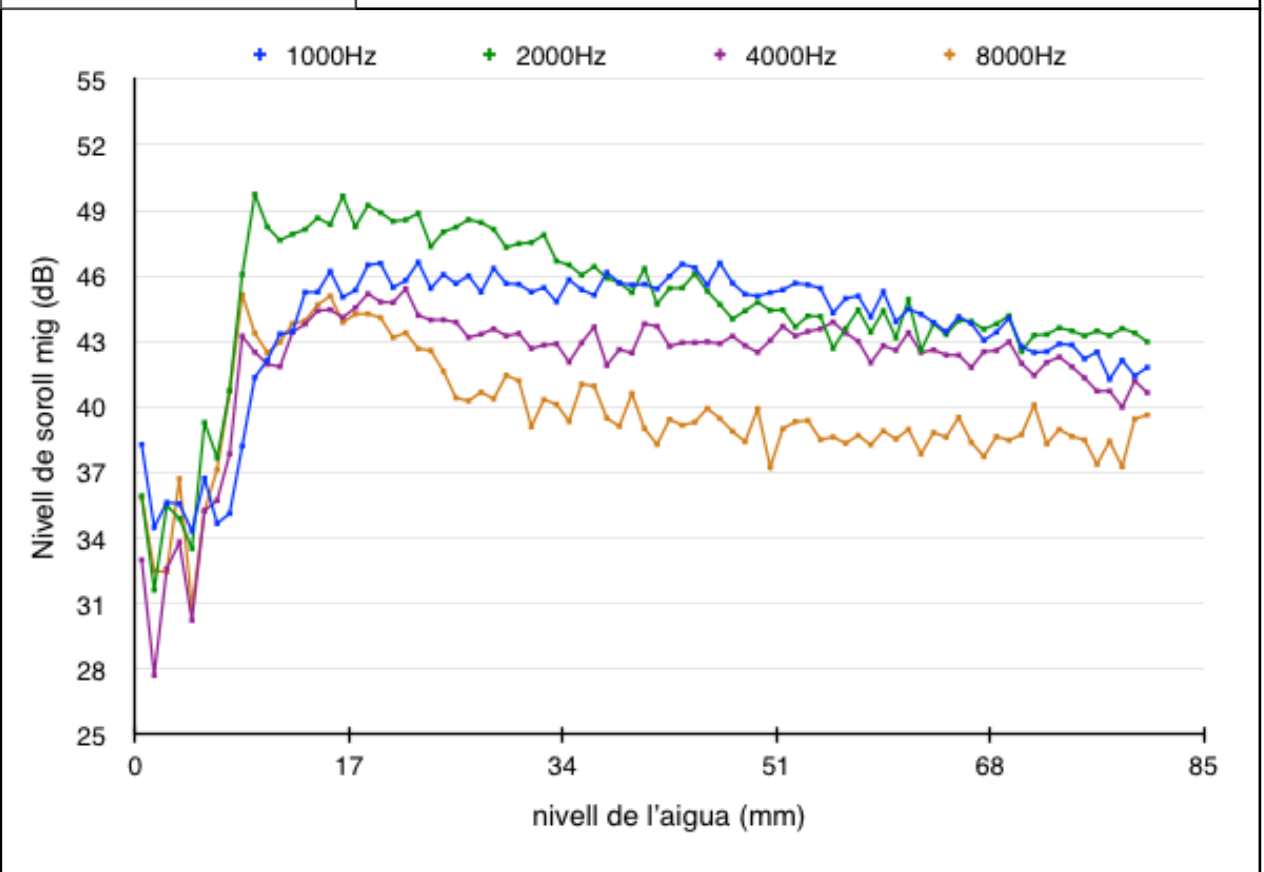
Gràfic

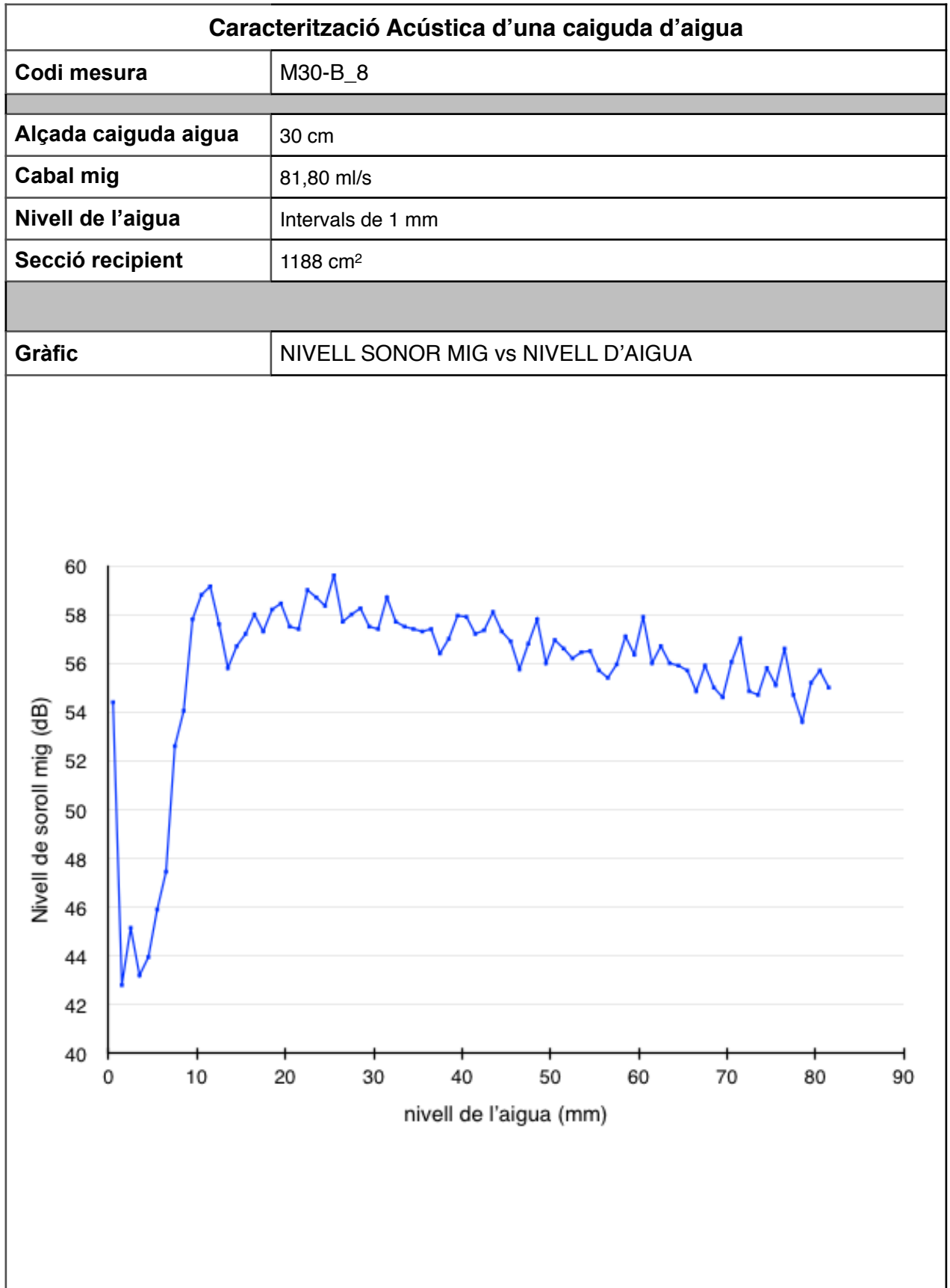
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

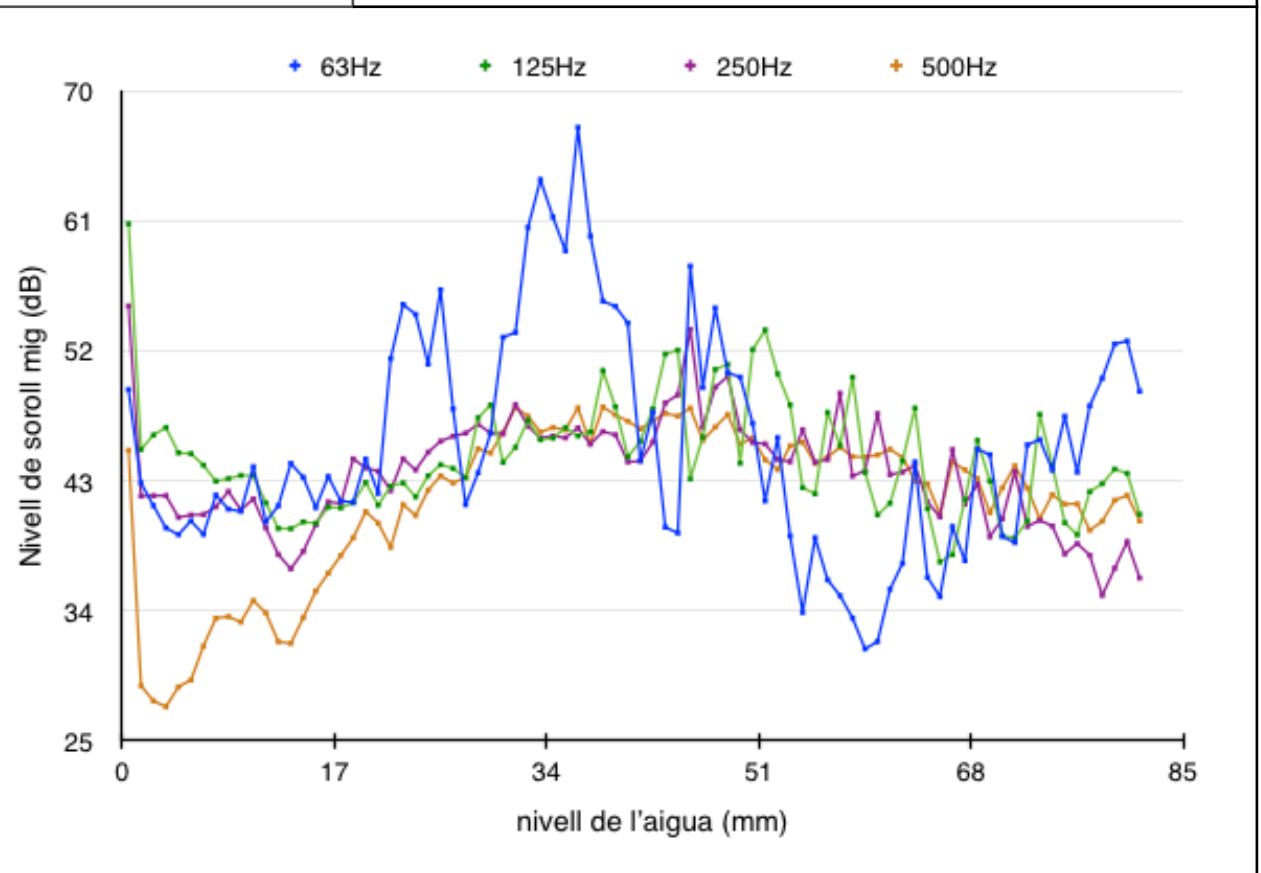
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





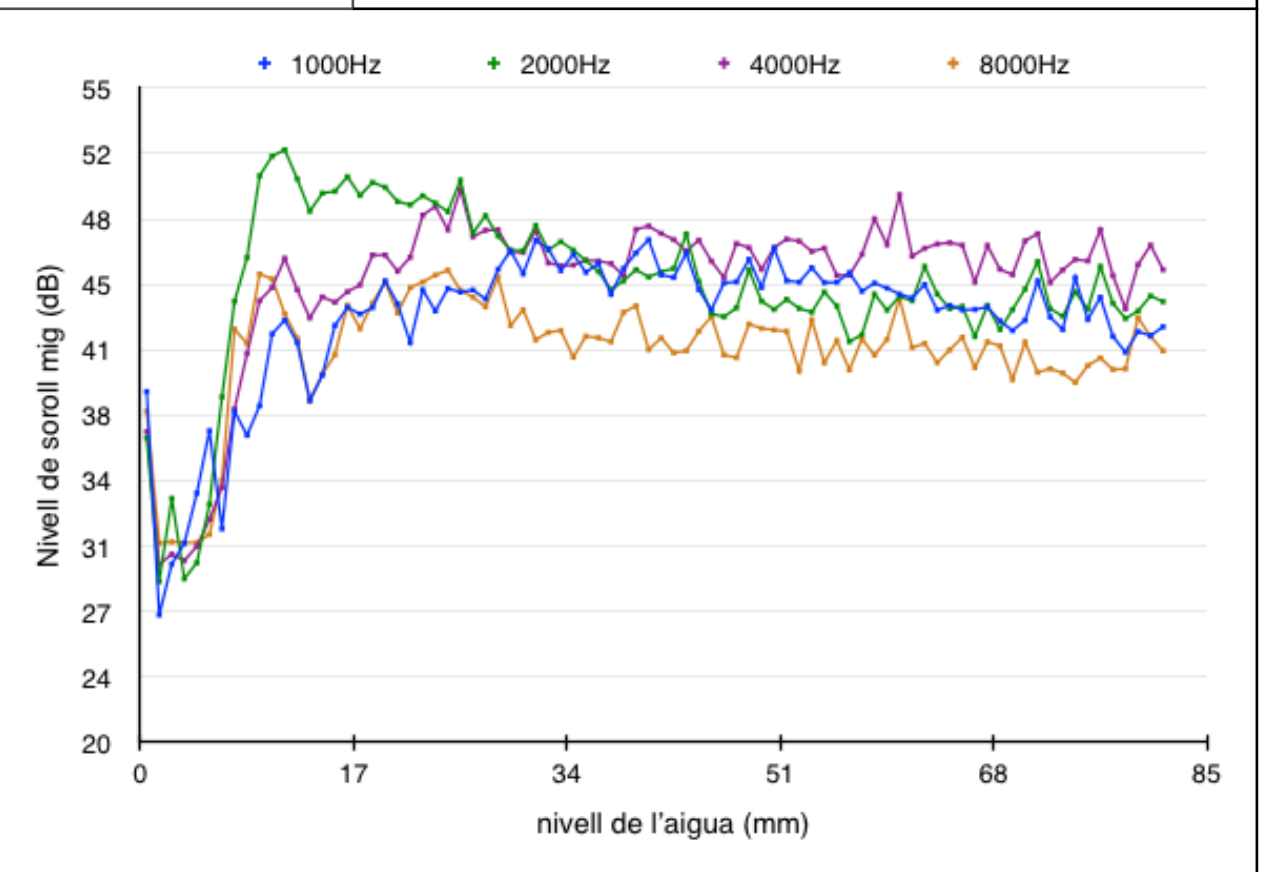
Gràfic

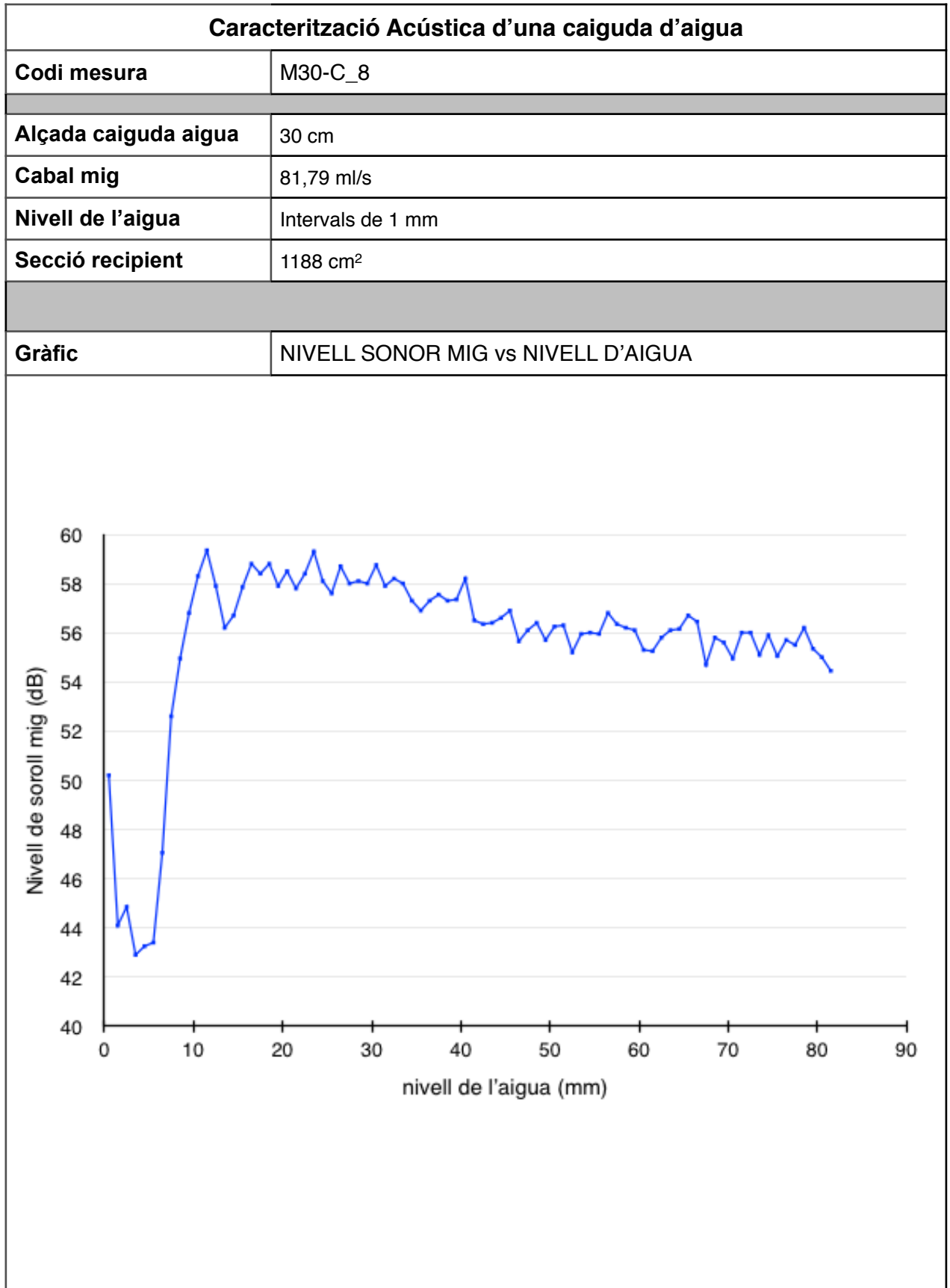
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

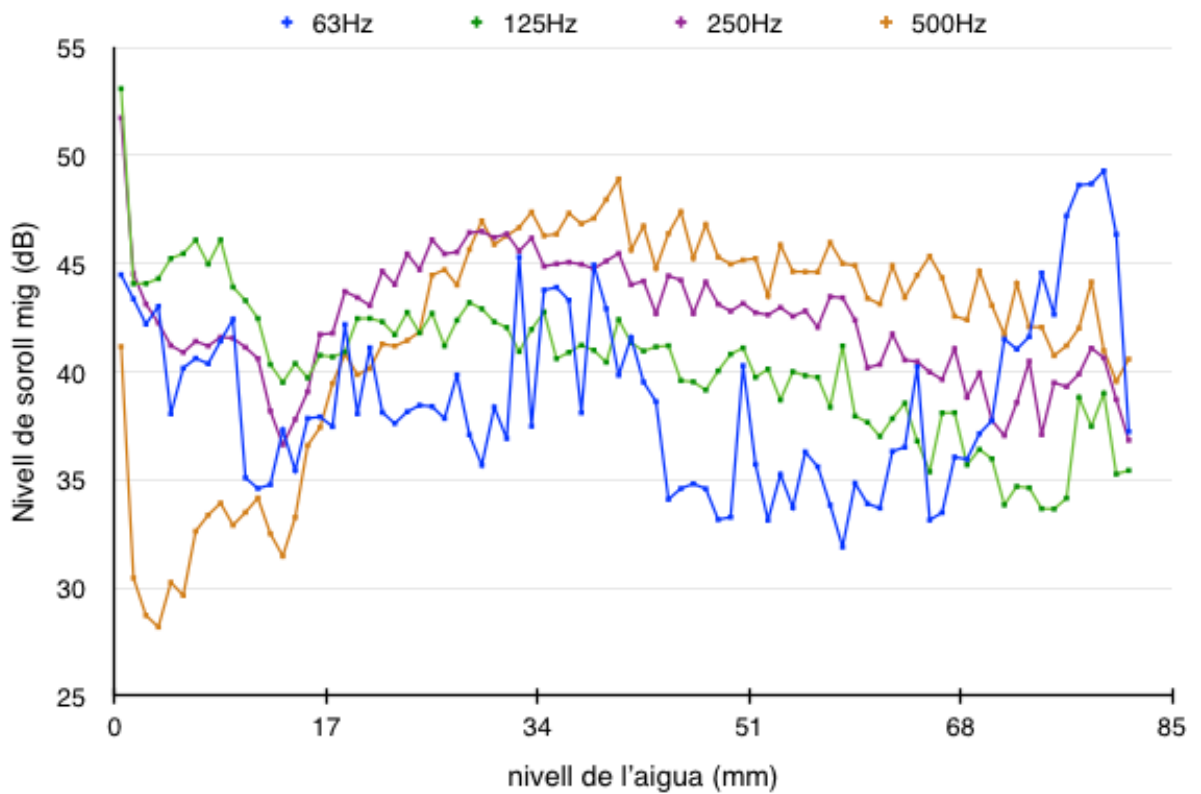
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





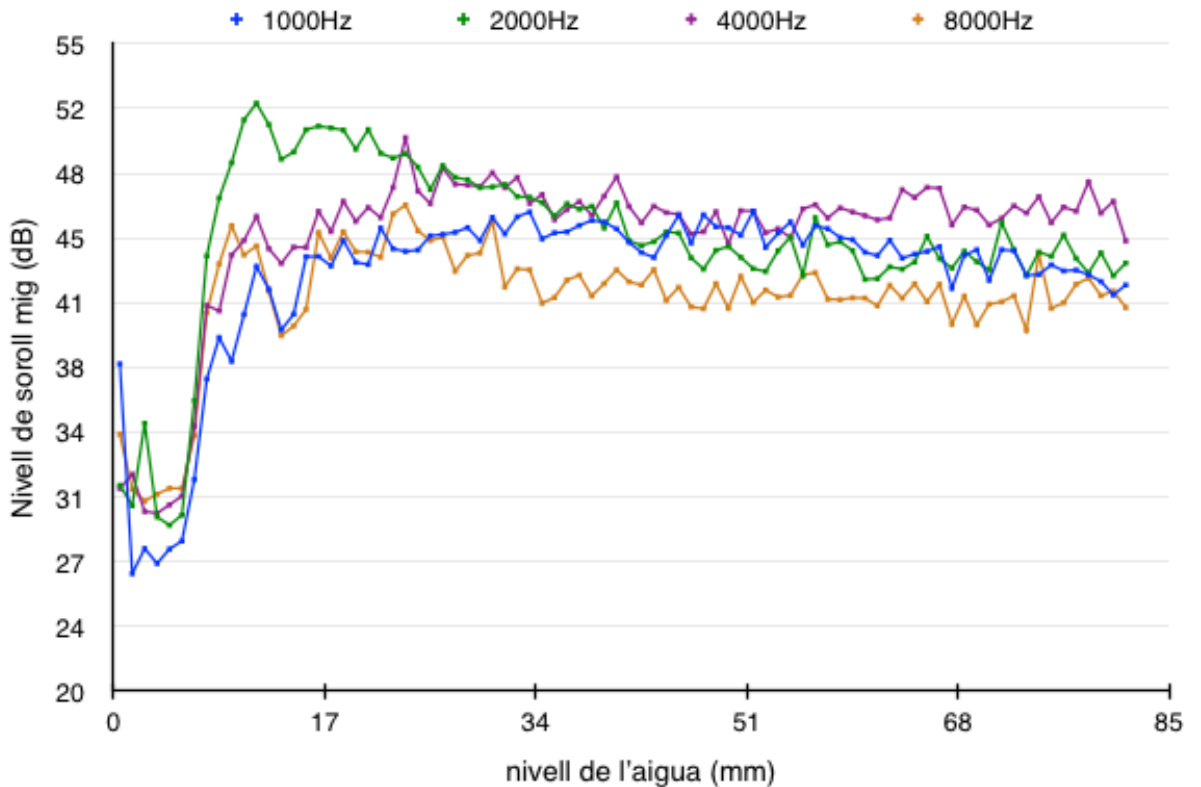
Gràfic

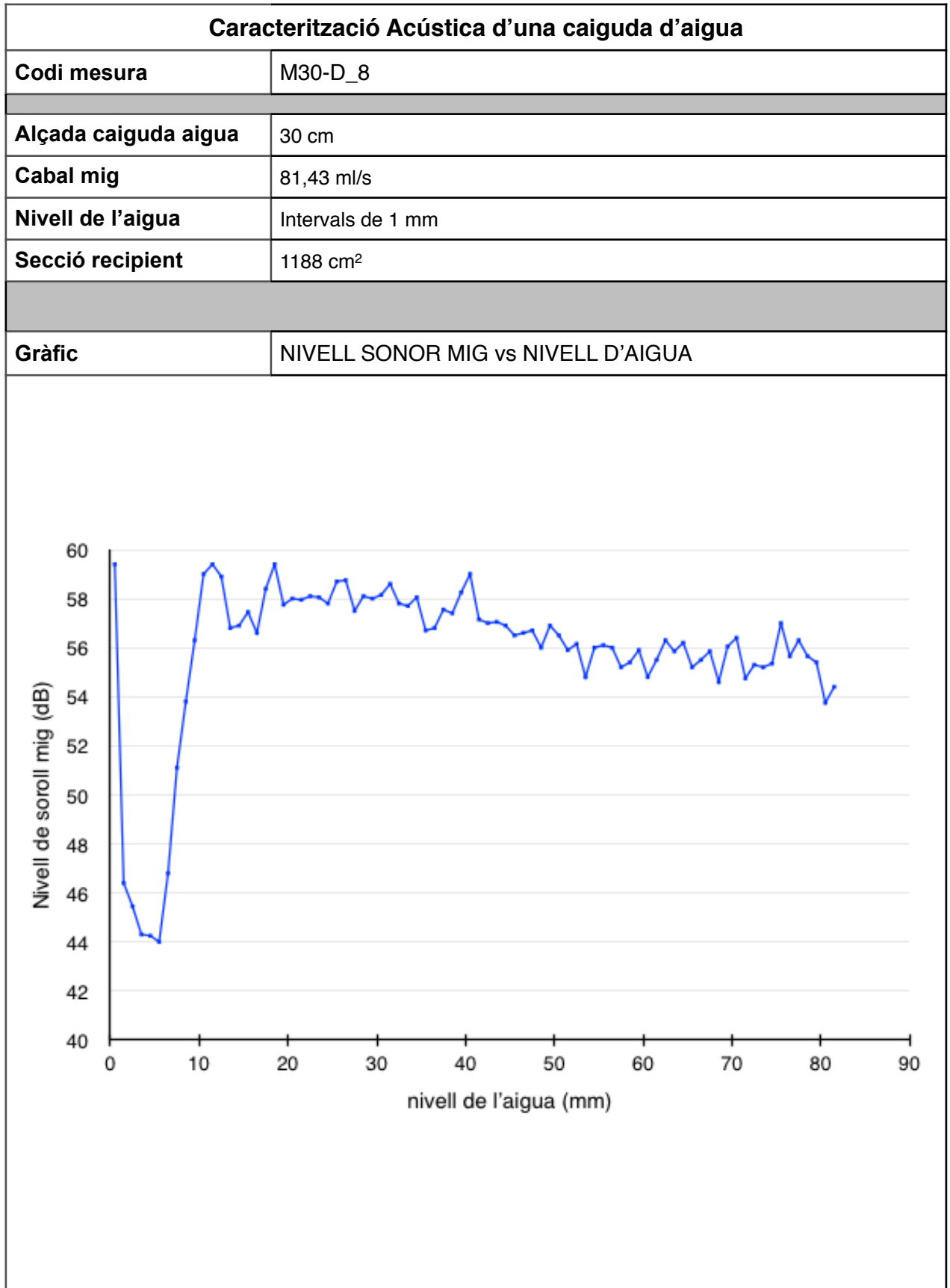
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

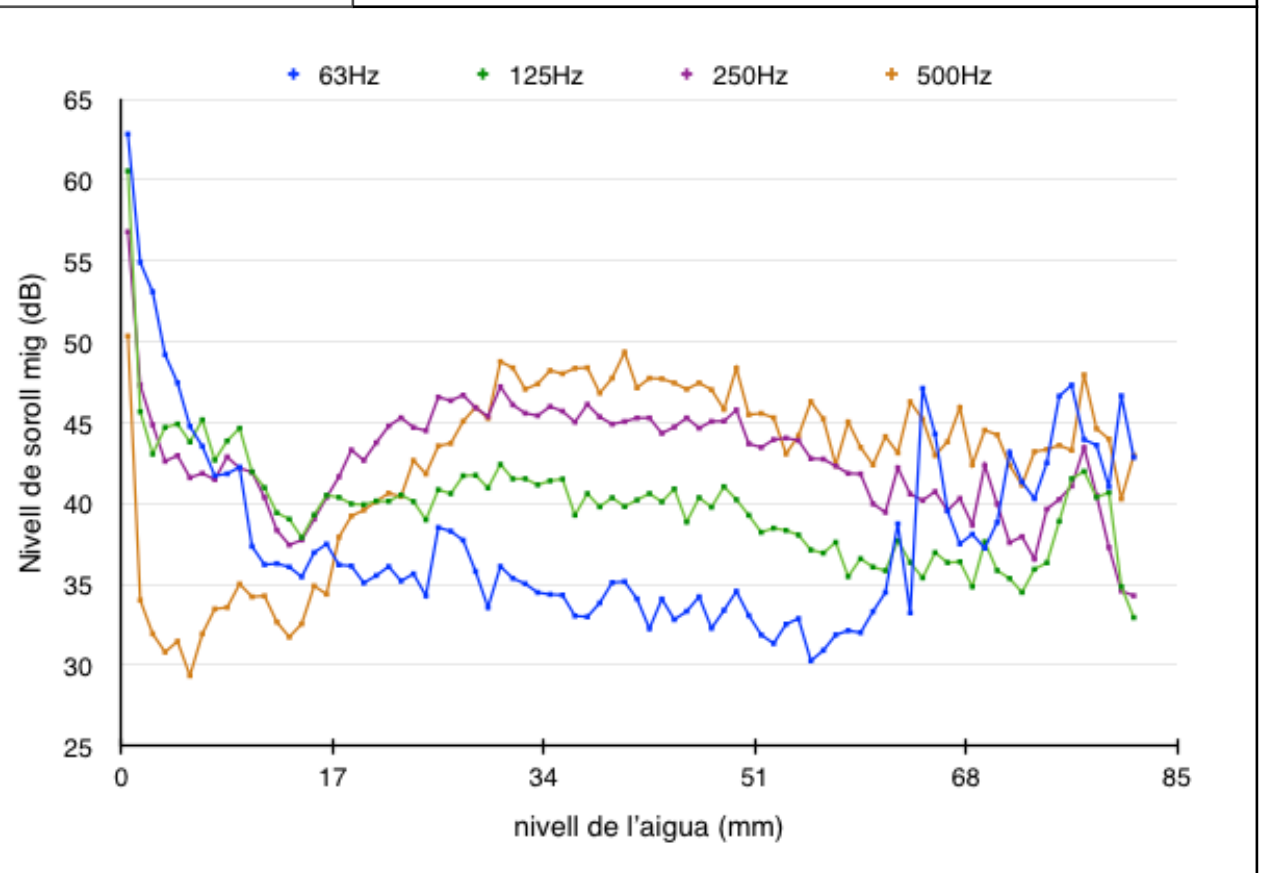
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





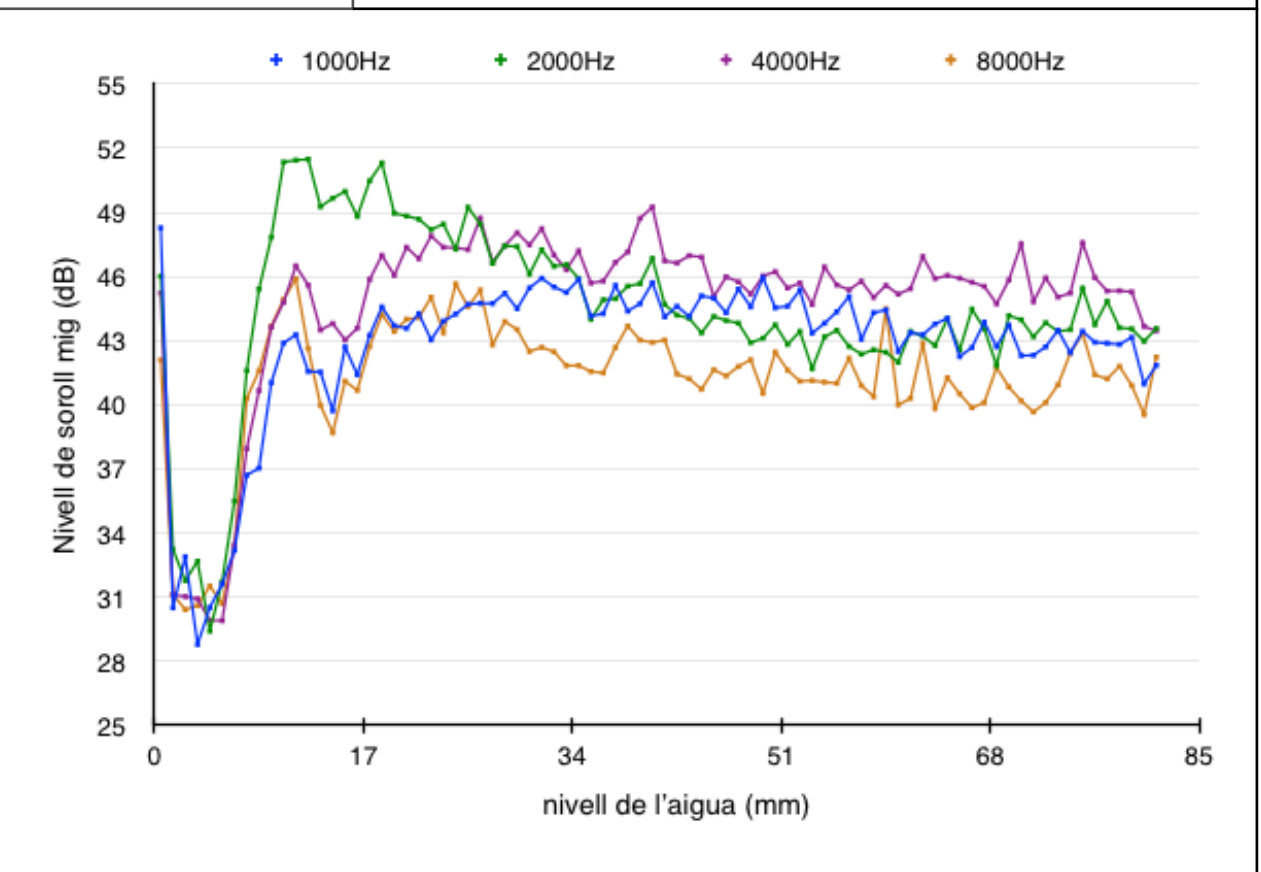
Gràfic

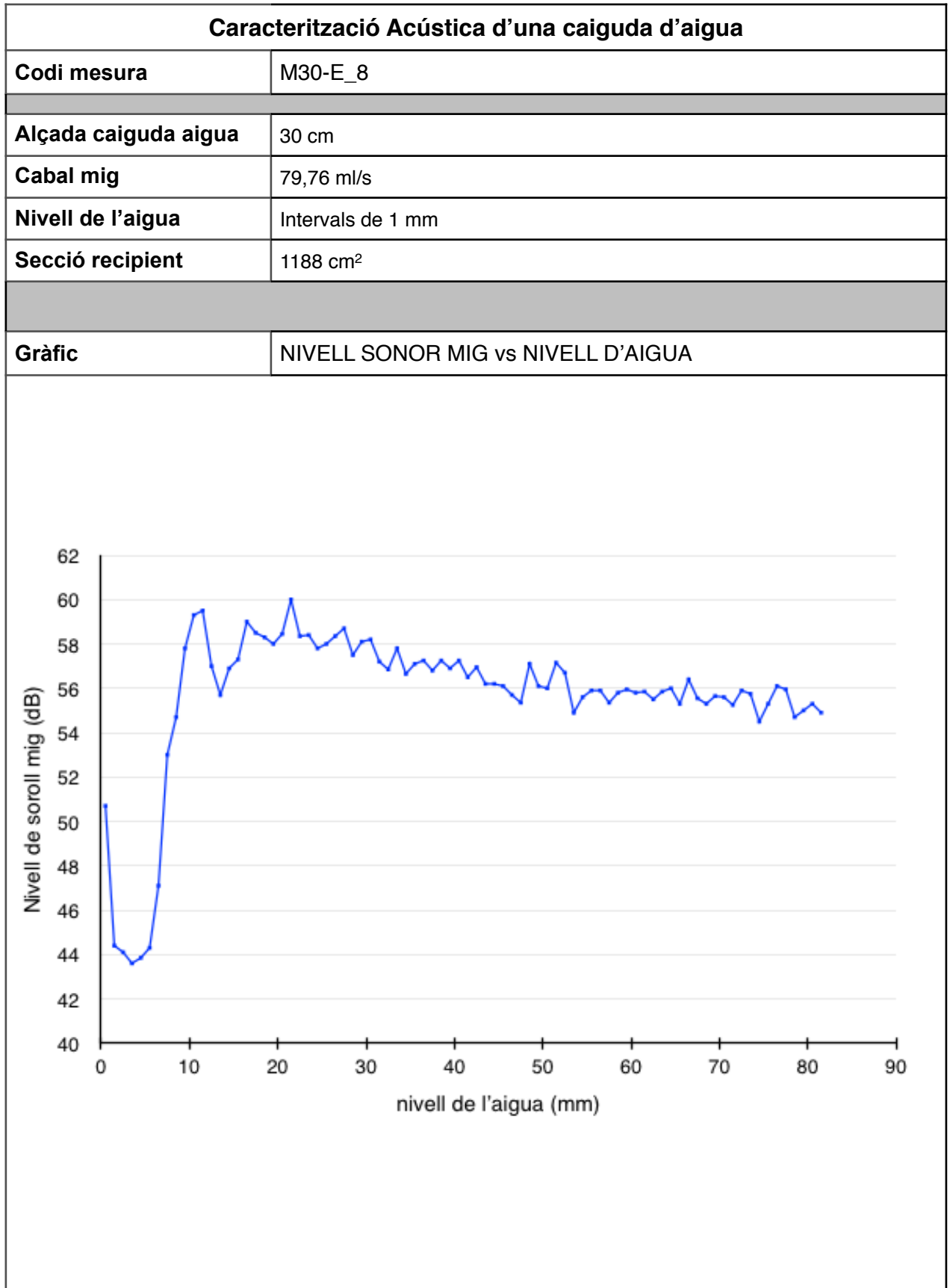
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

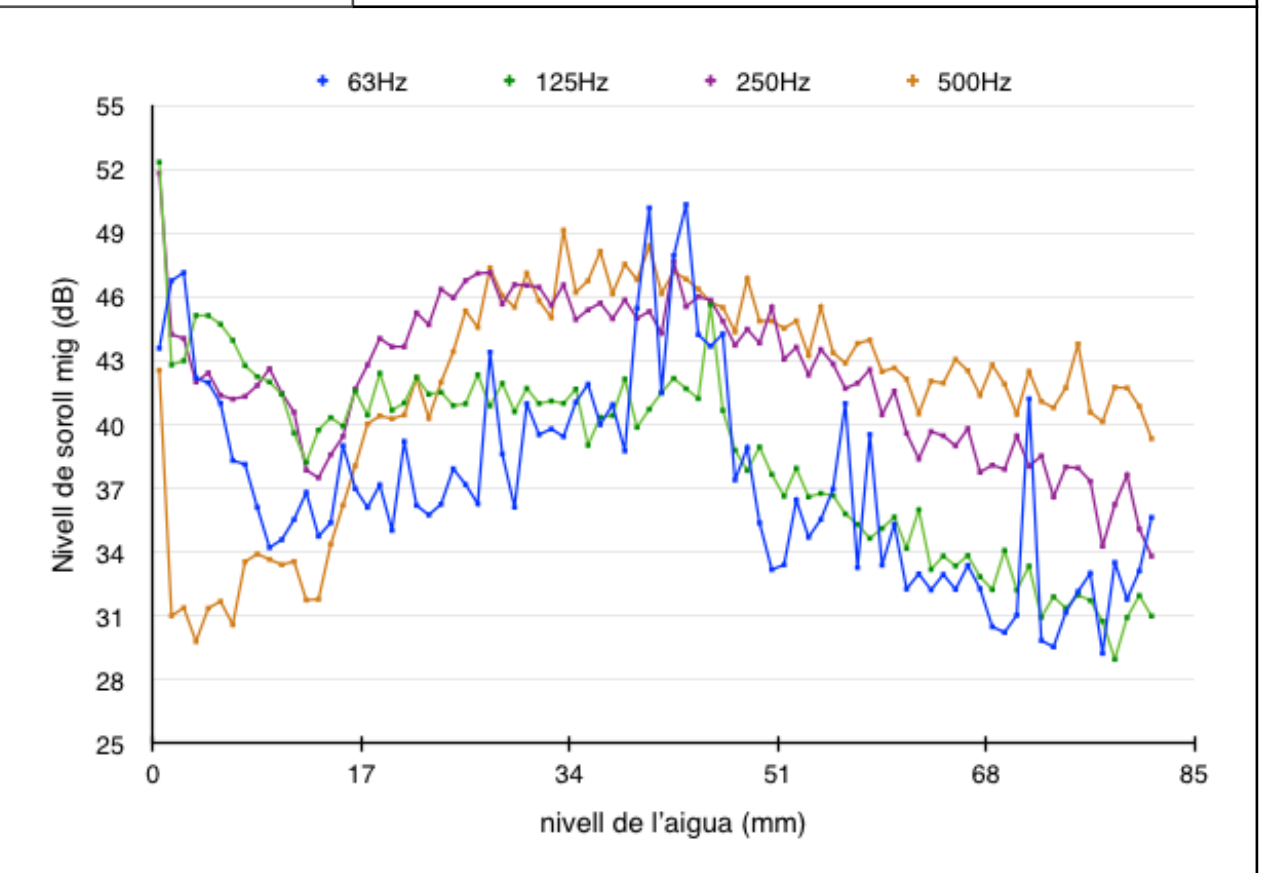
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





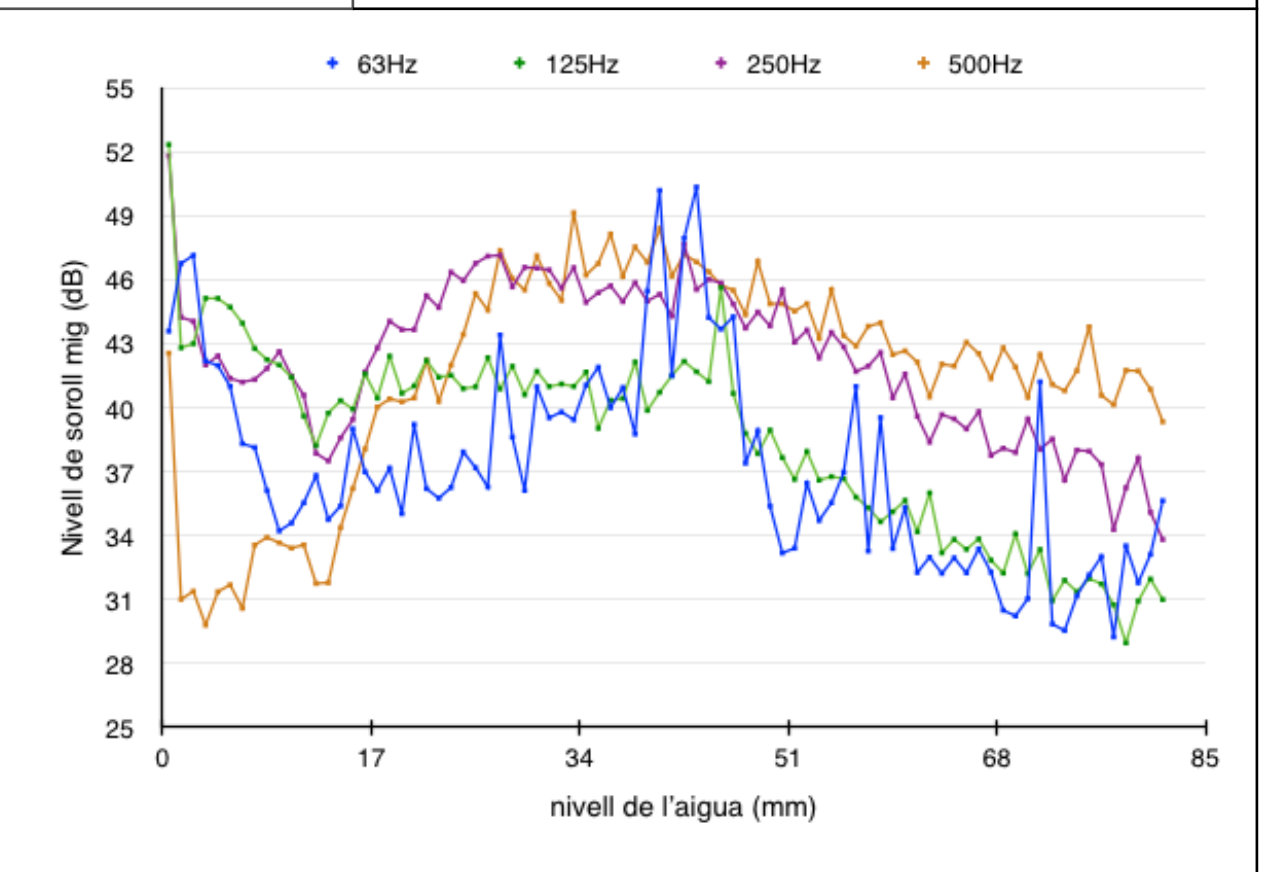
Gràfic

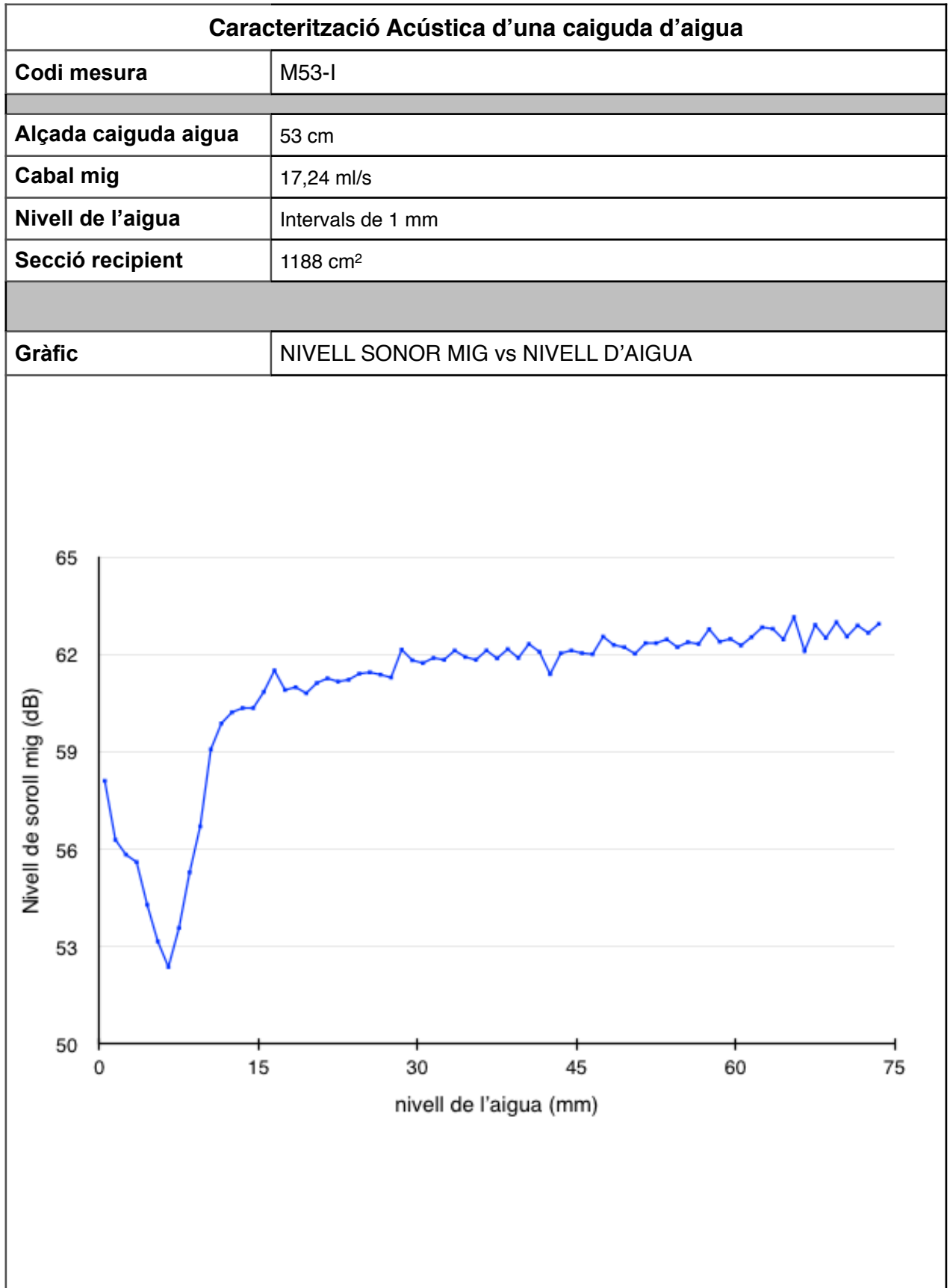
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



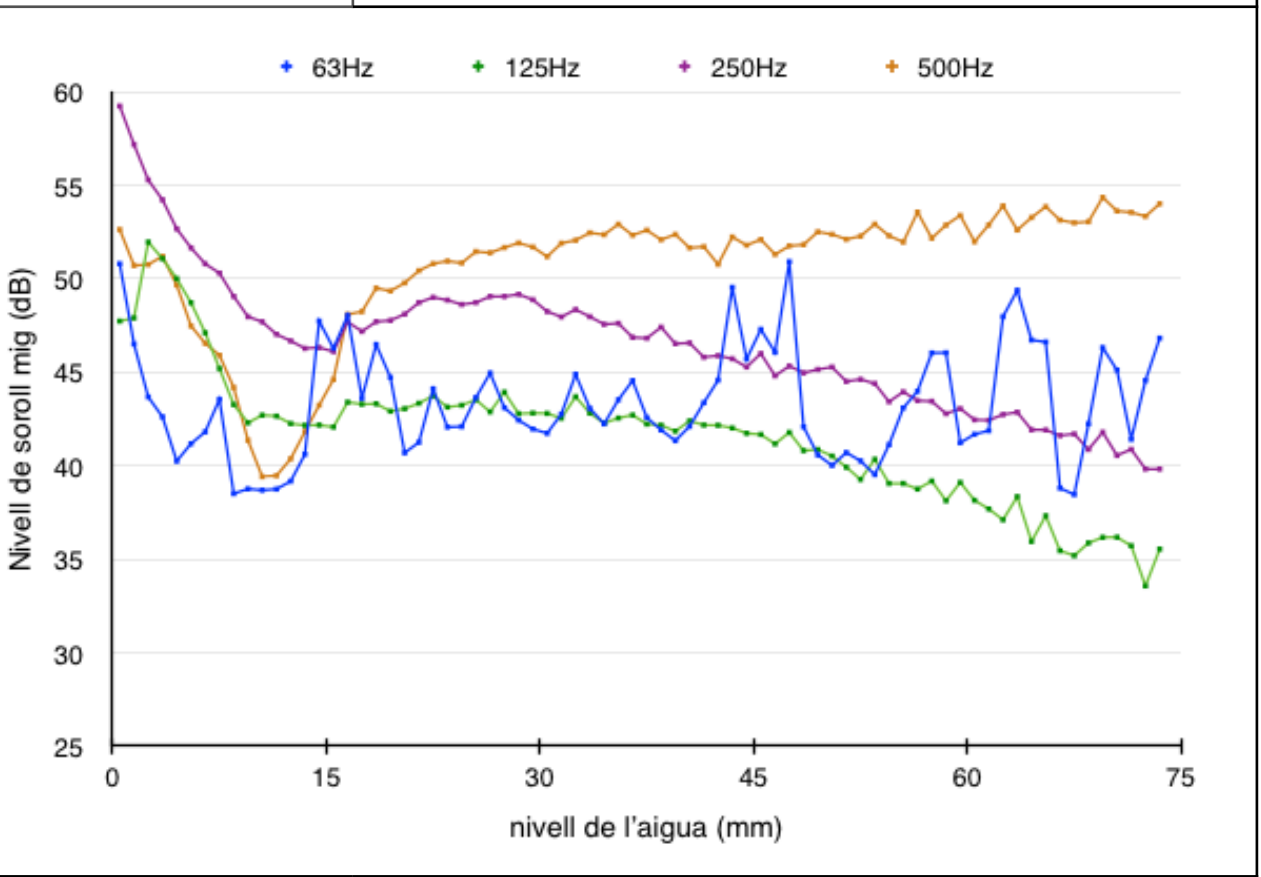
Gràfic

NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

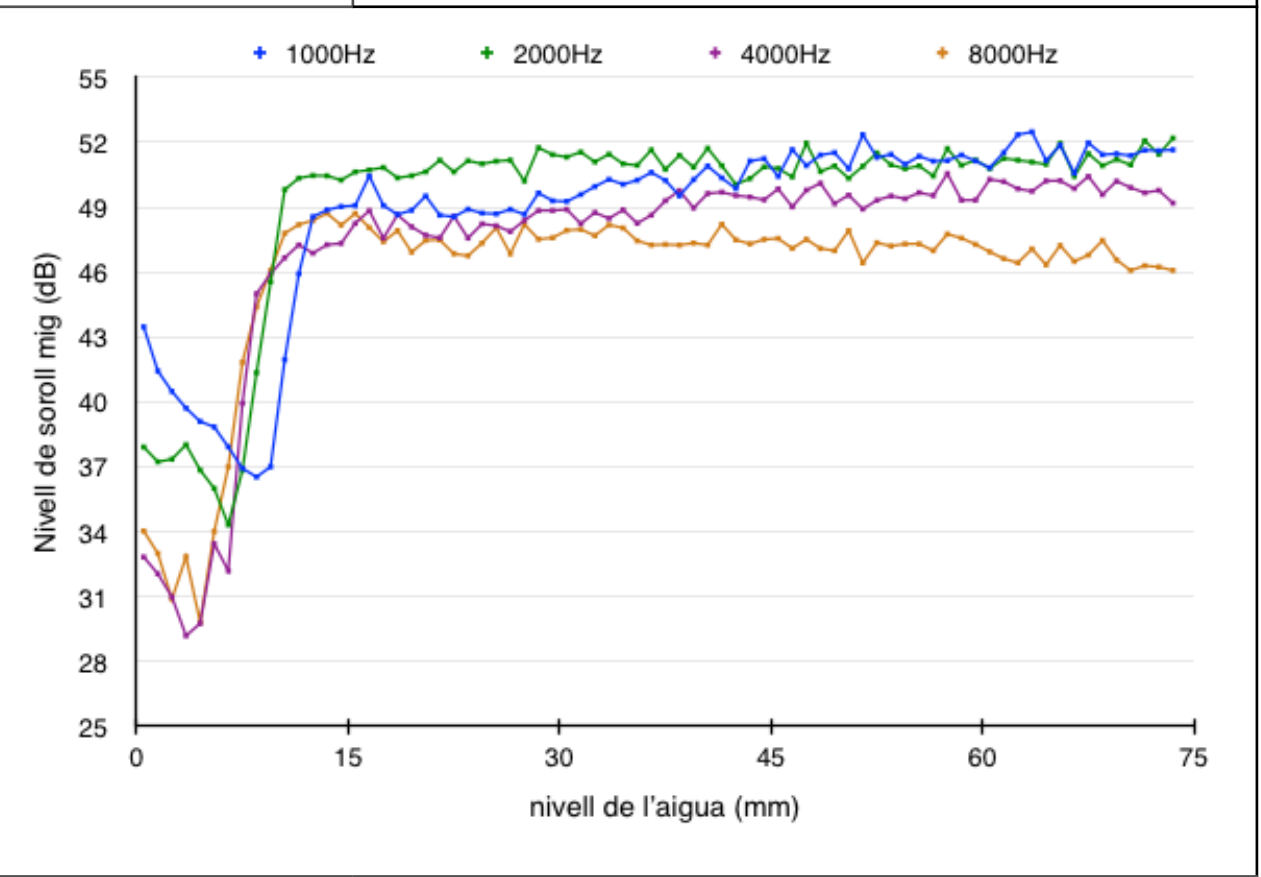


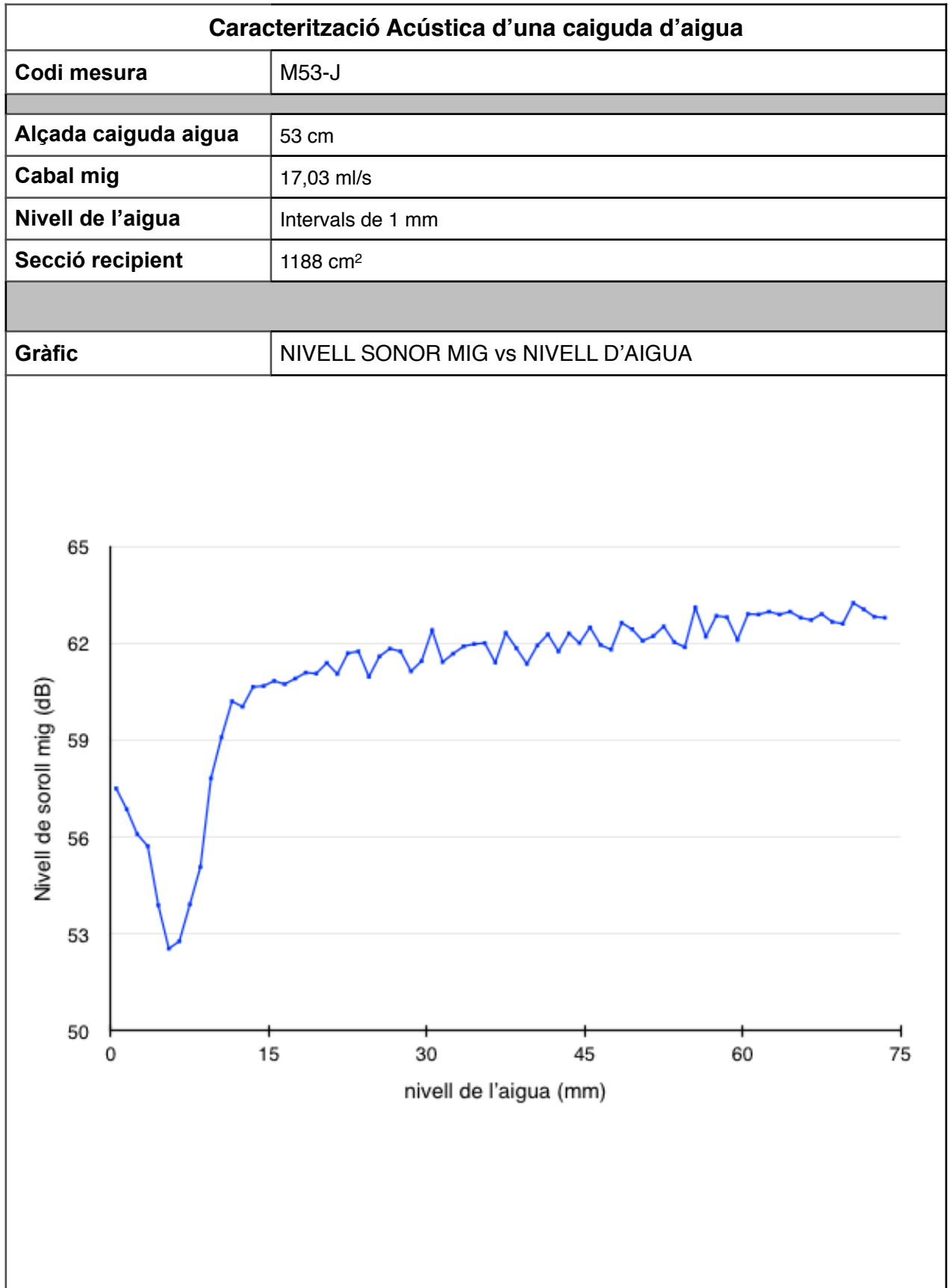


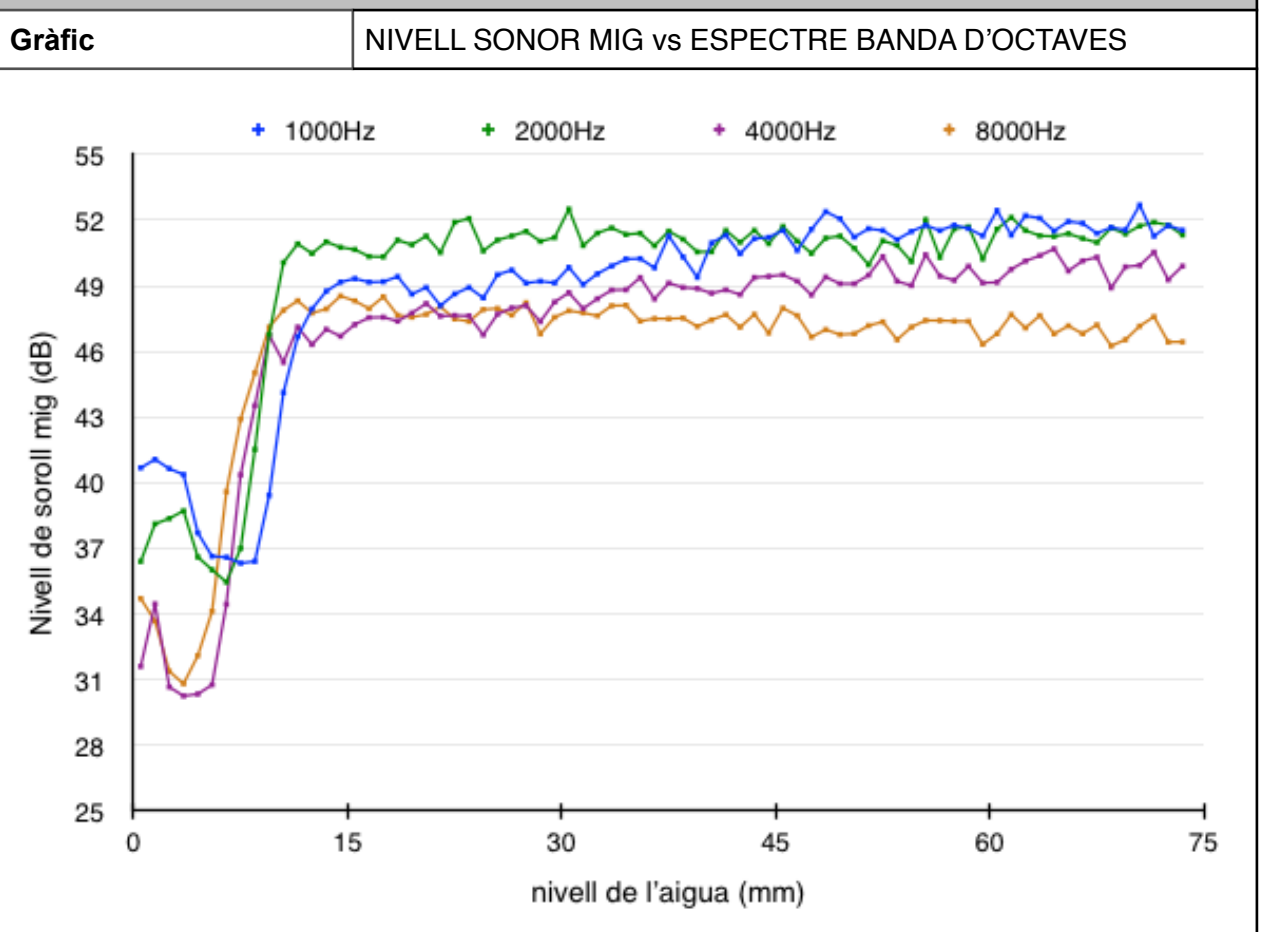
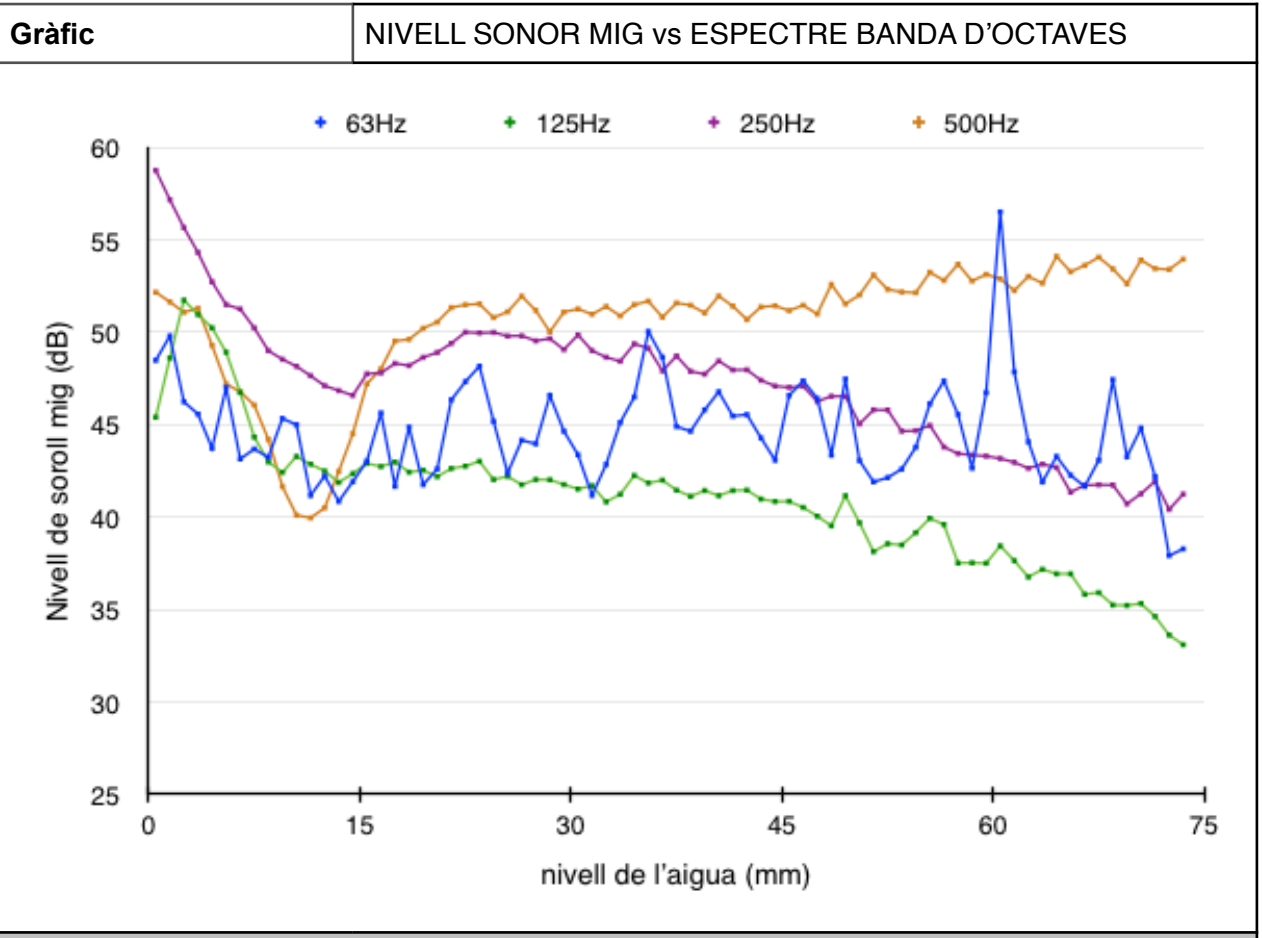
Gràfic NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

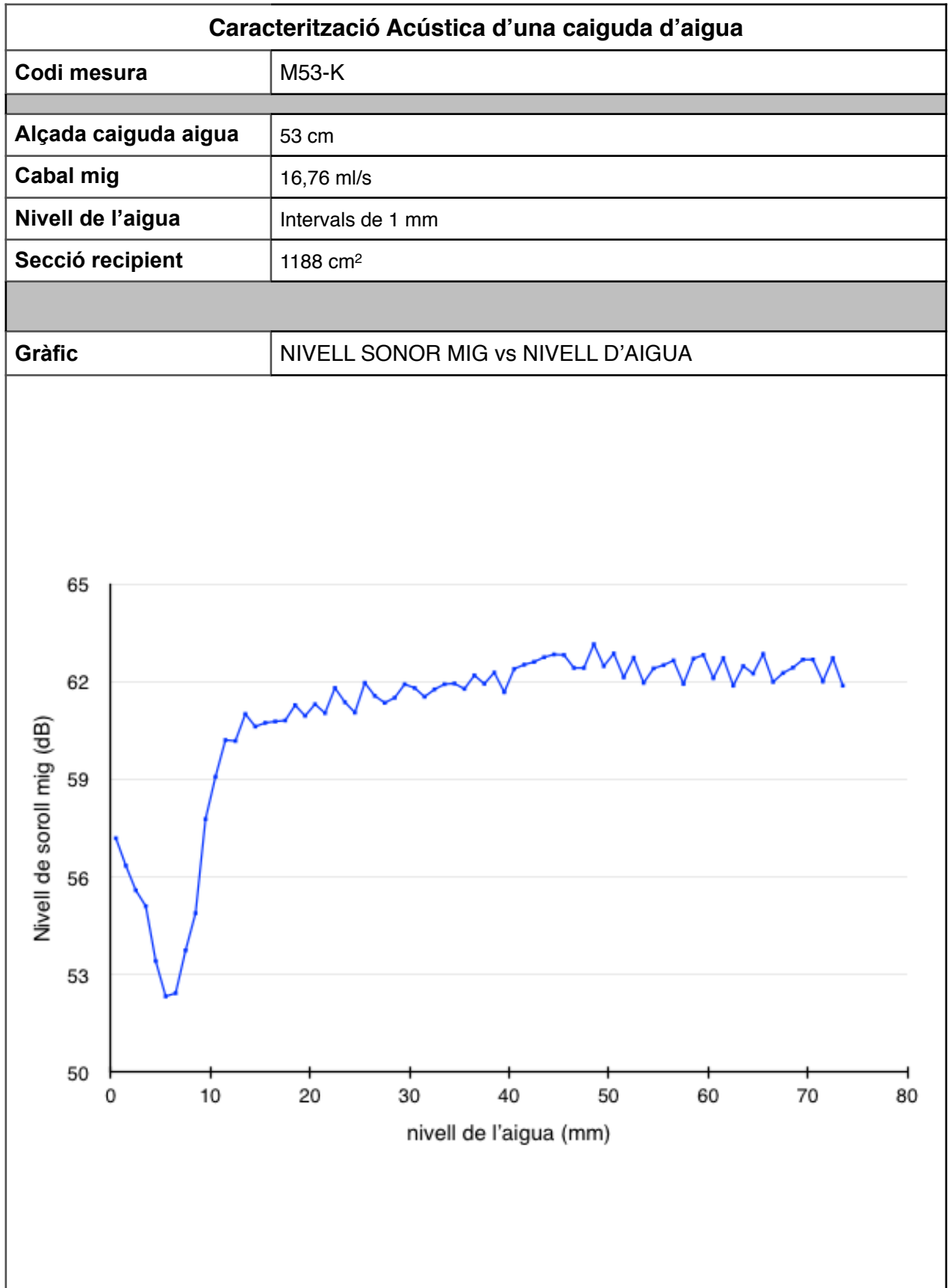


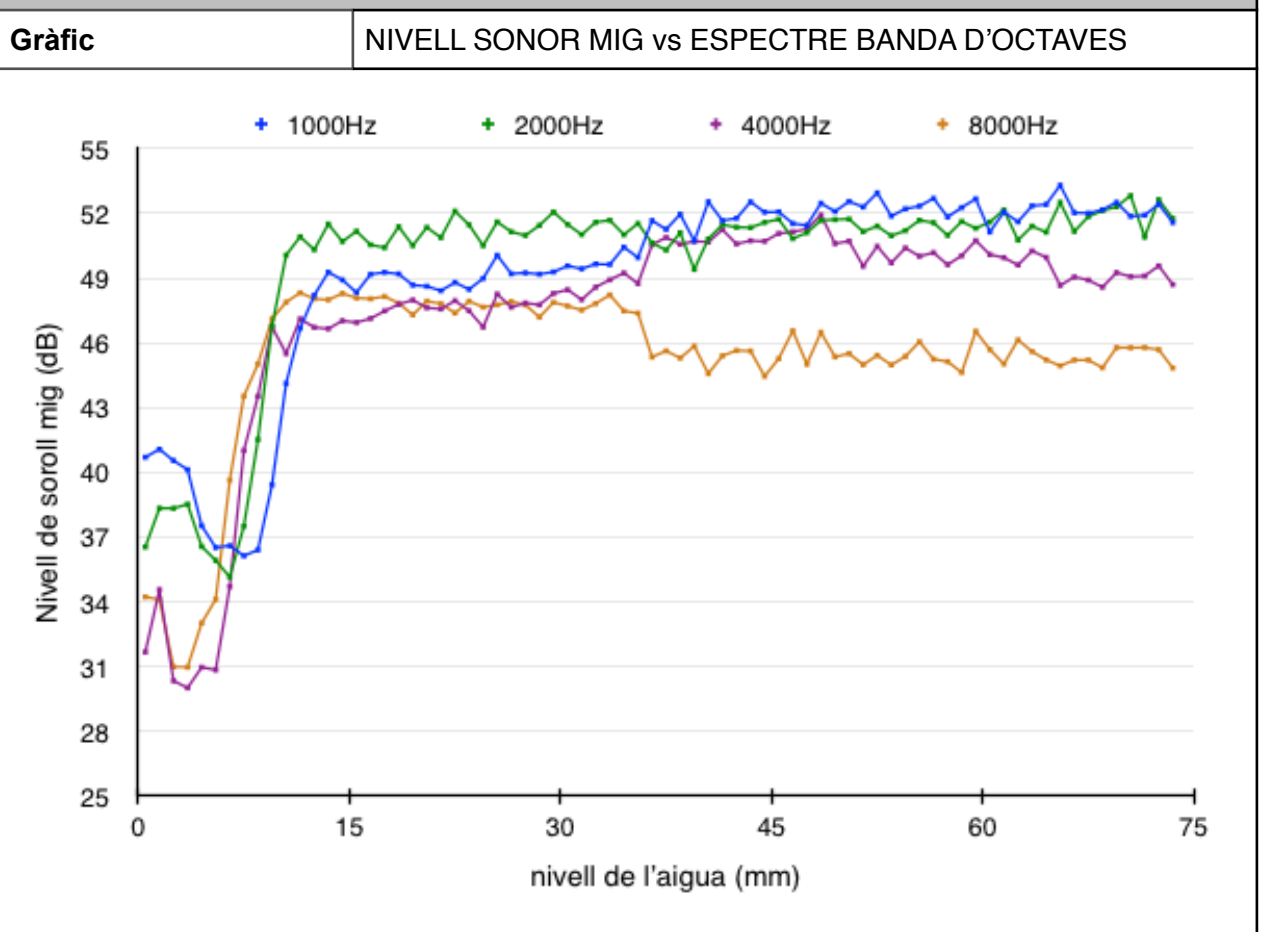
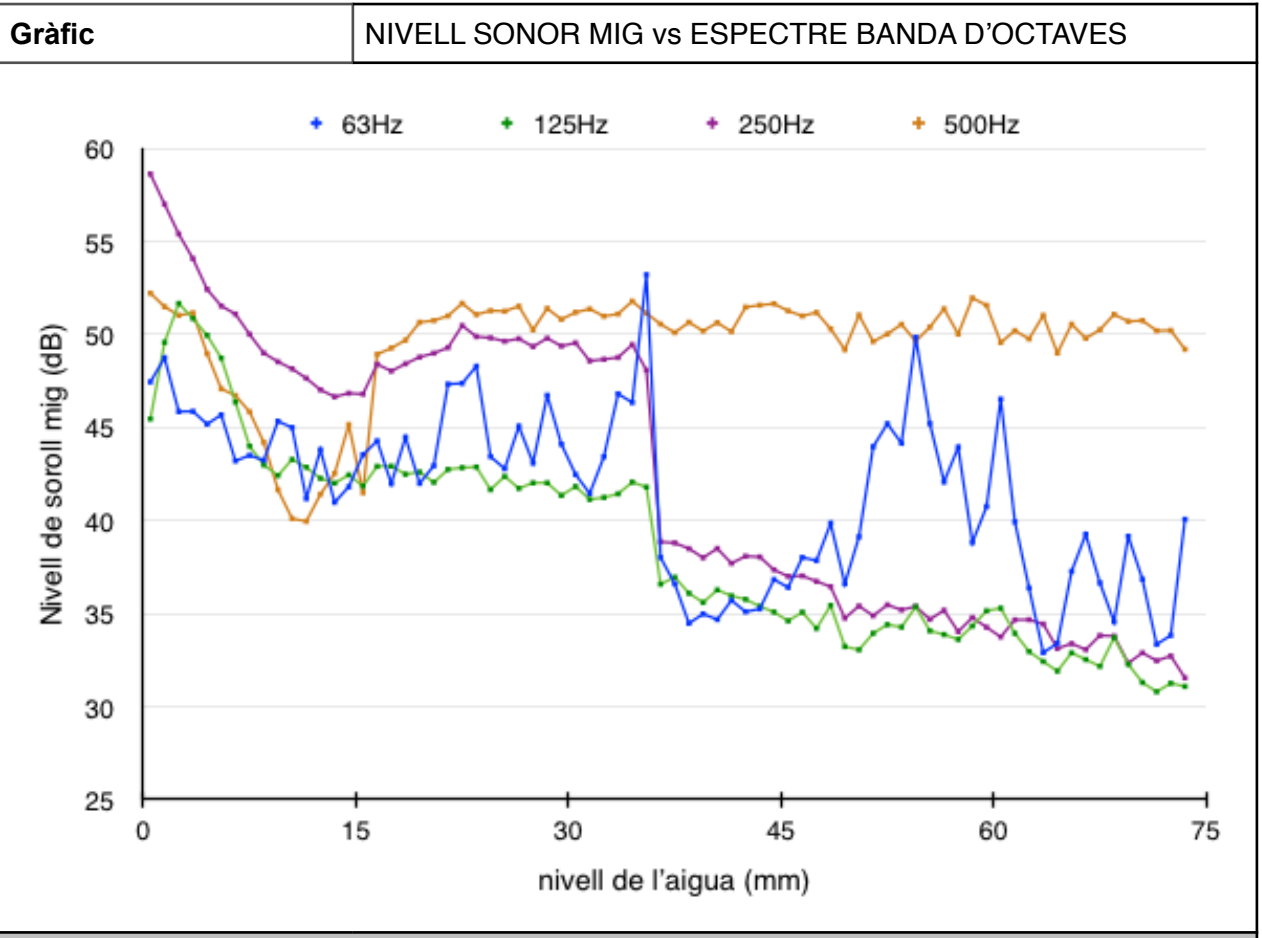
Gràfic NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

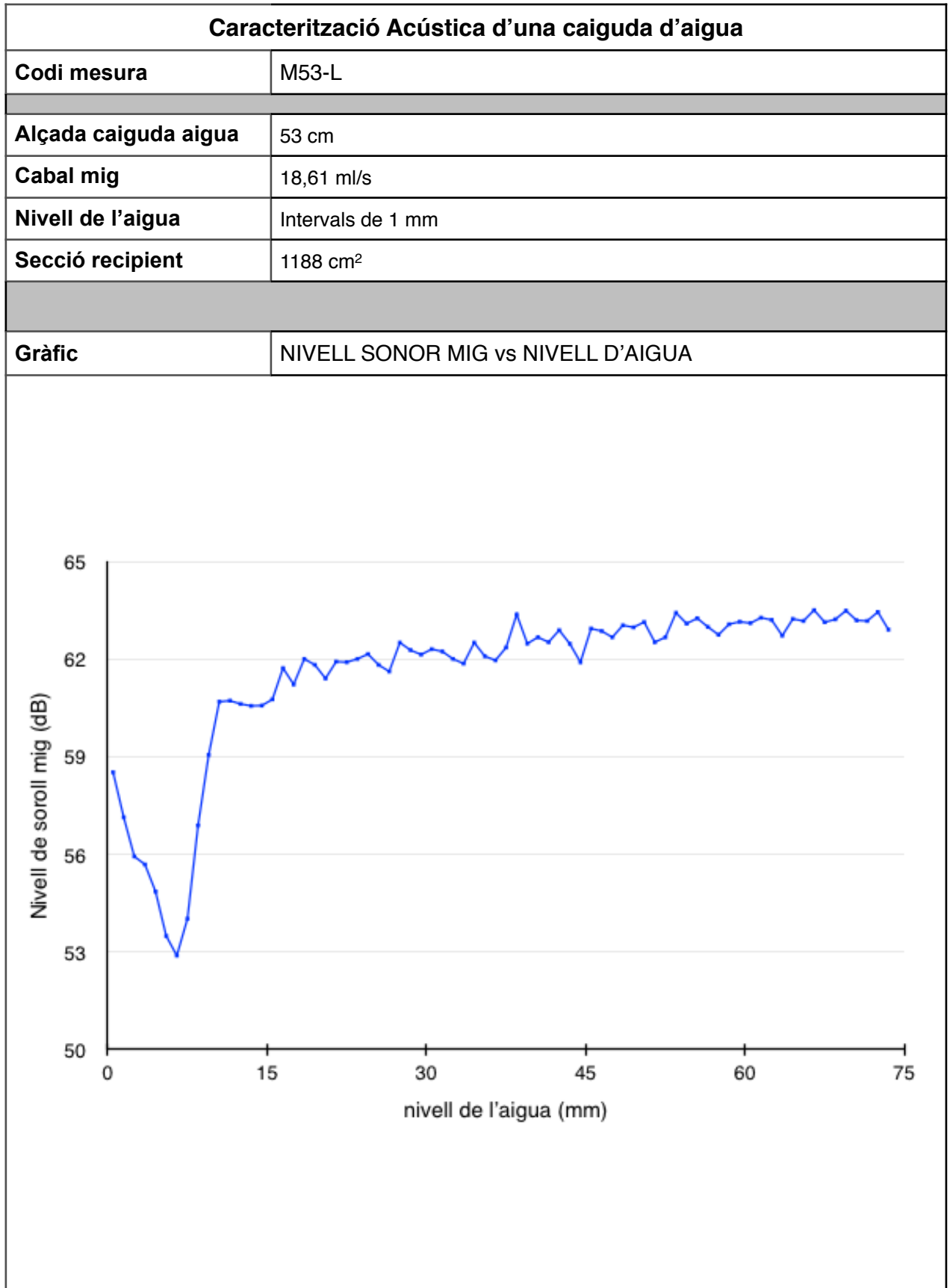






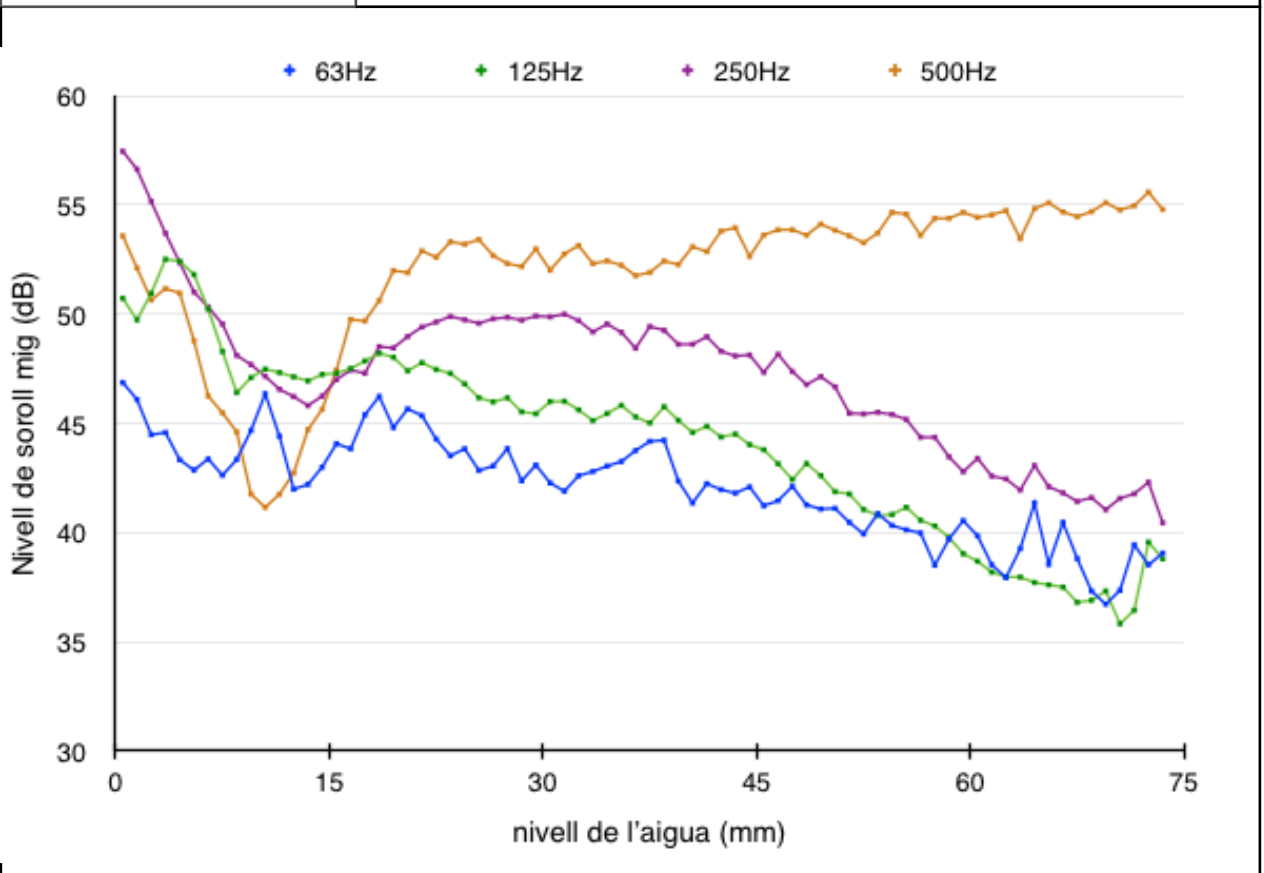






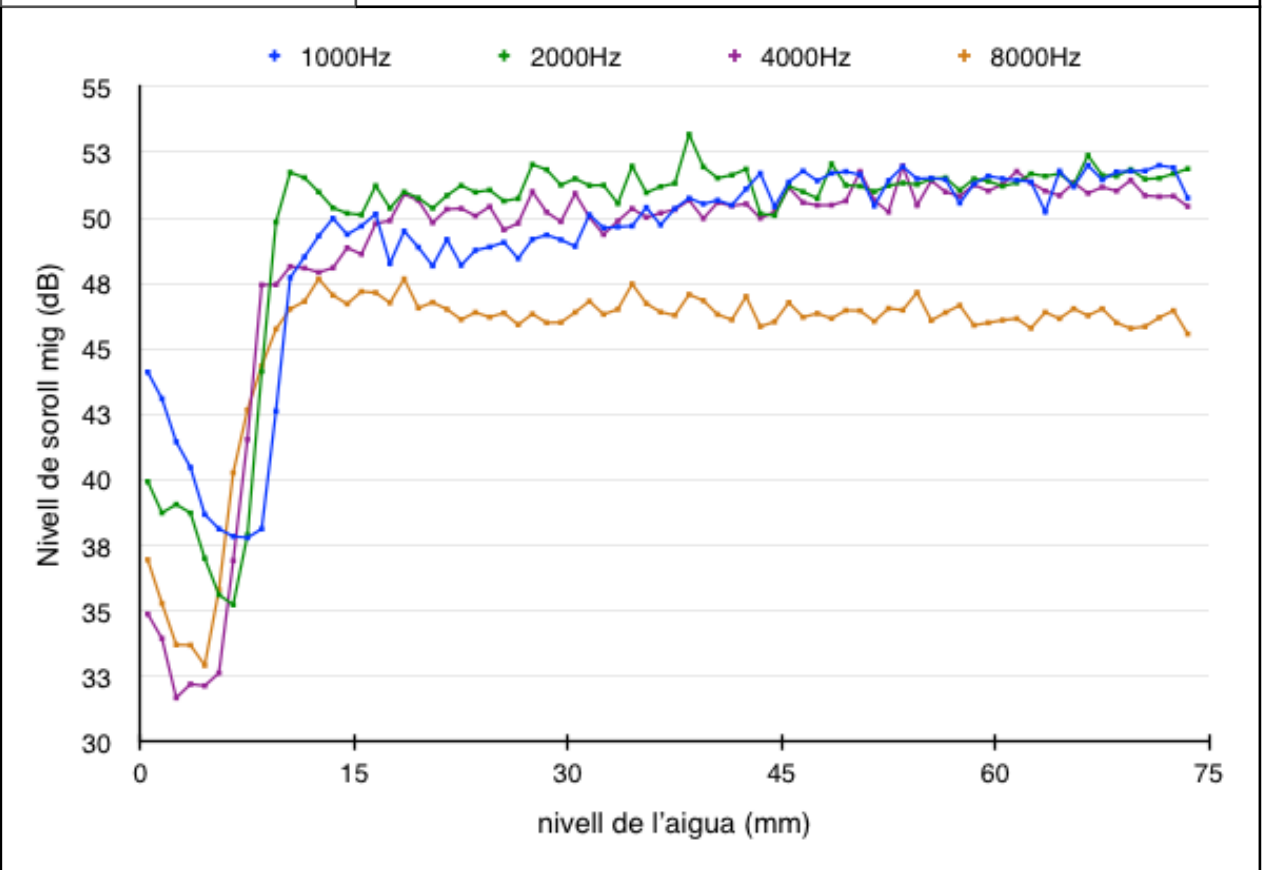
Gràfic

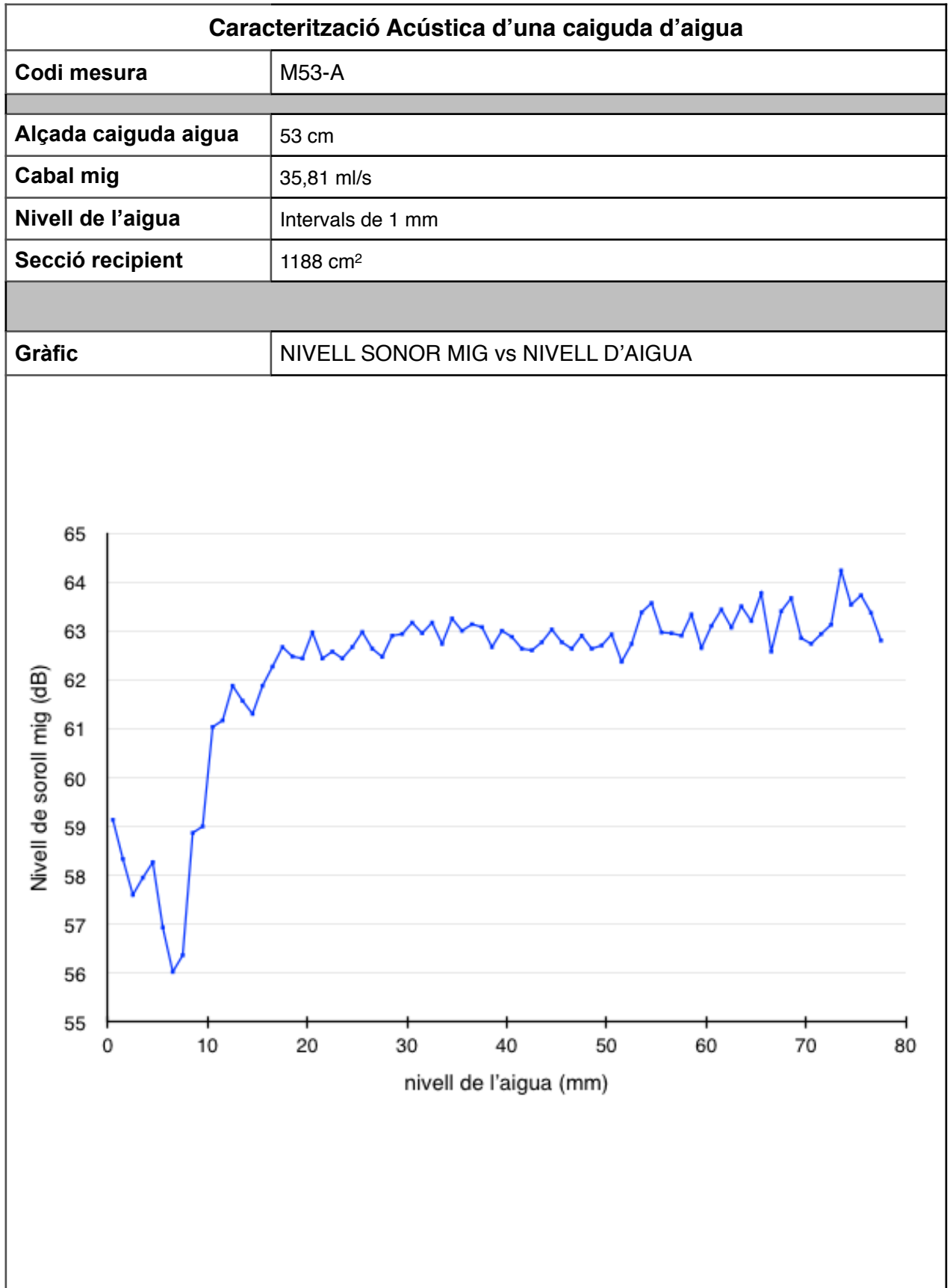
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



Gràfic

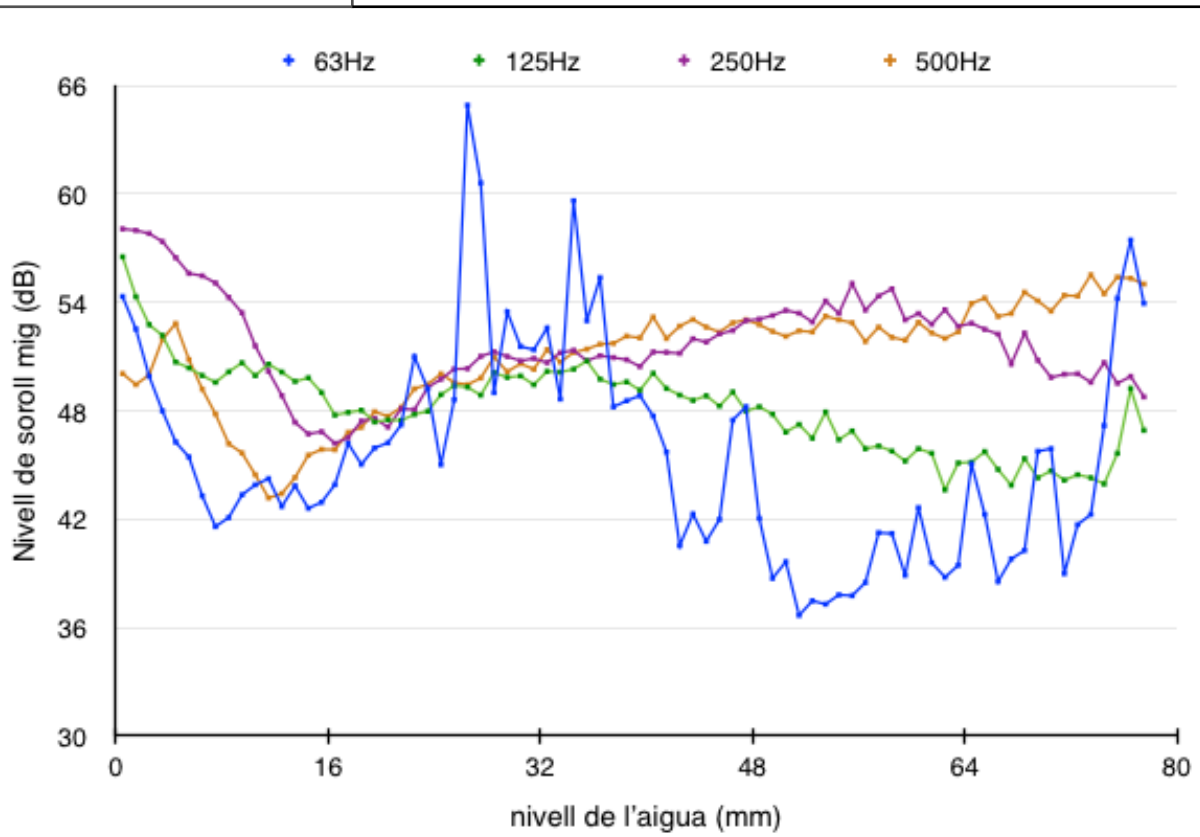
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





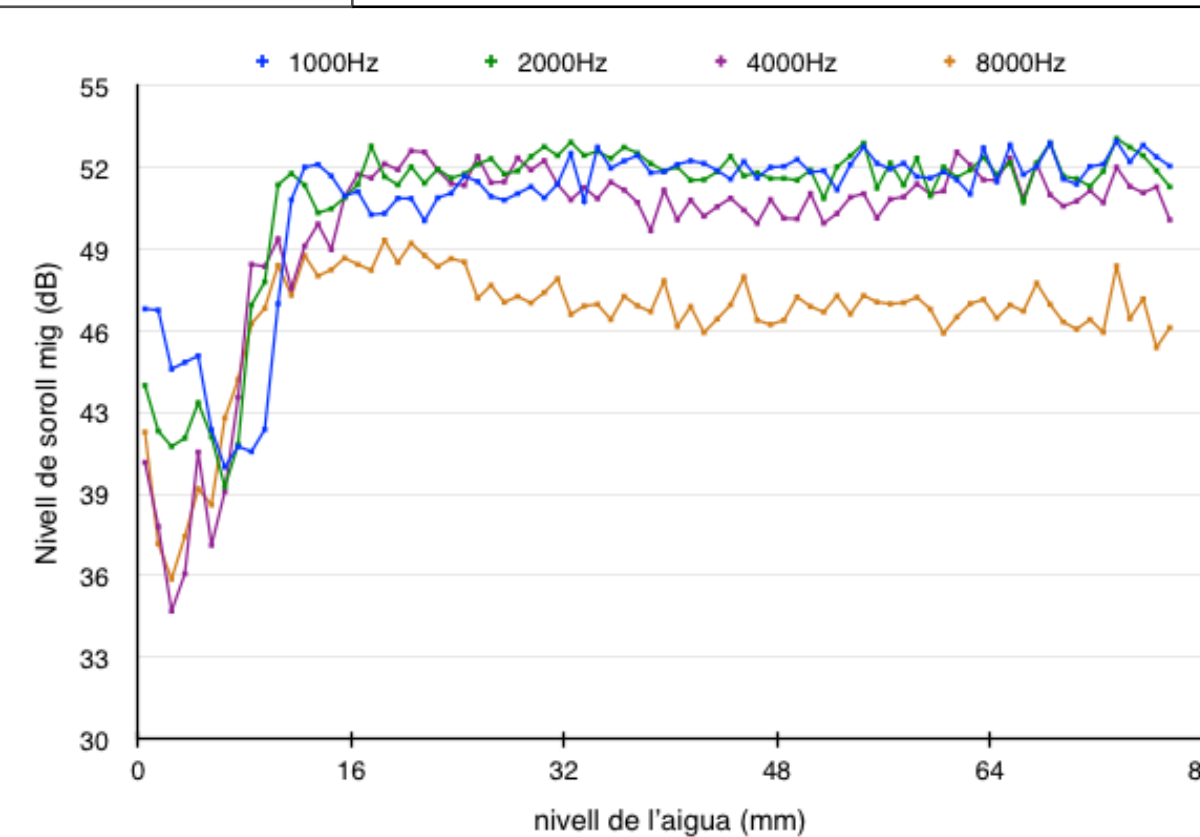
Gràfic

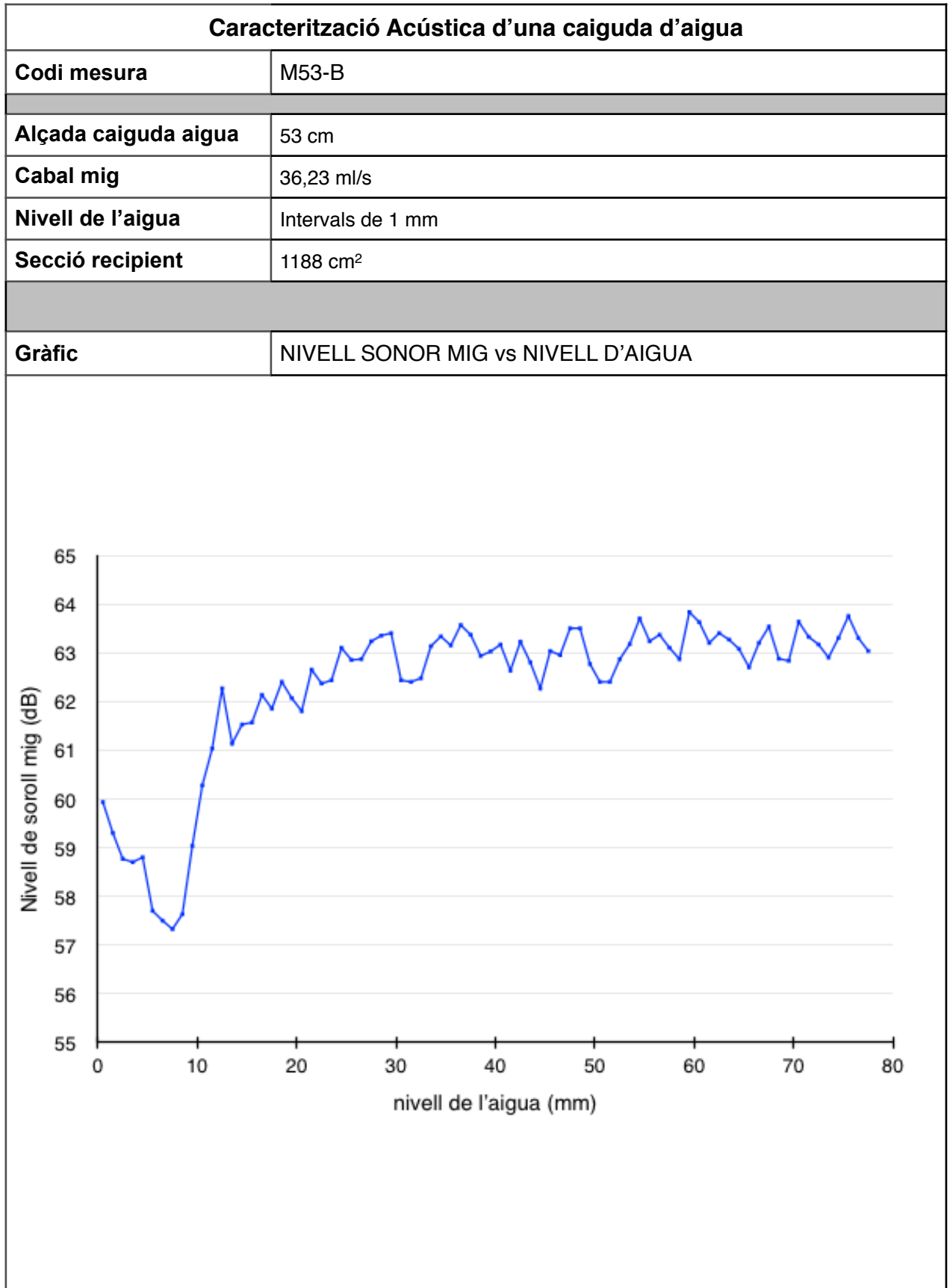
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

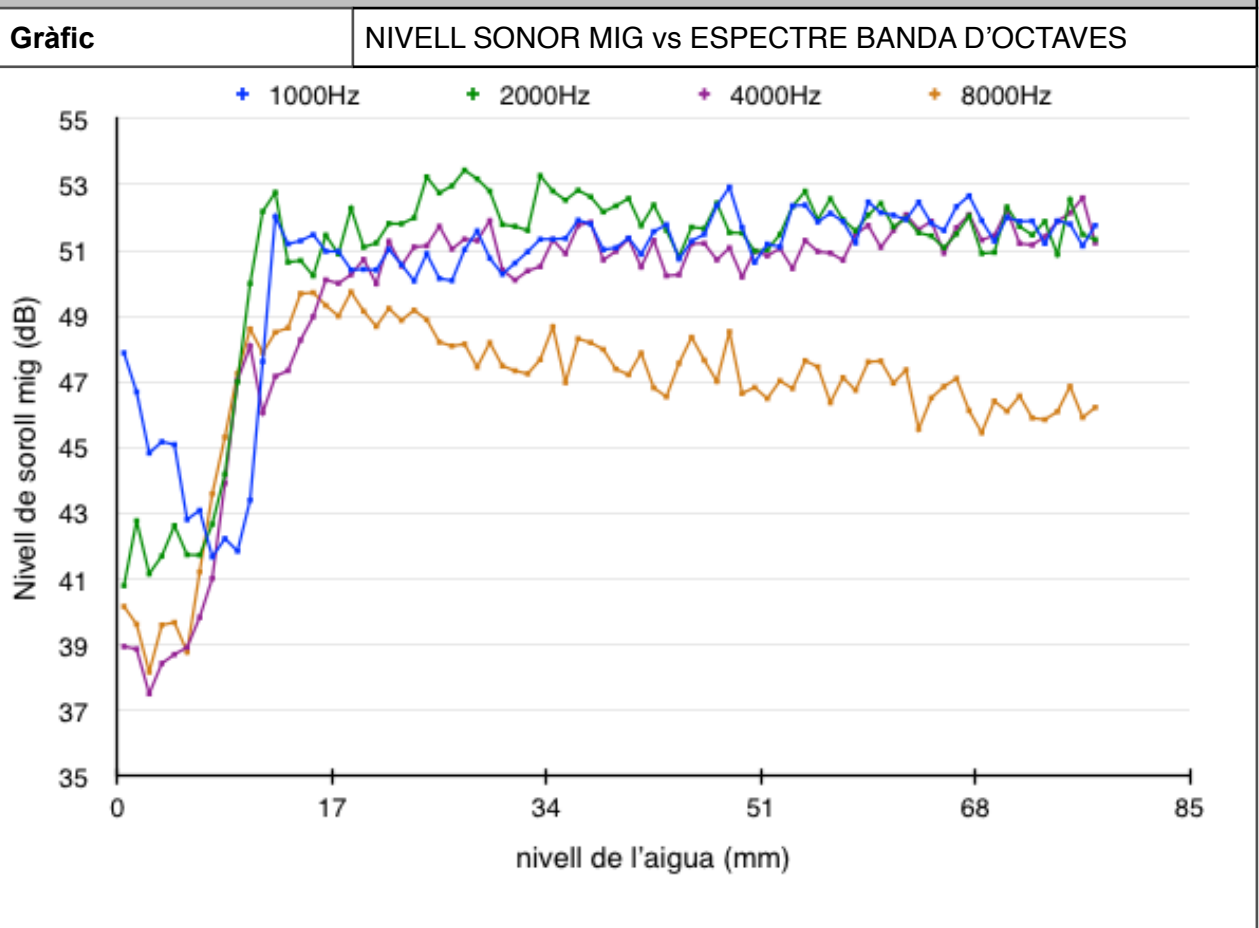
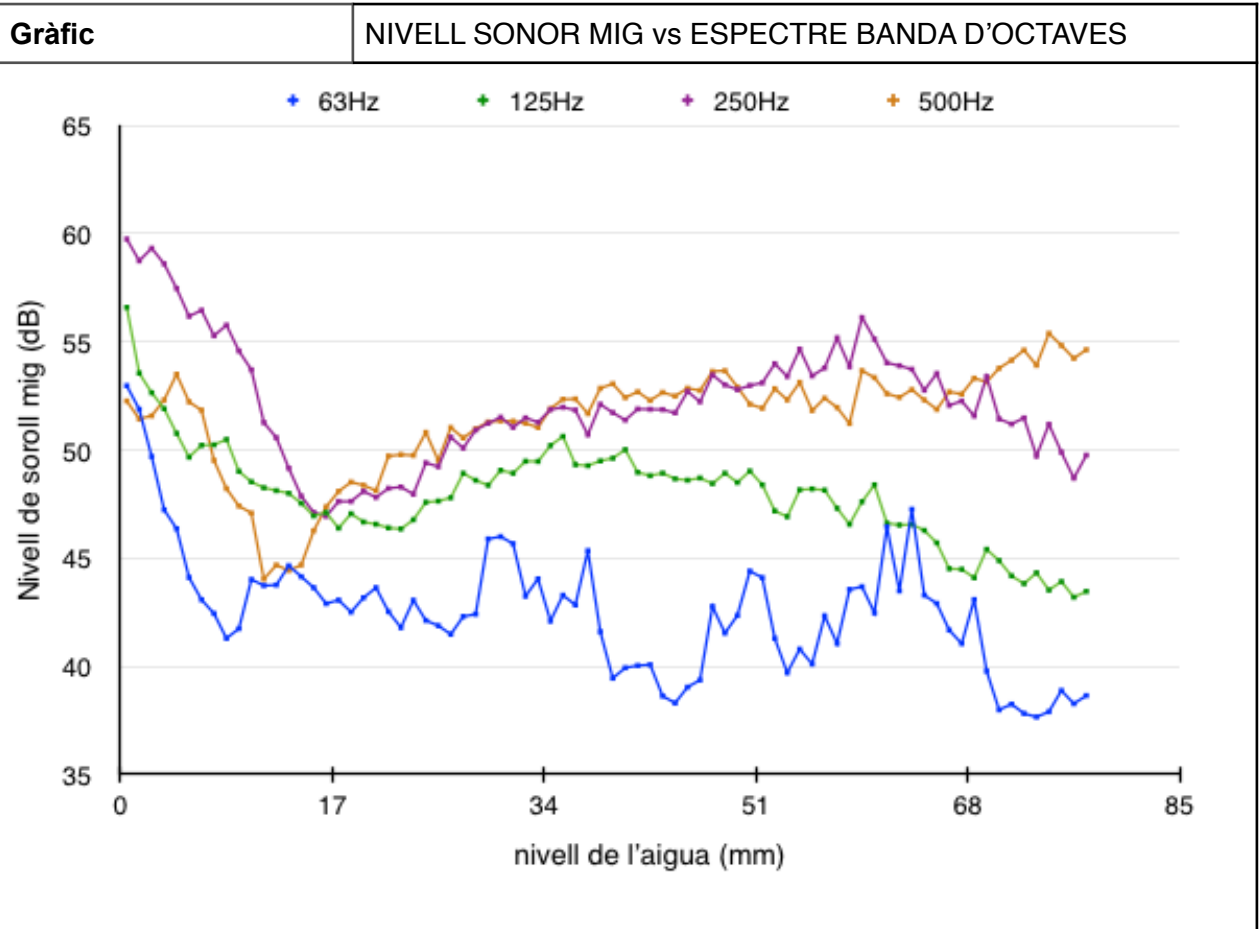


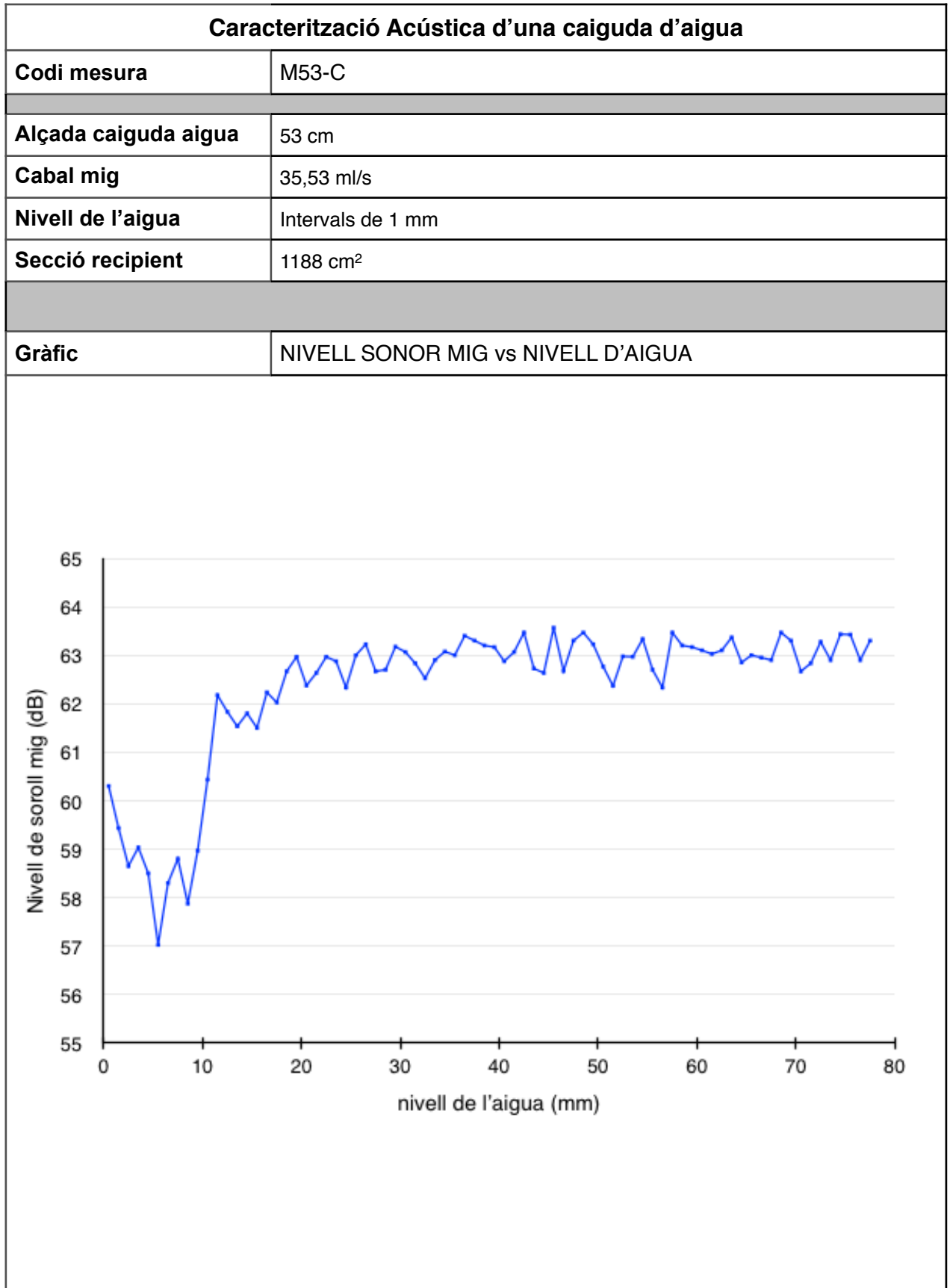
Gràfic

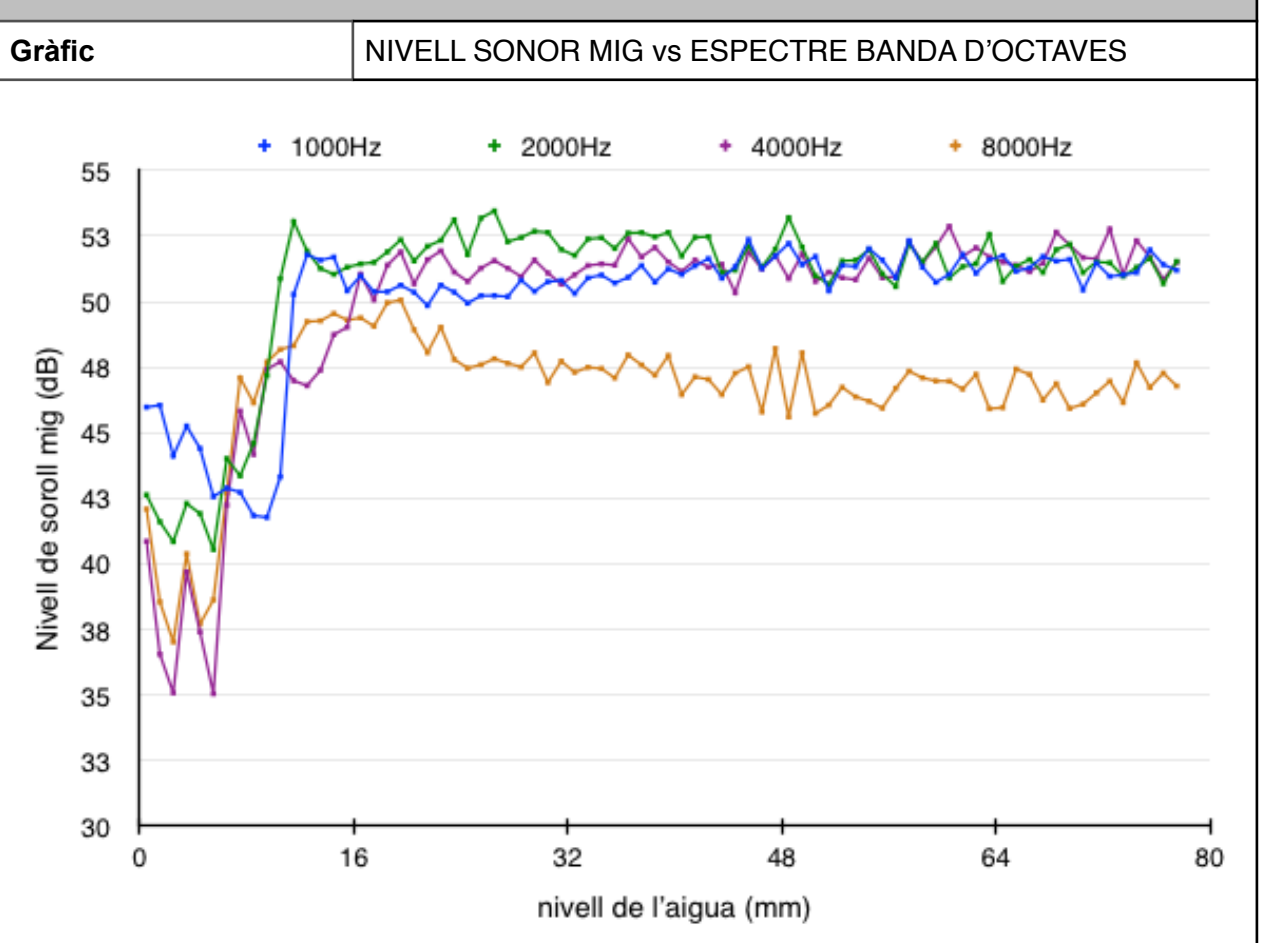
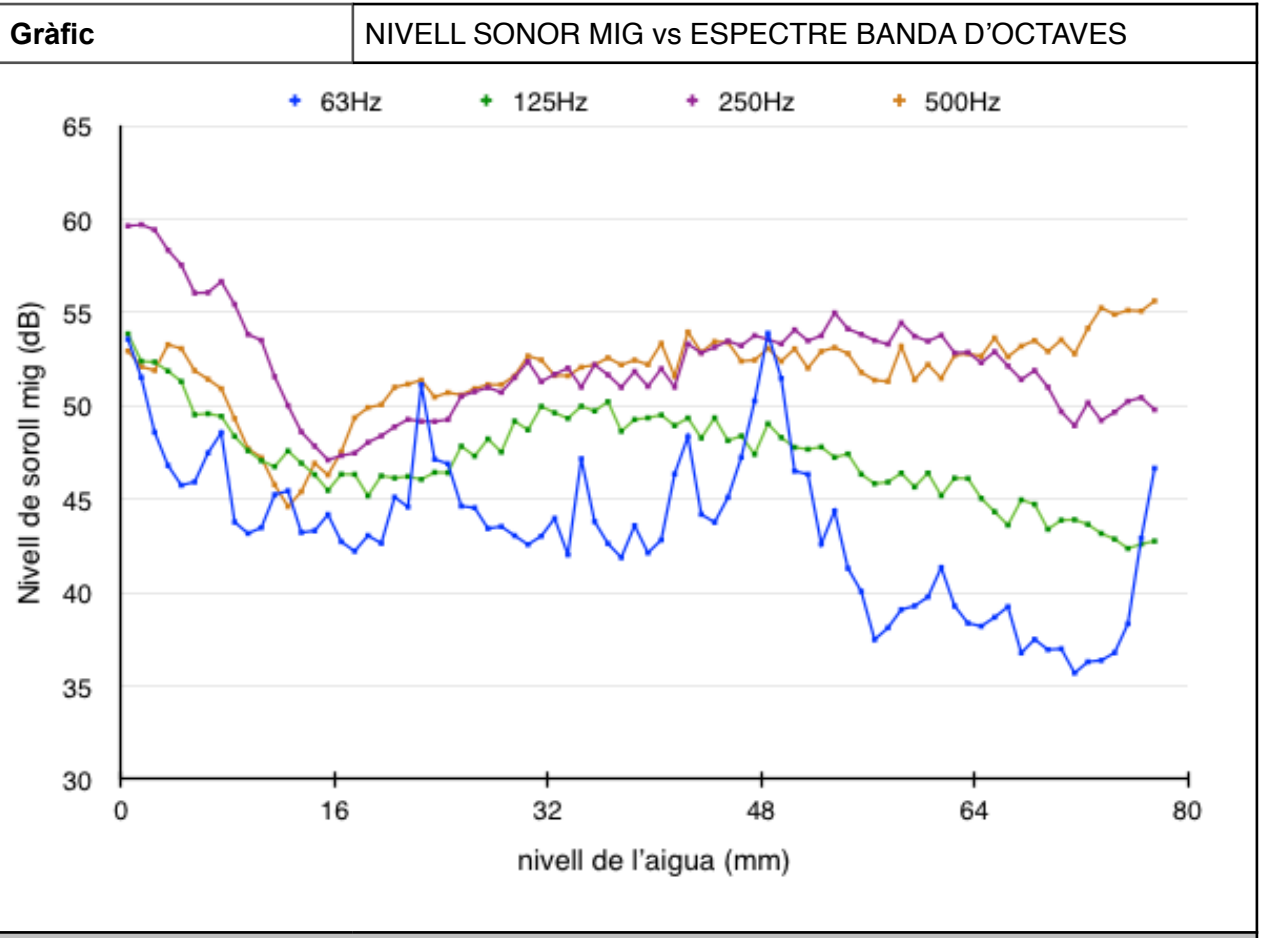
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

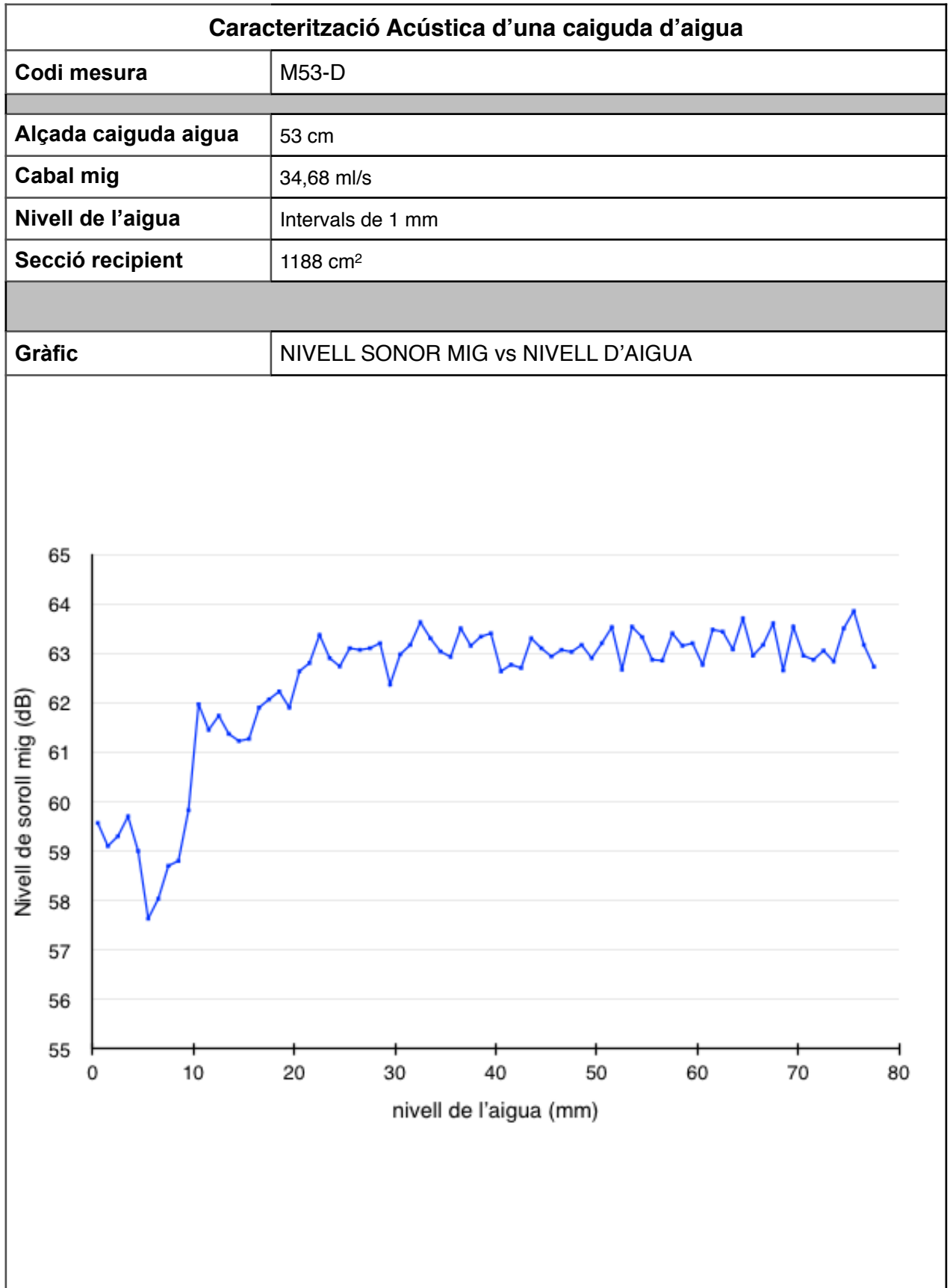


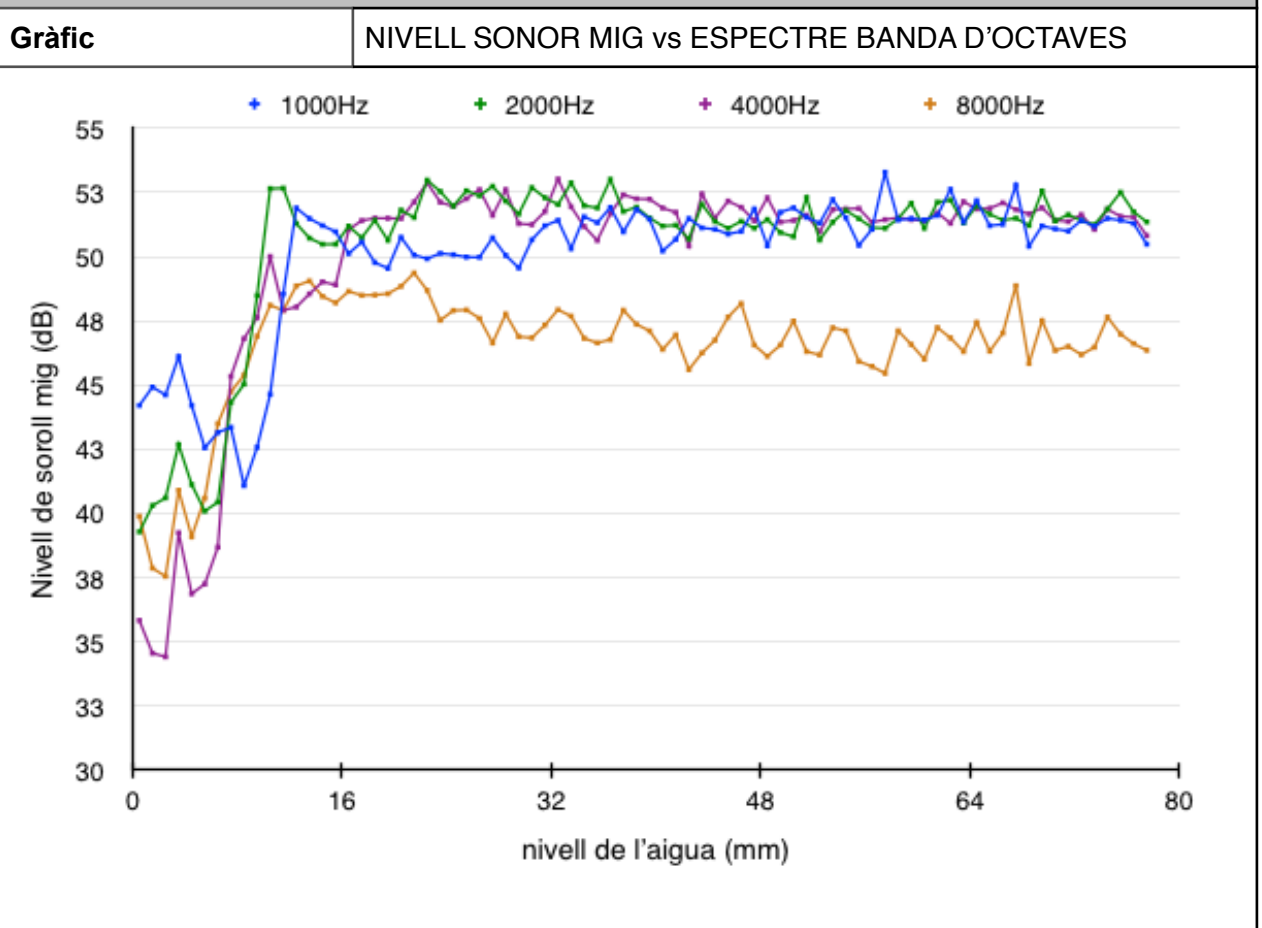
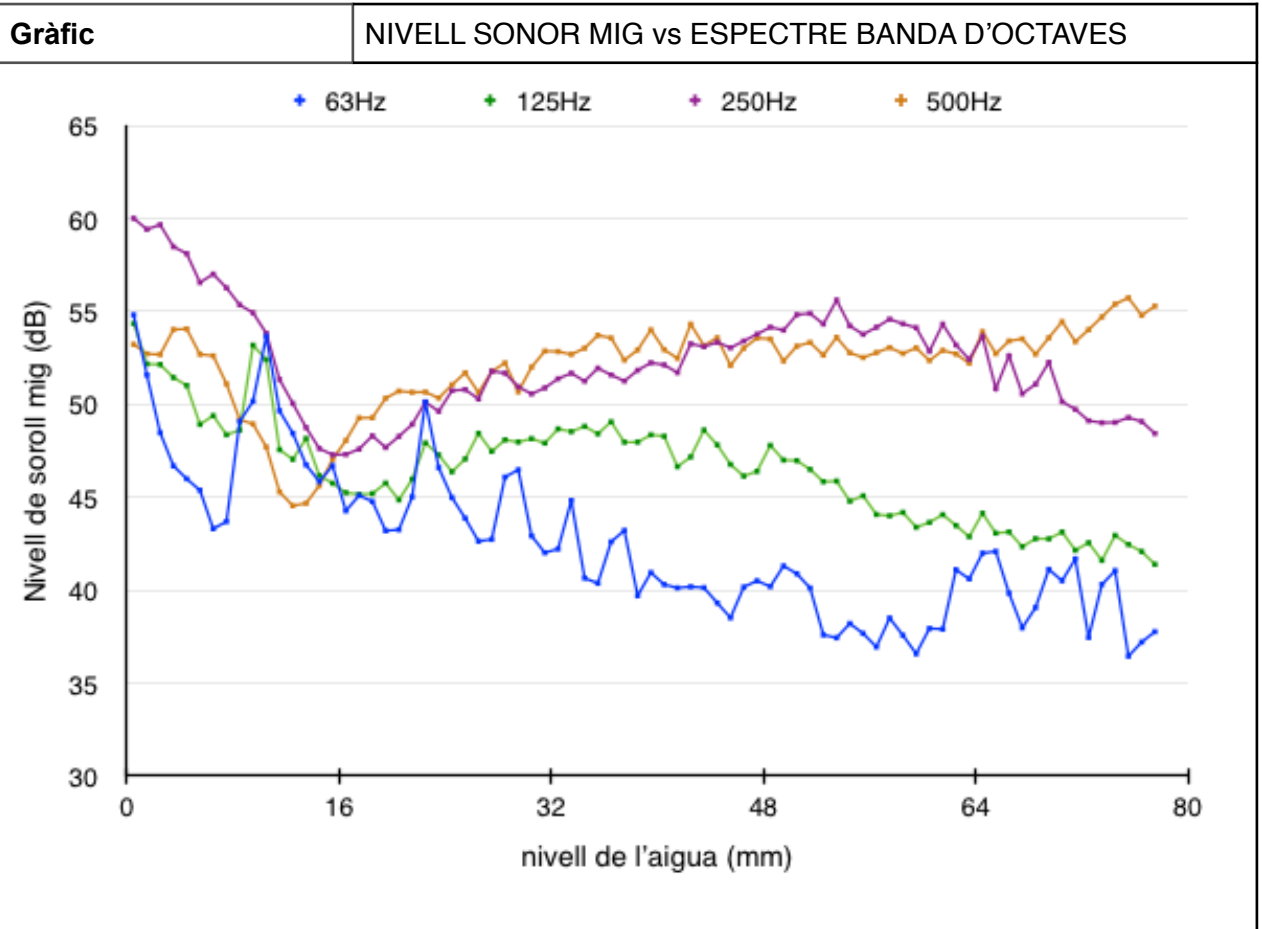


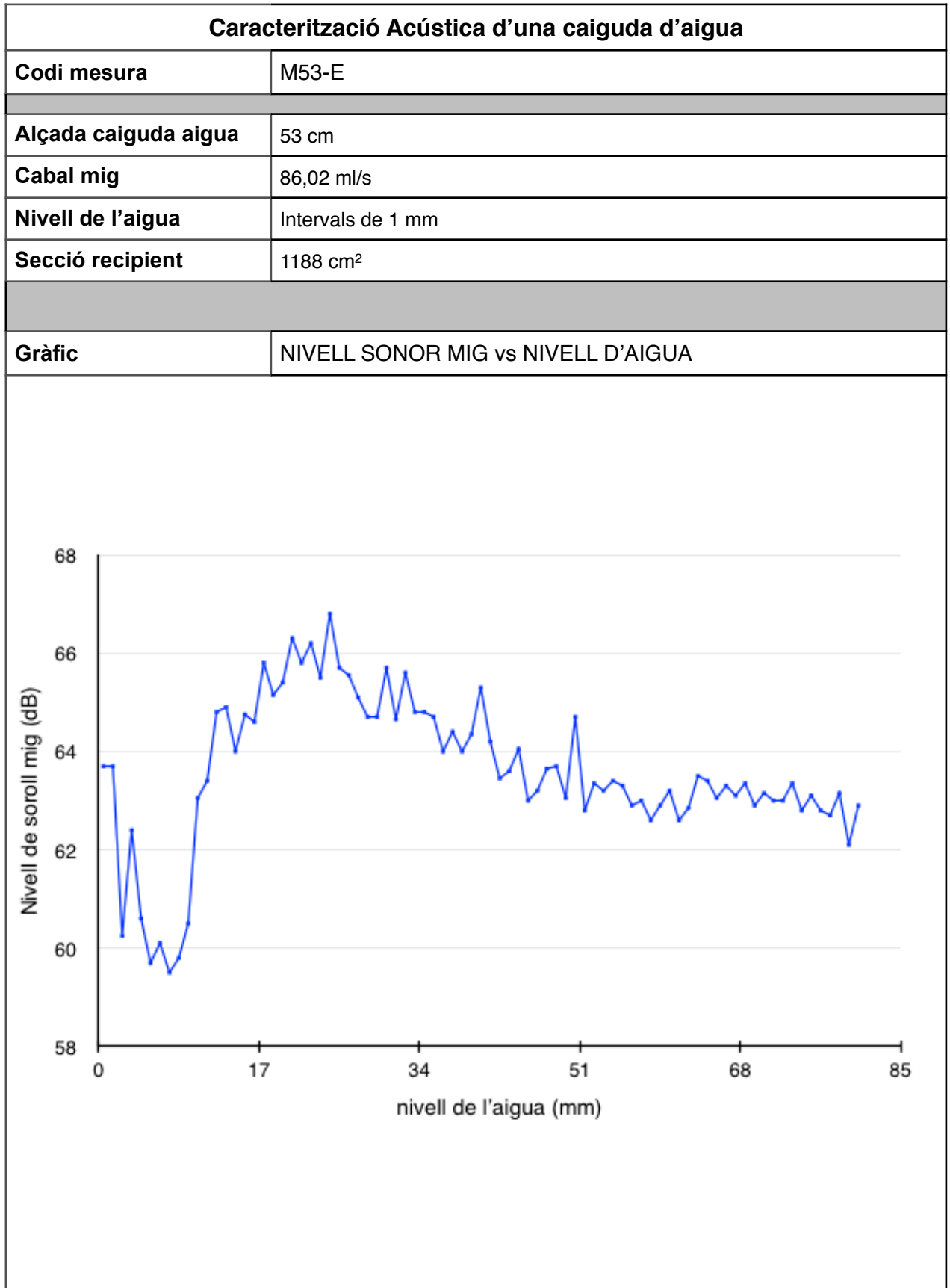


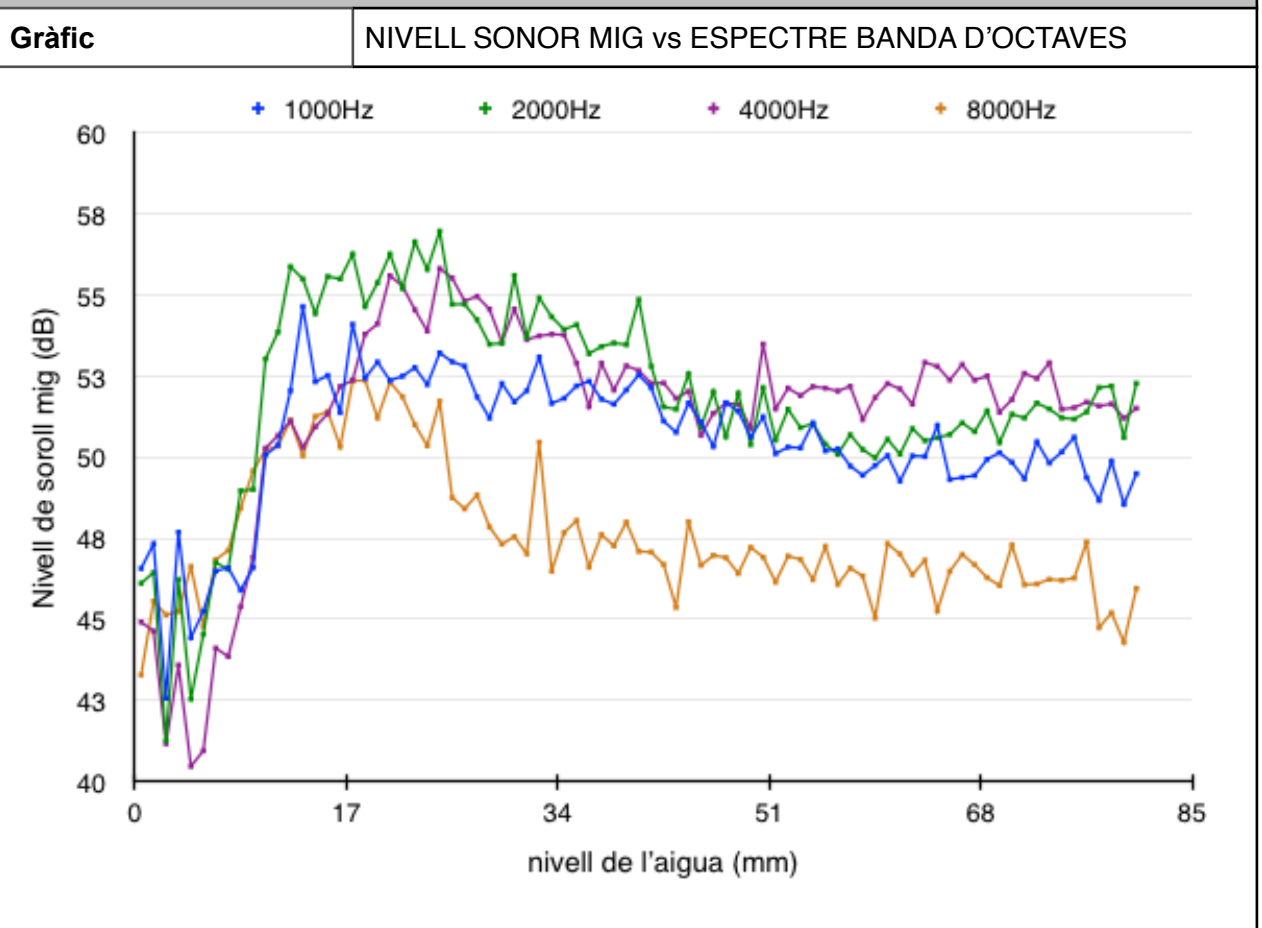
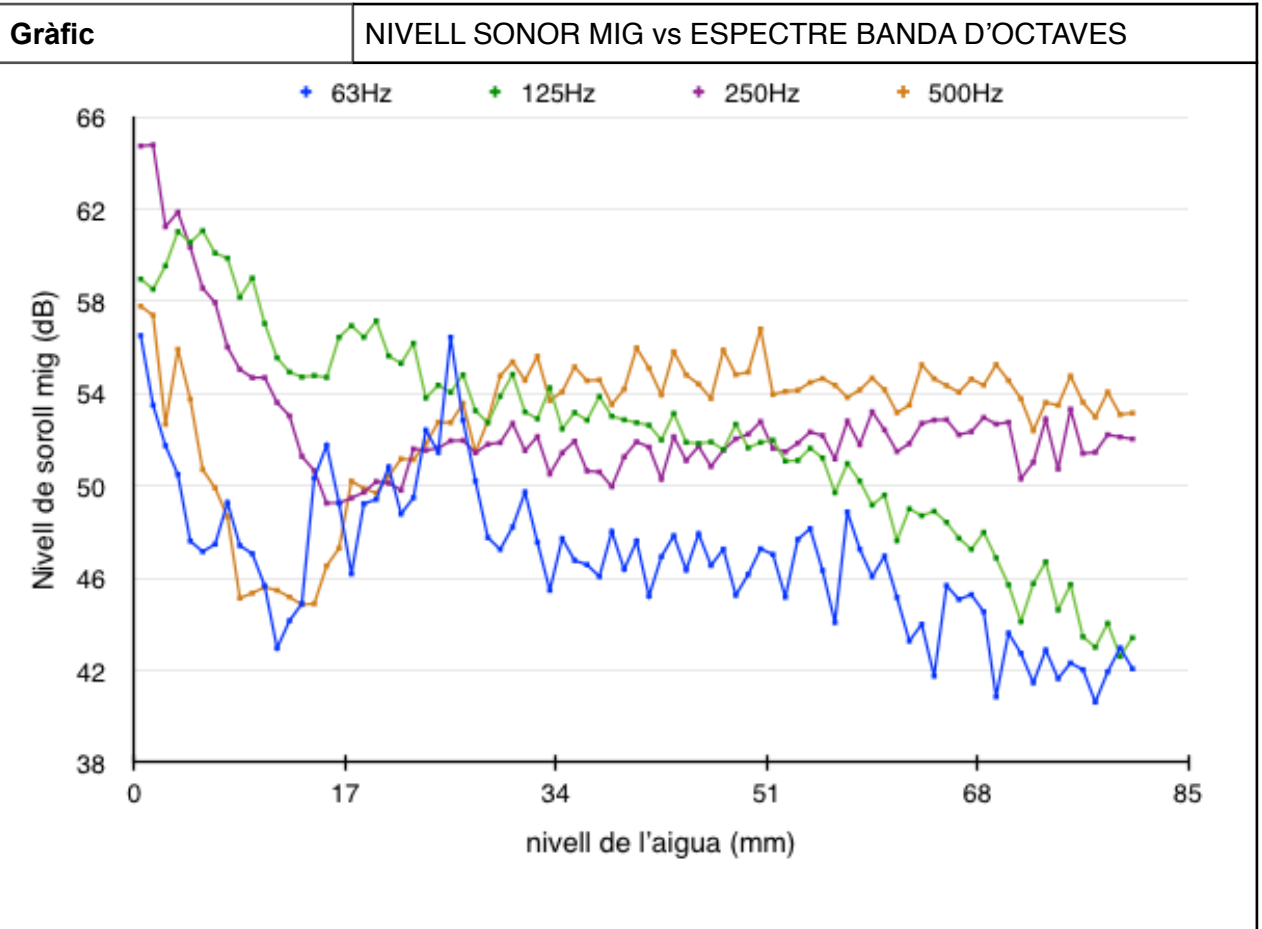


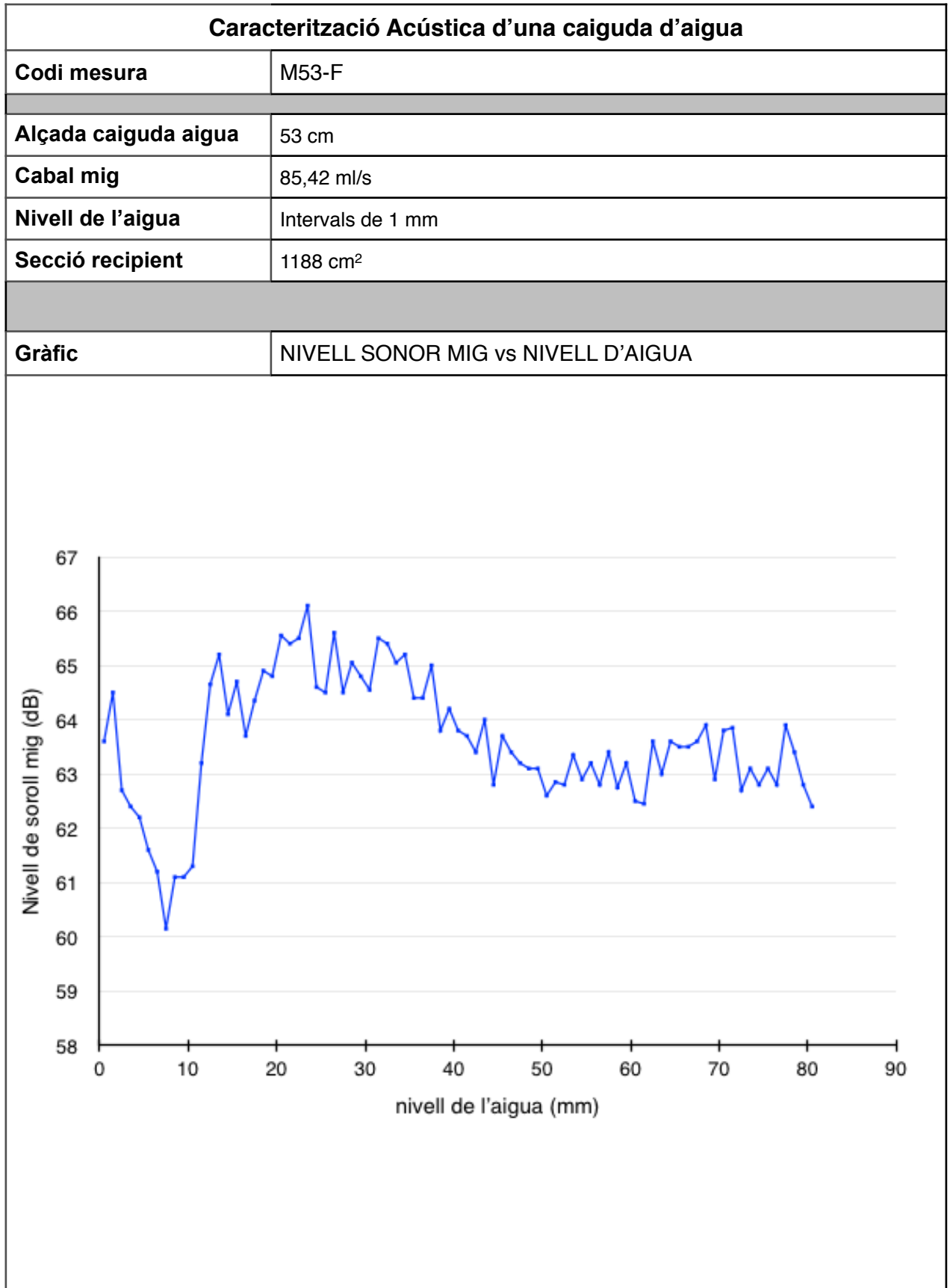


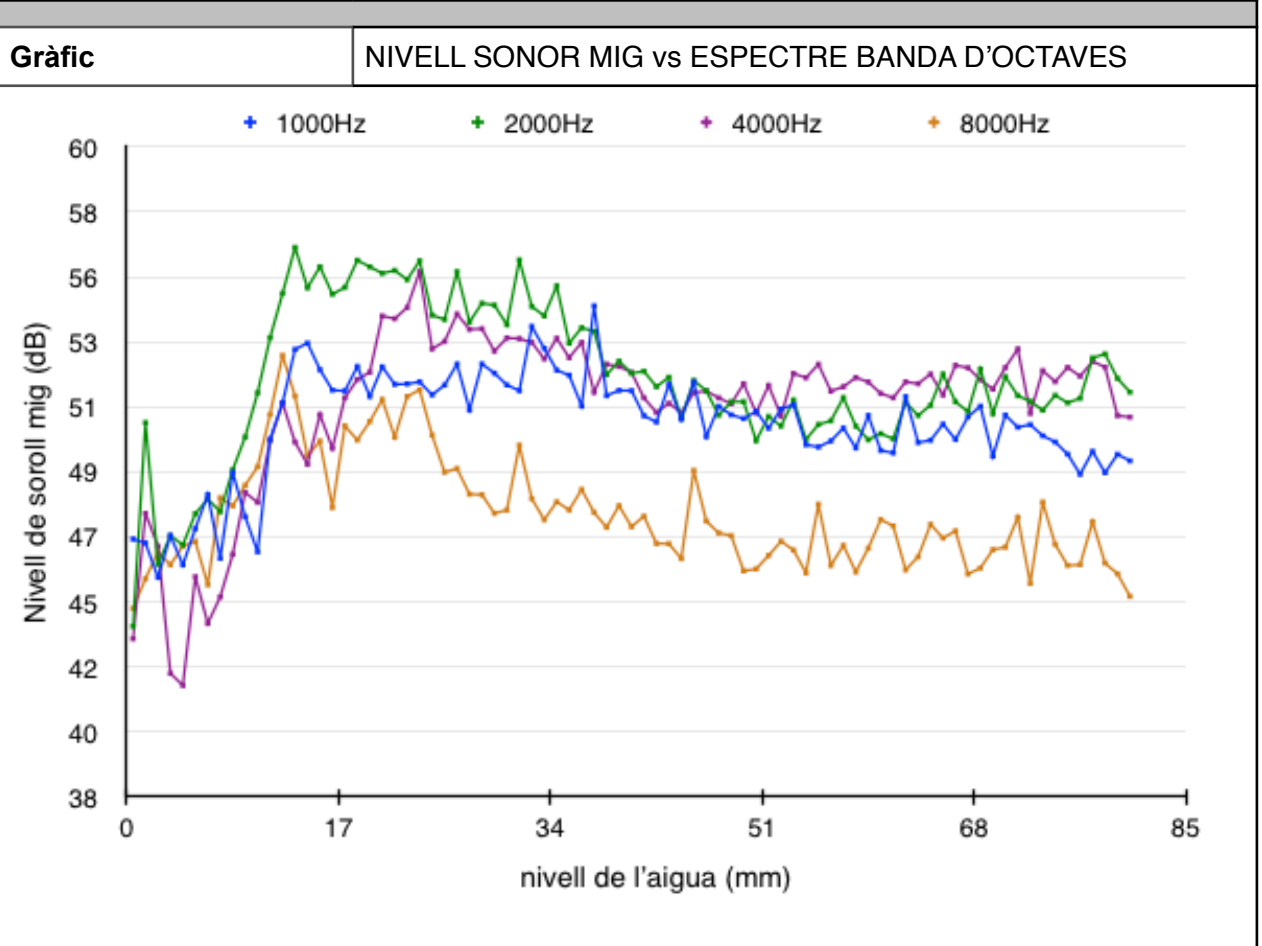
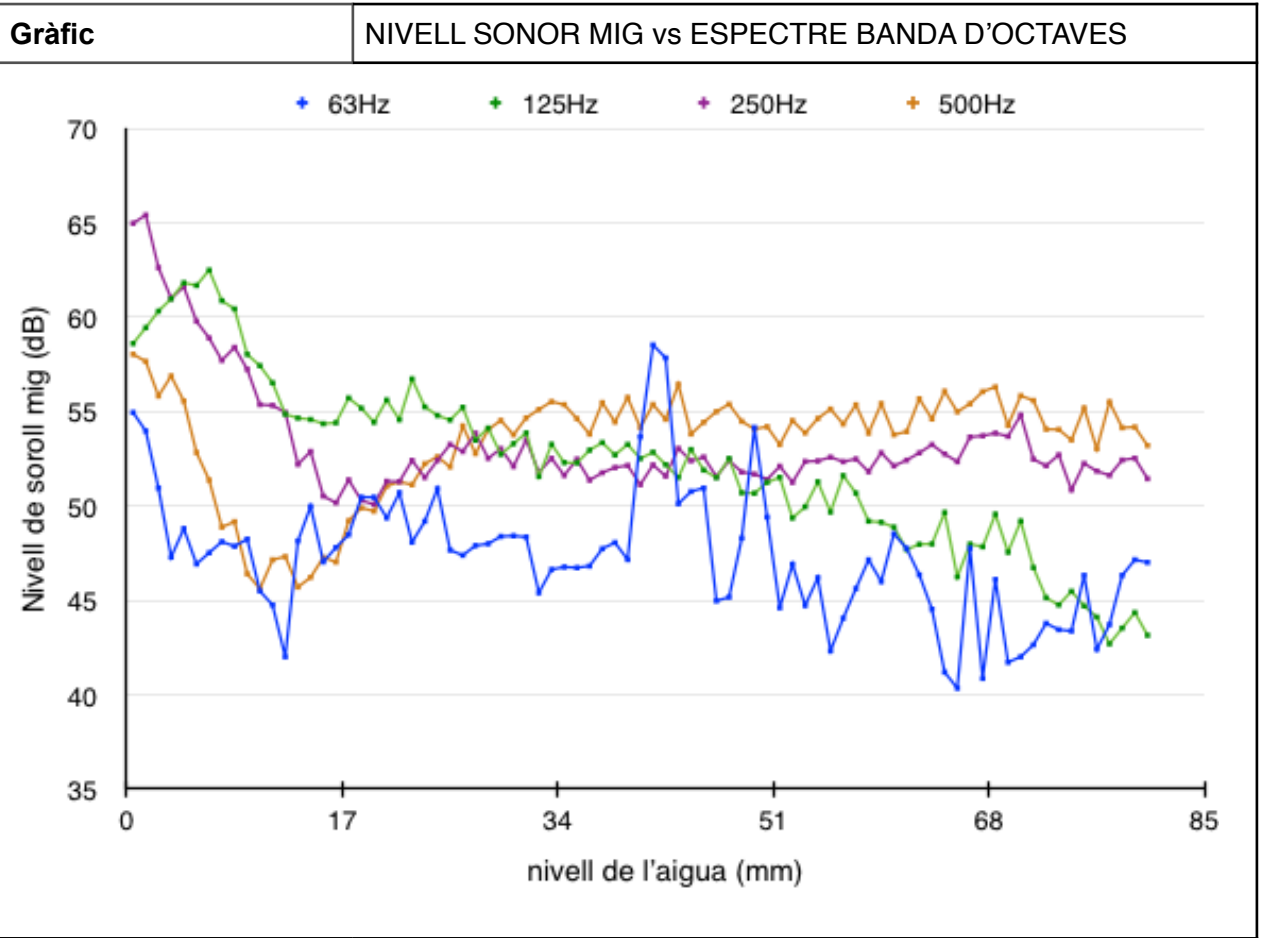


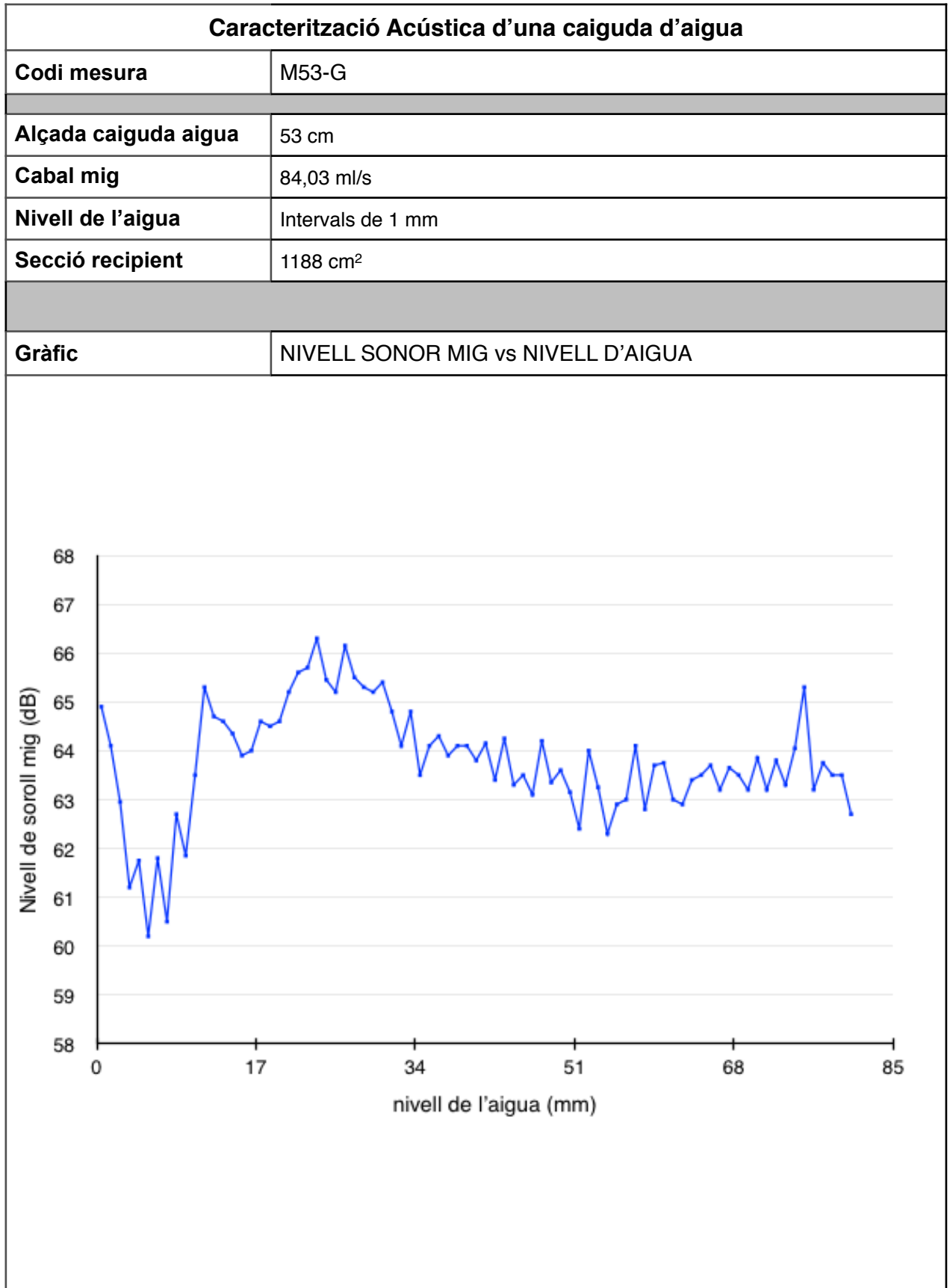


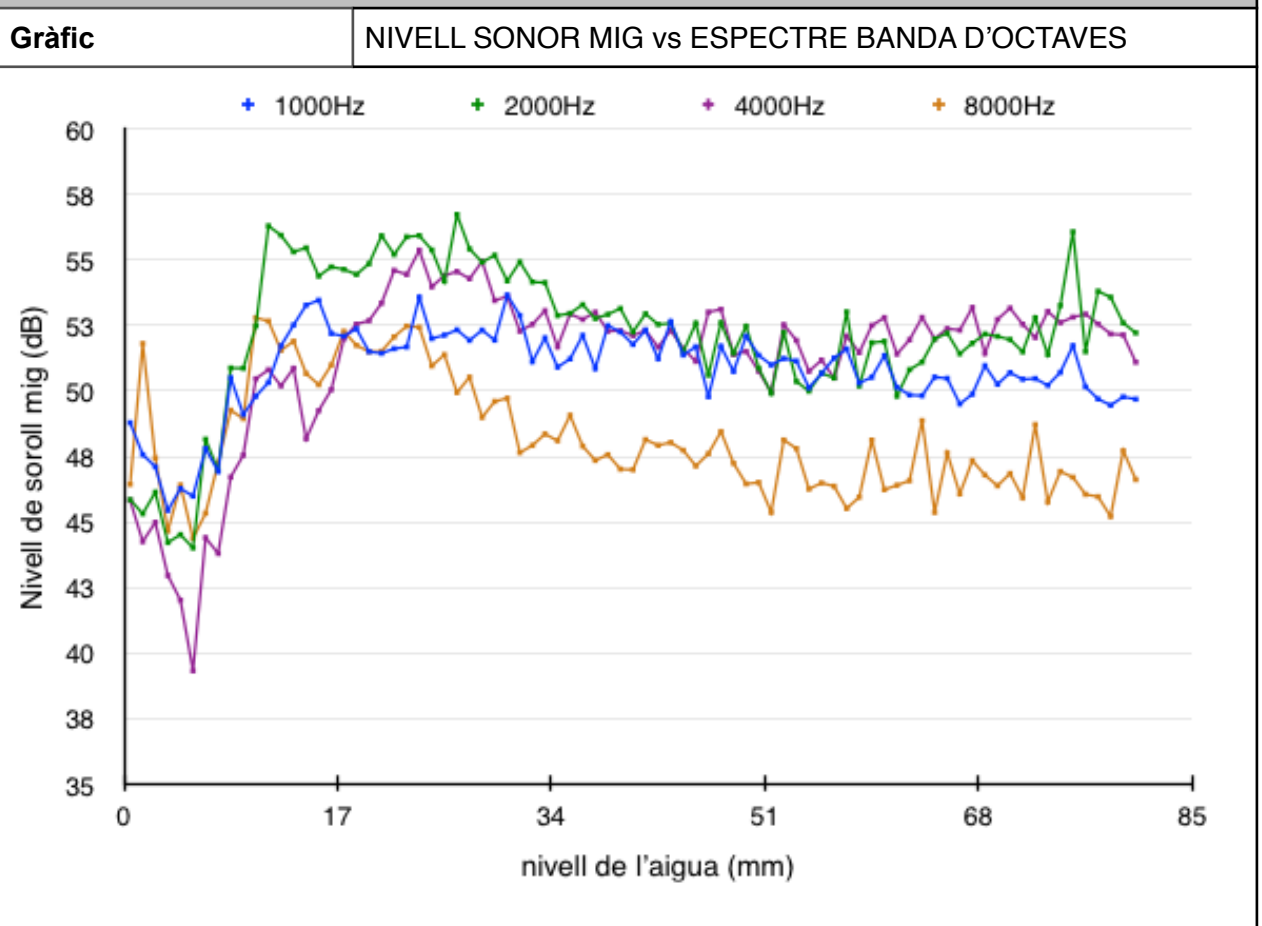
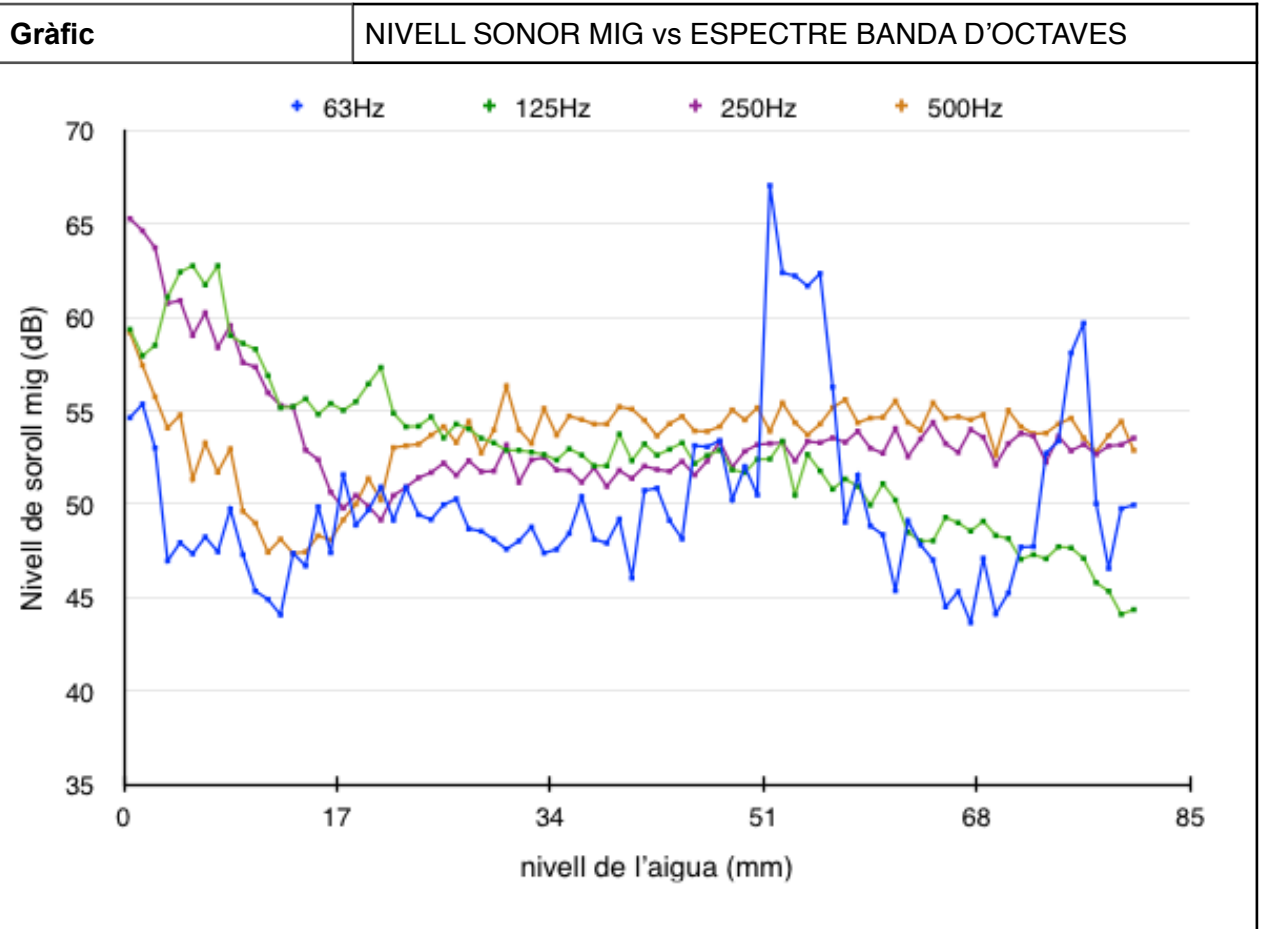


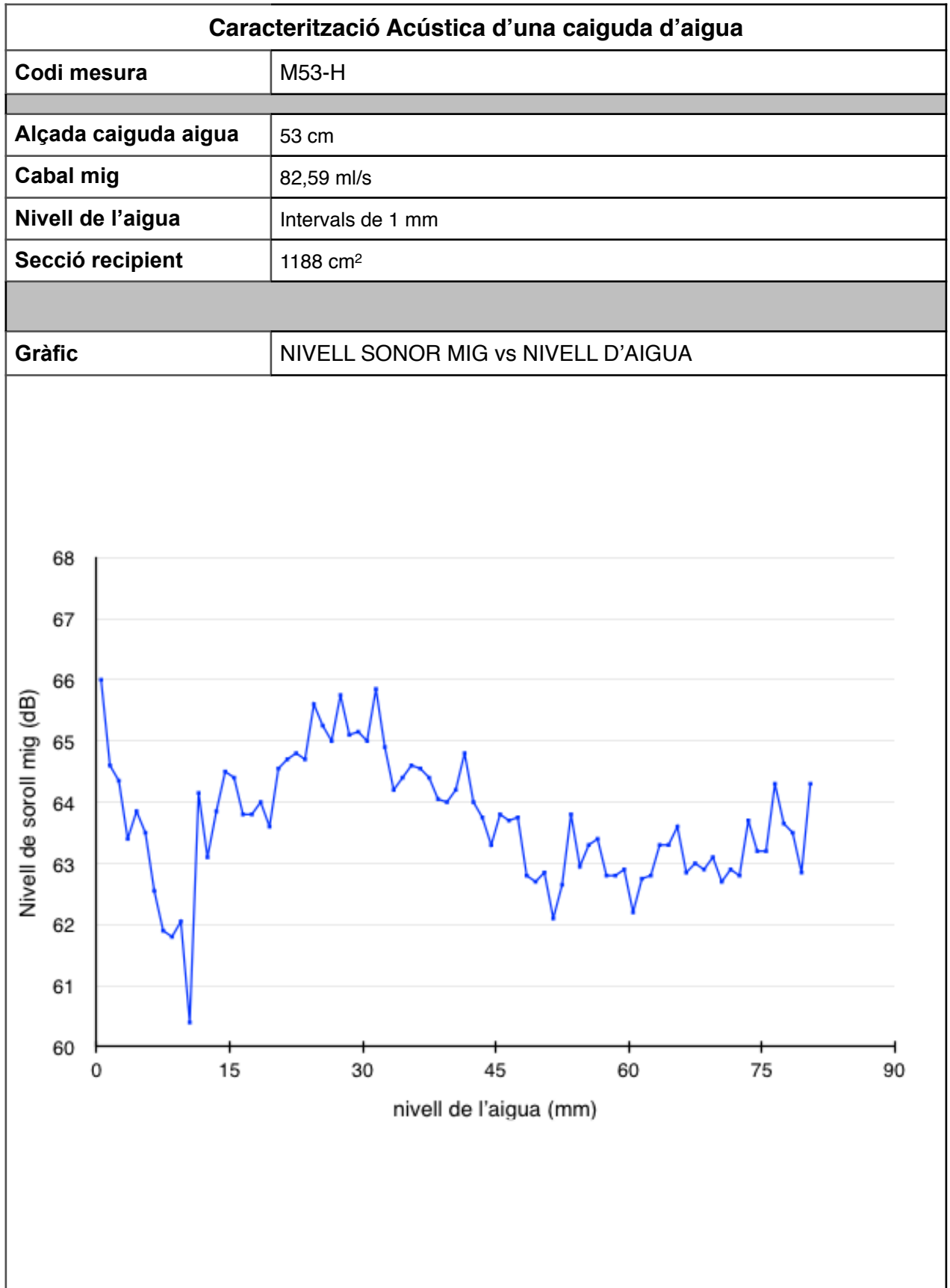


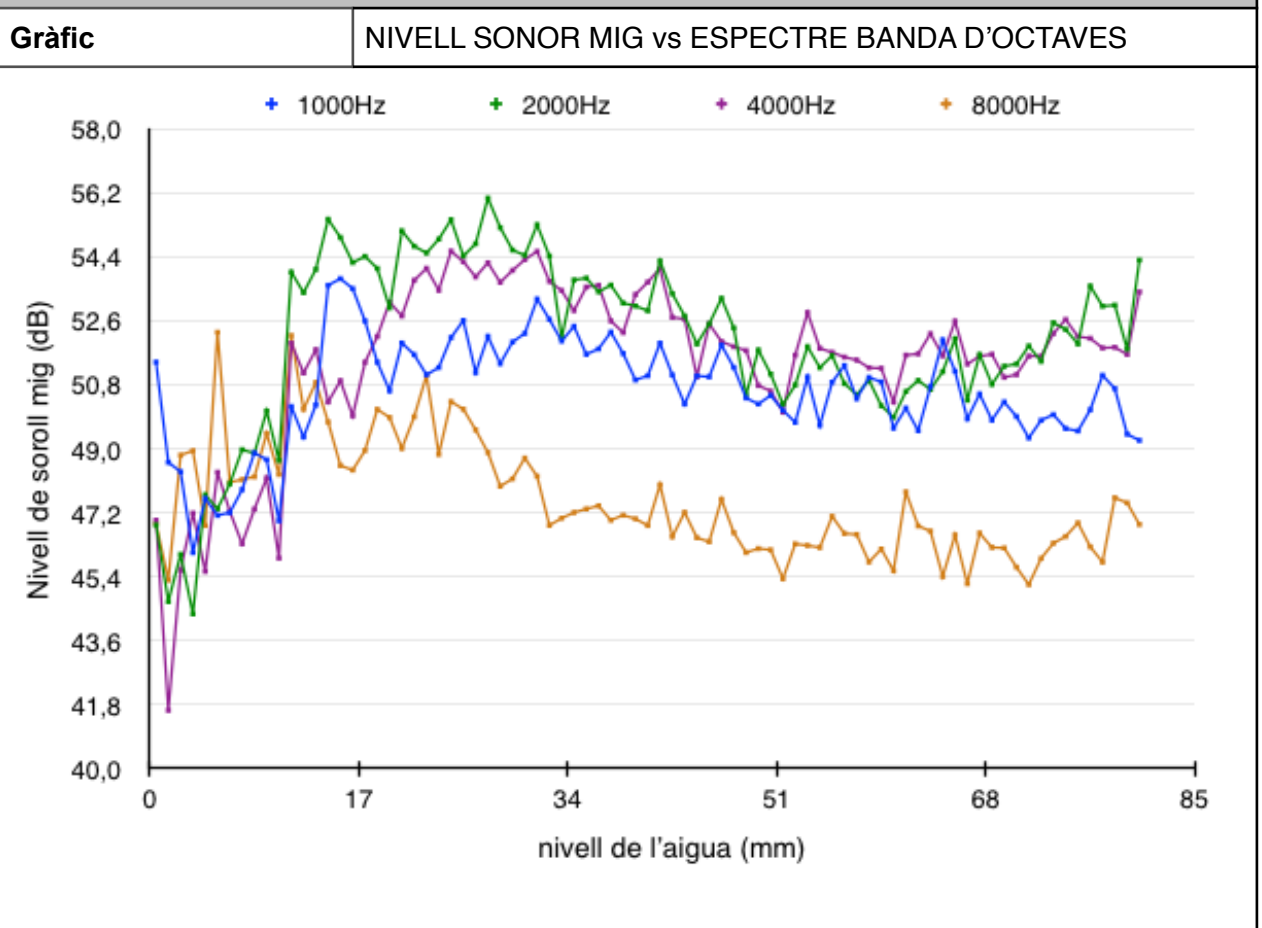
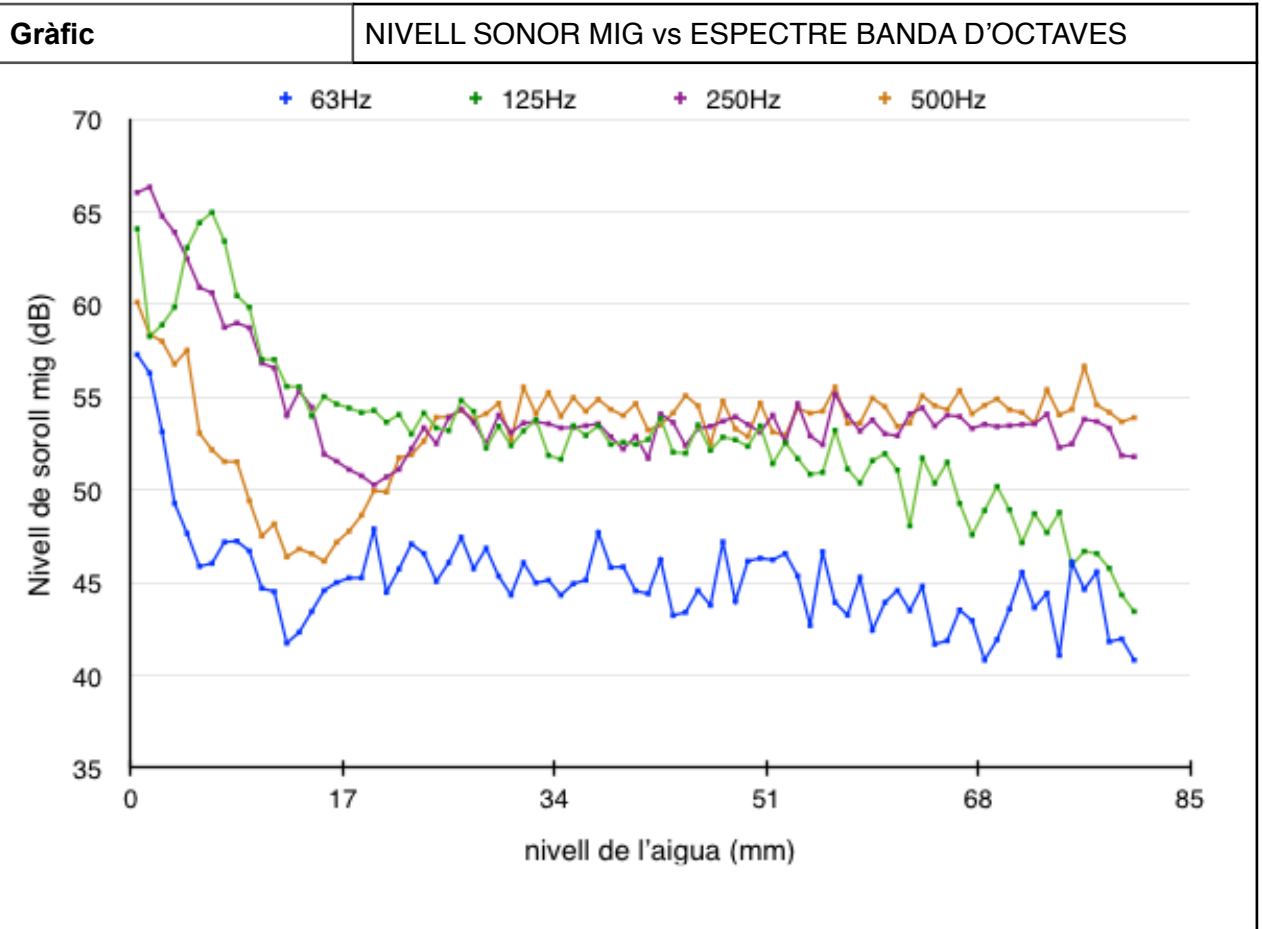


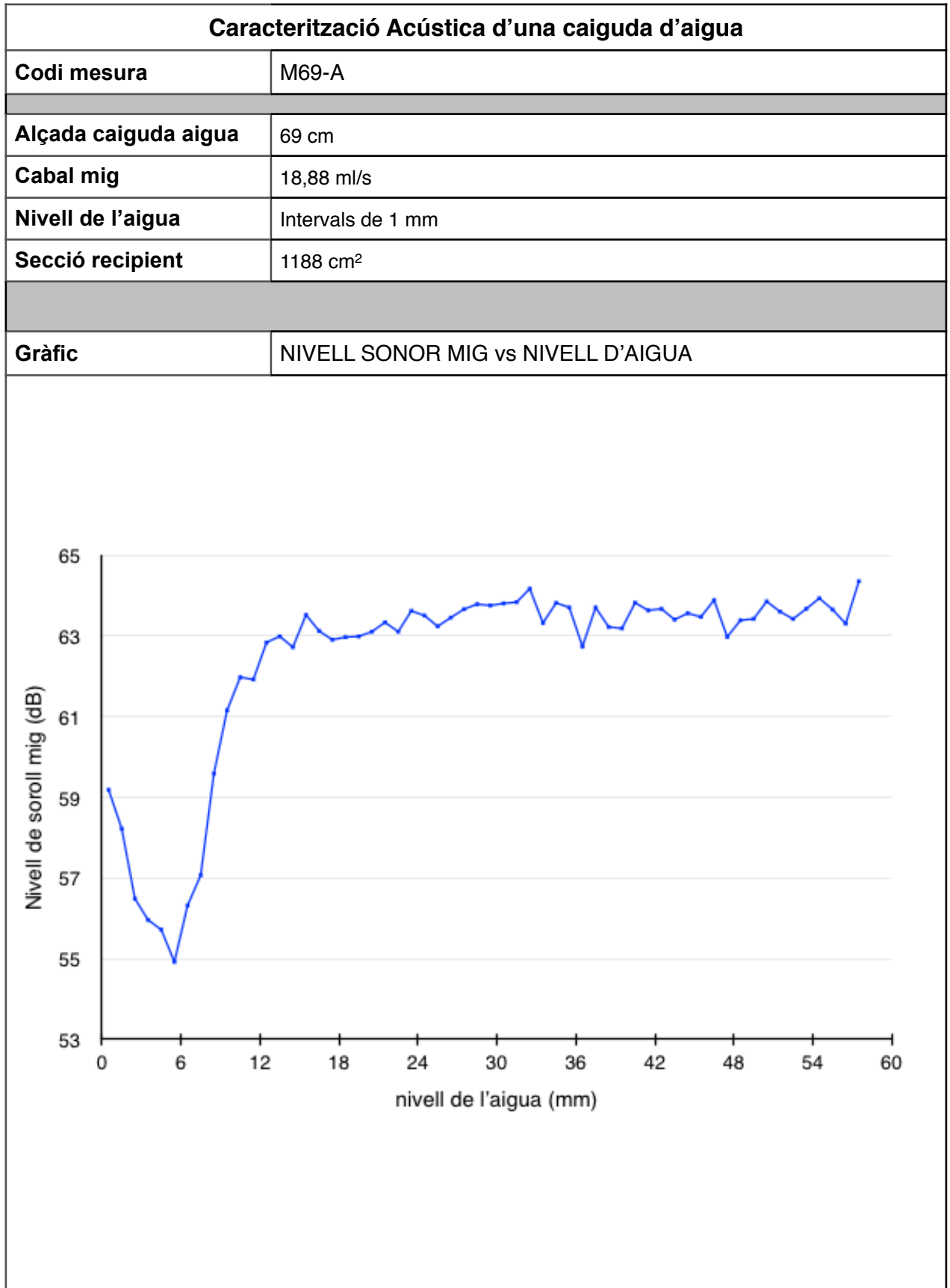




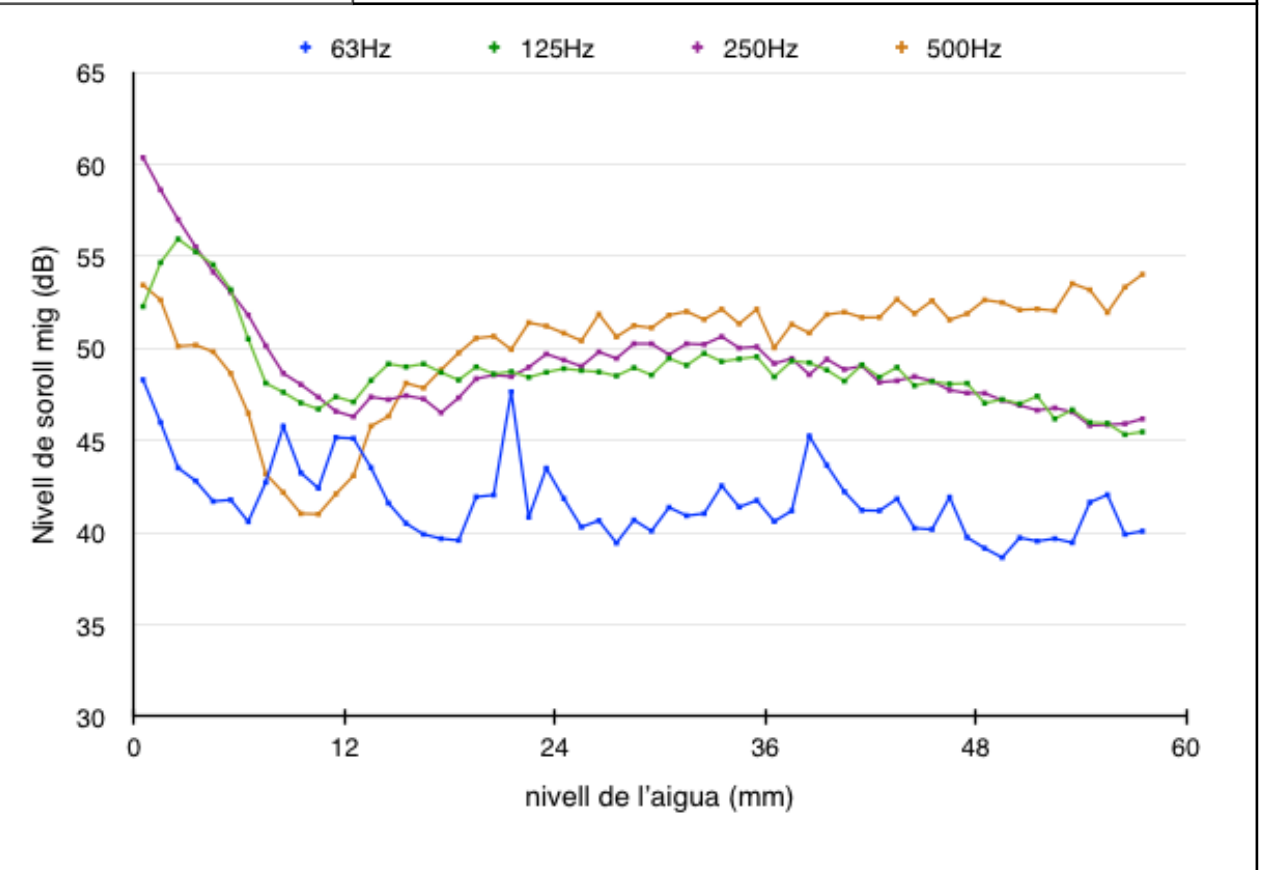




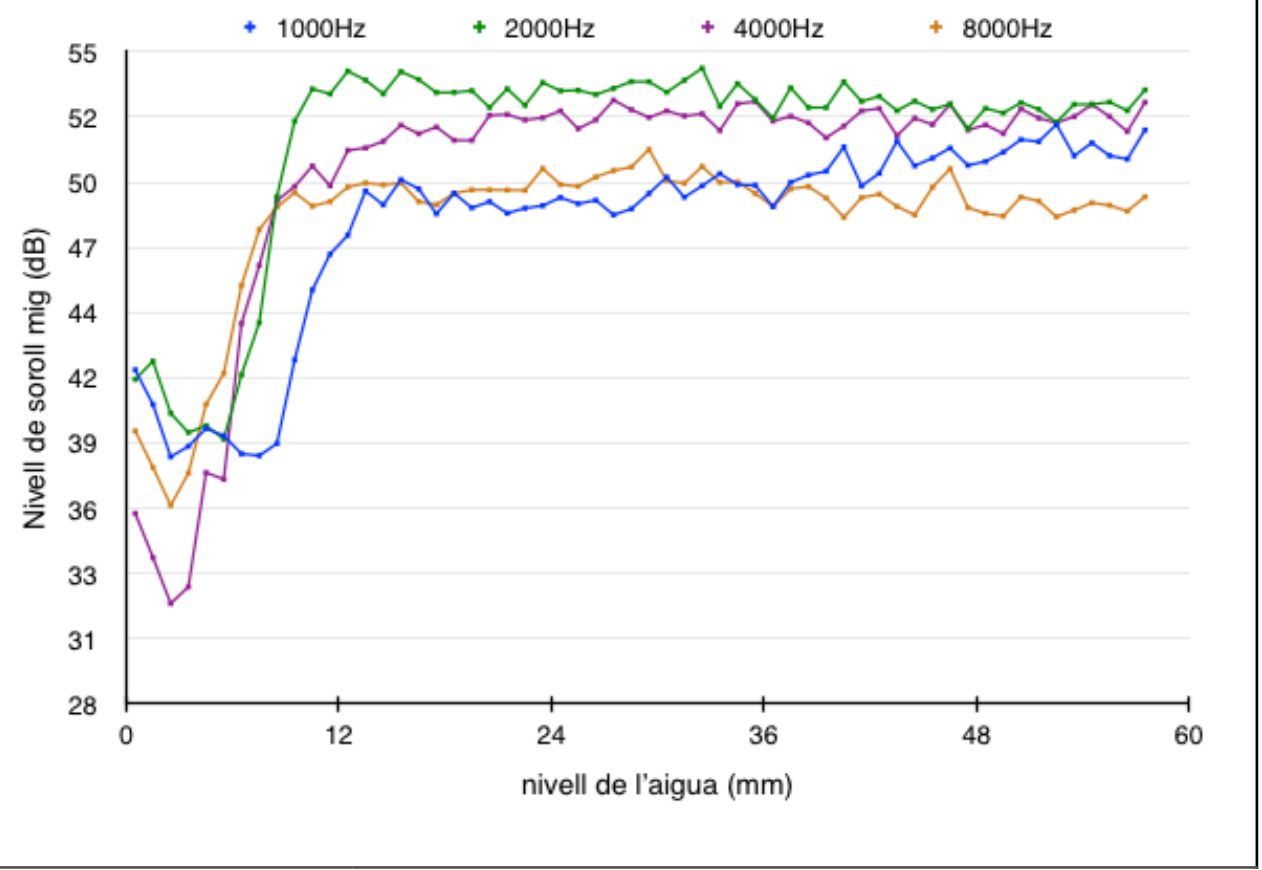


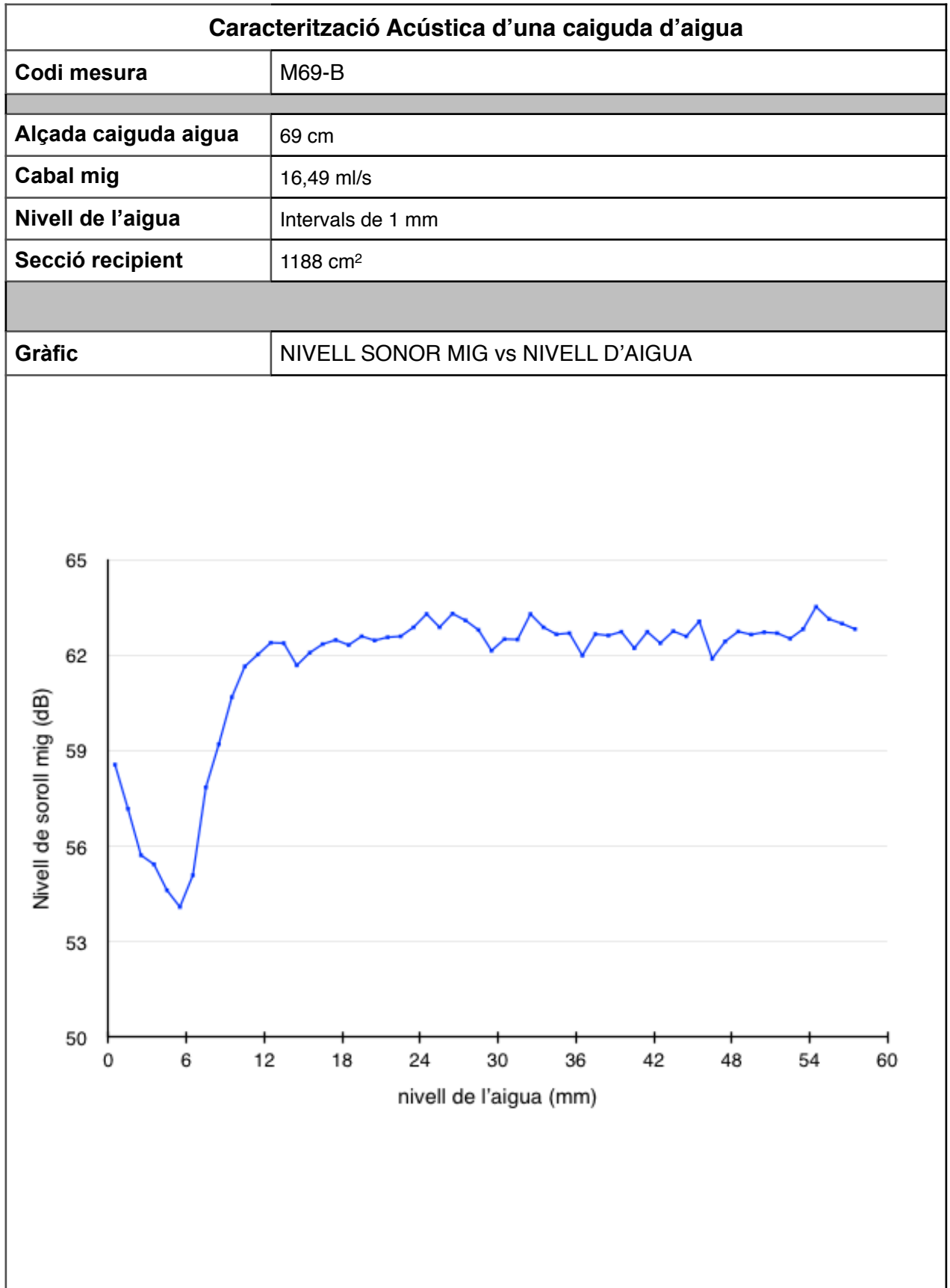


Gràfic NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



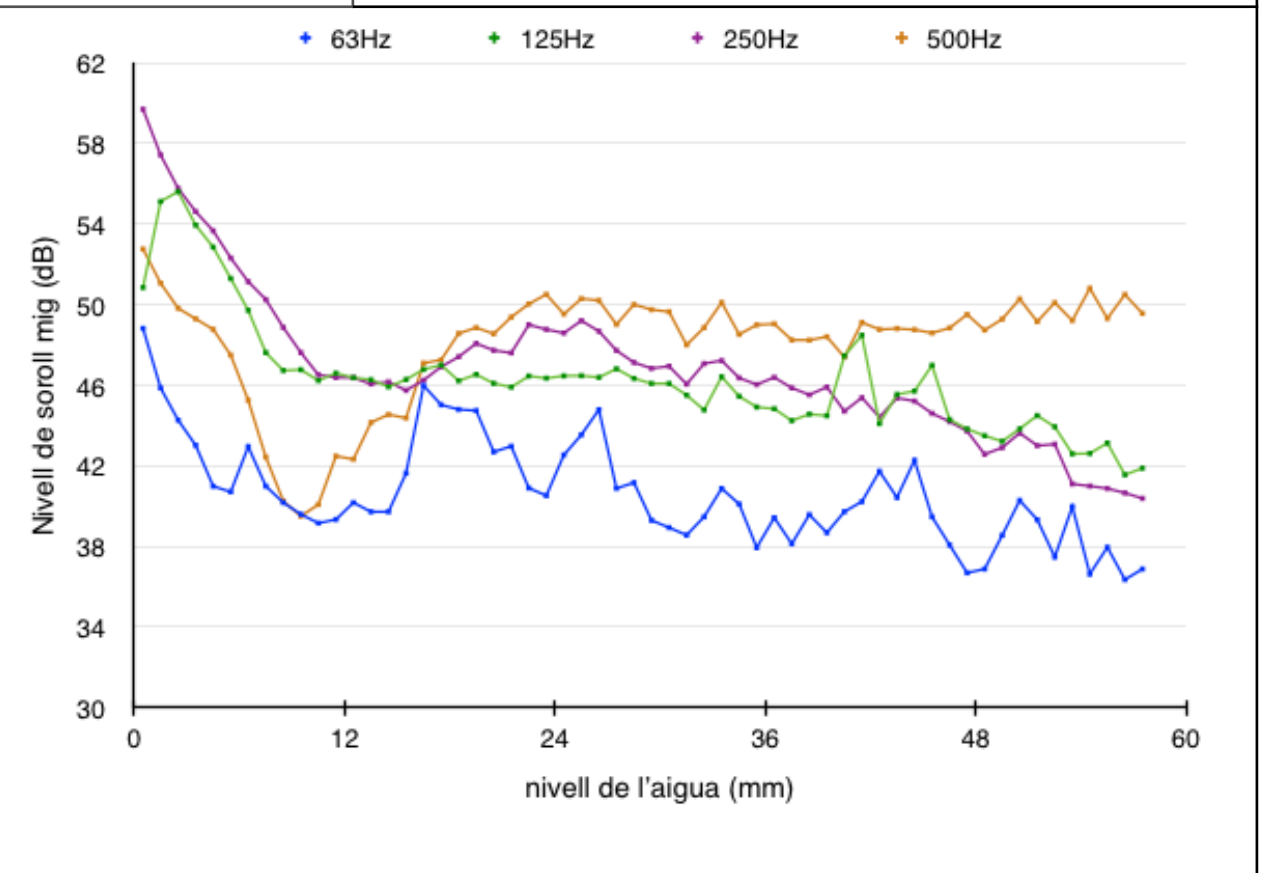
Gràfic NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES





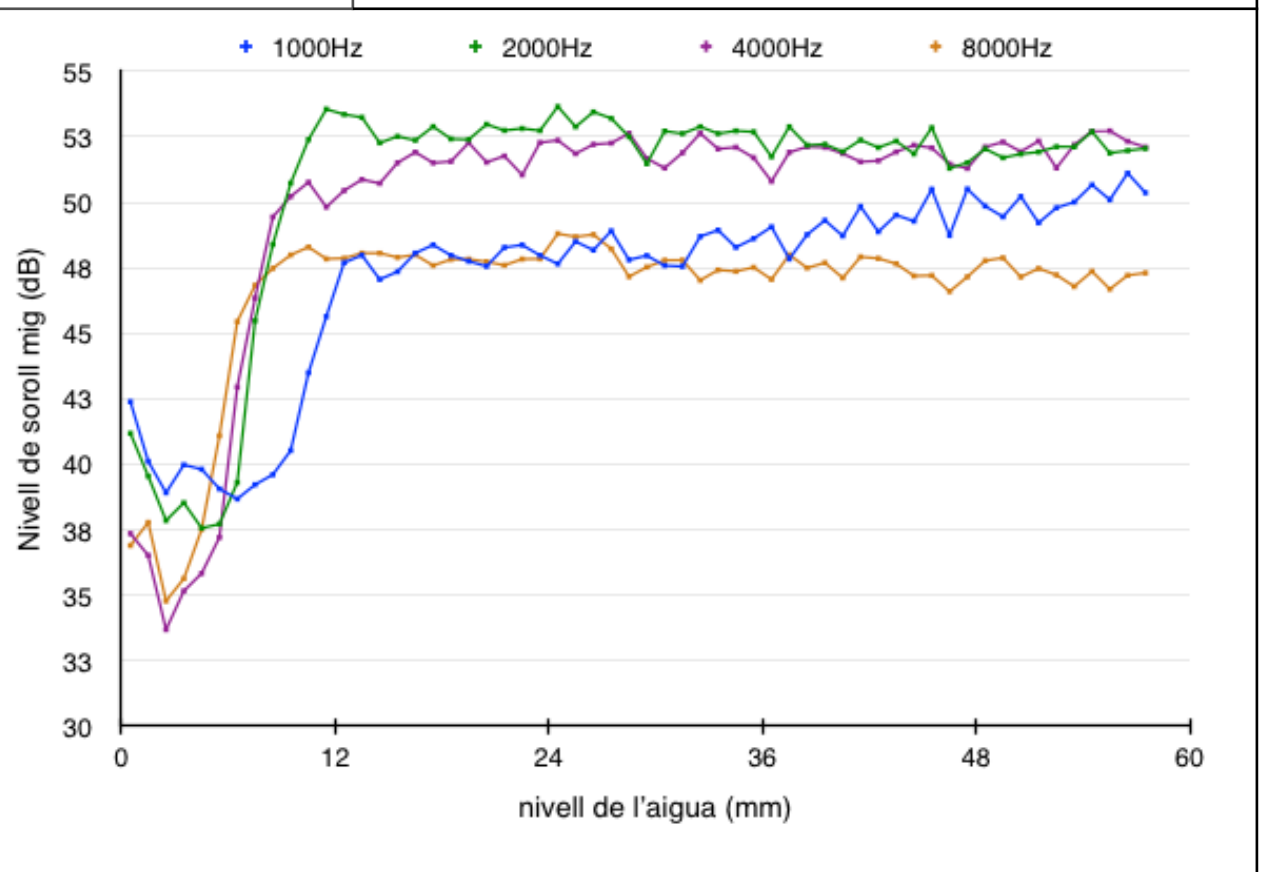
Gràfic

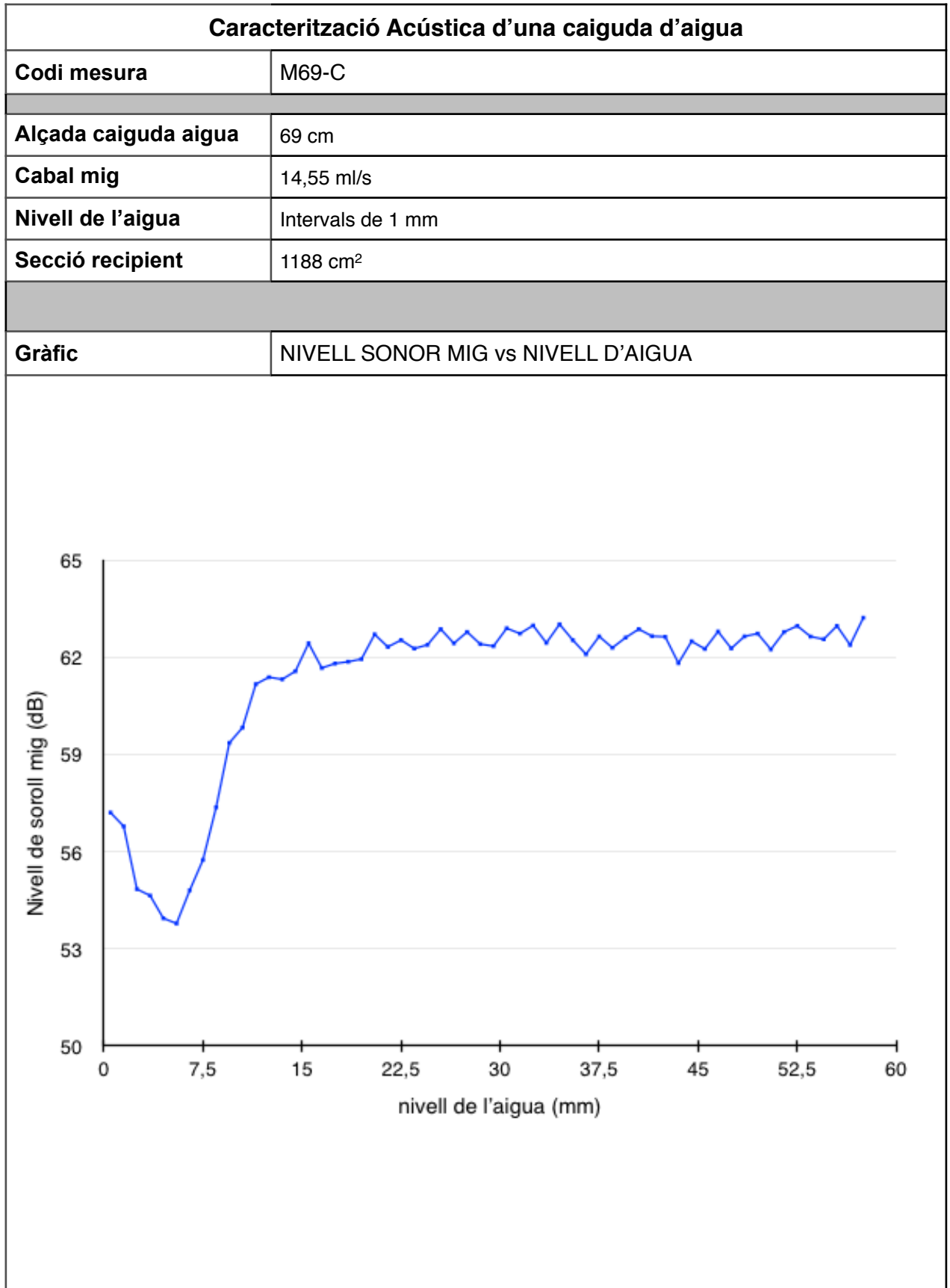
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

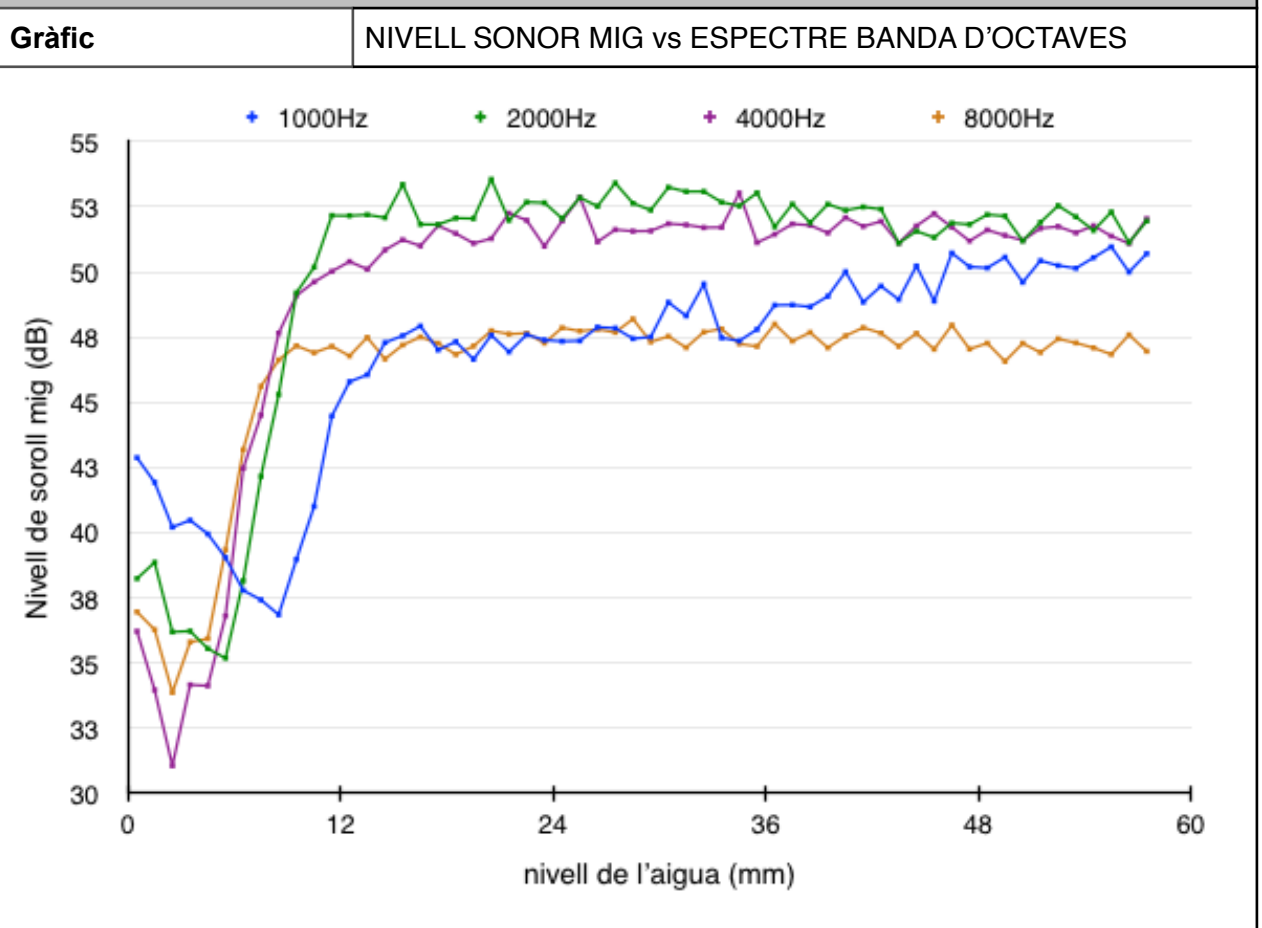
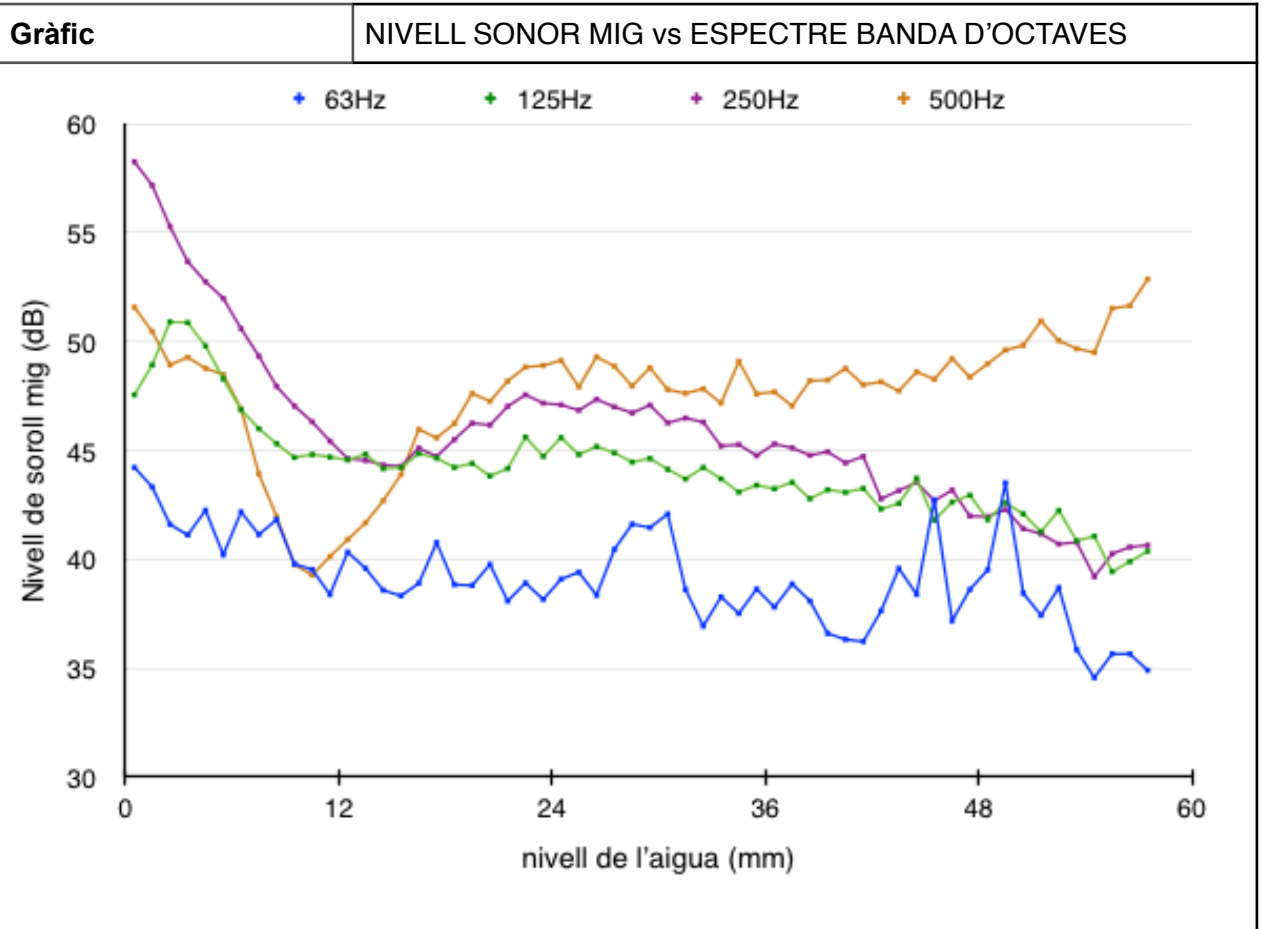


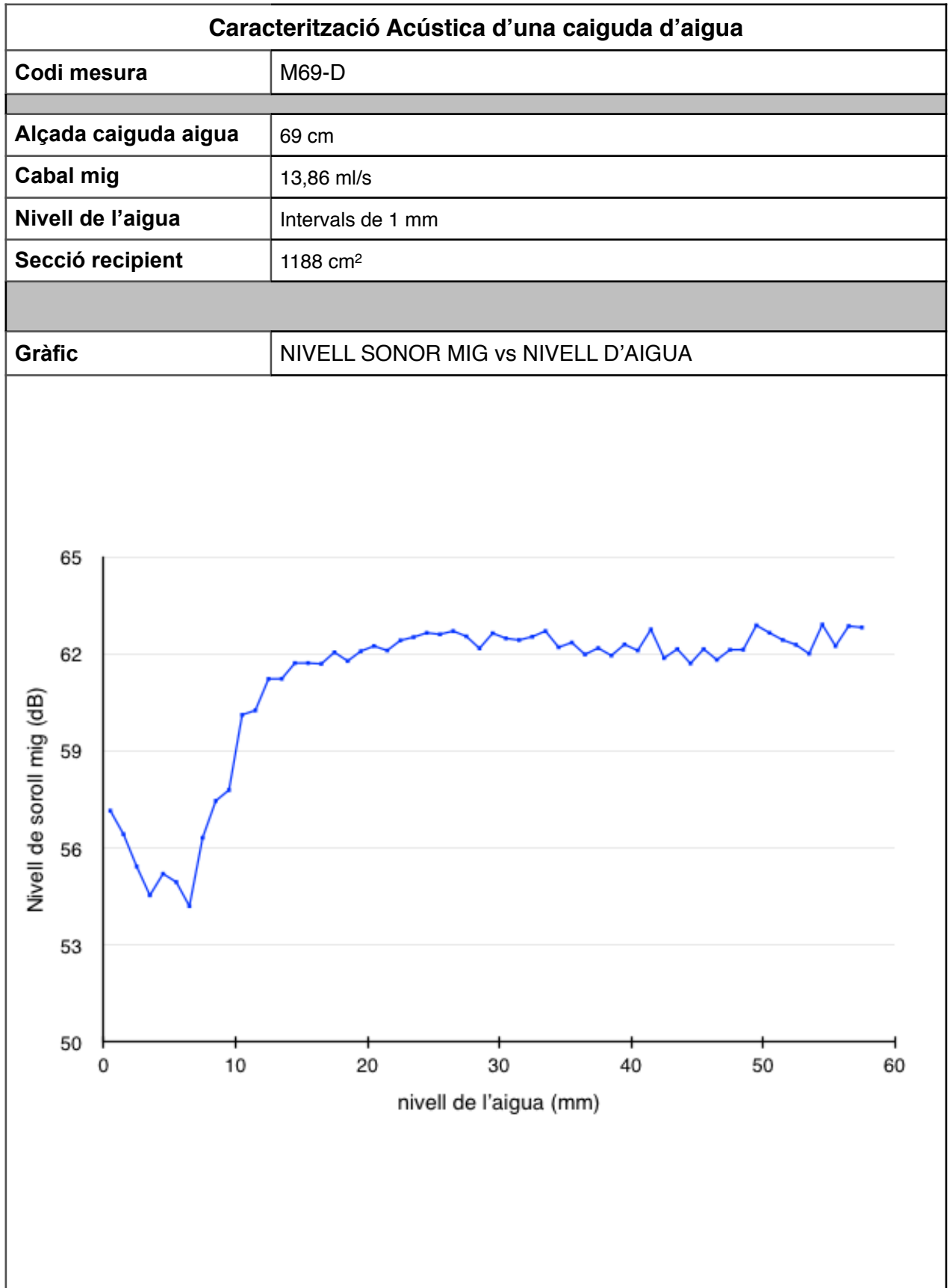
Gràfic

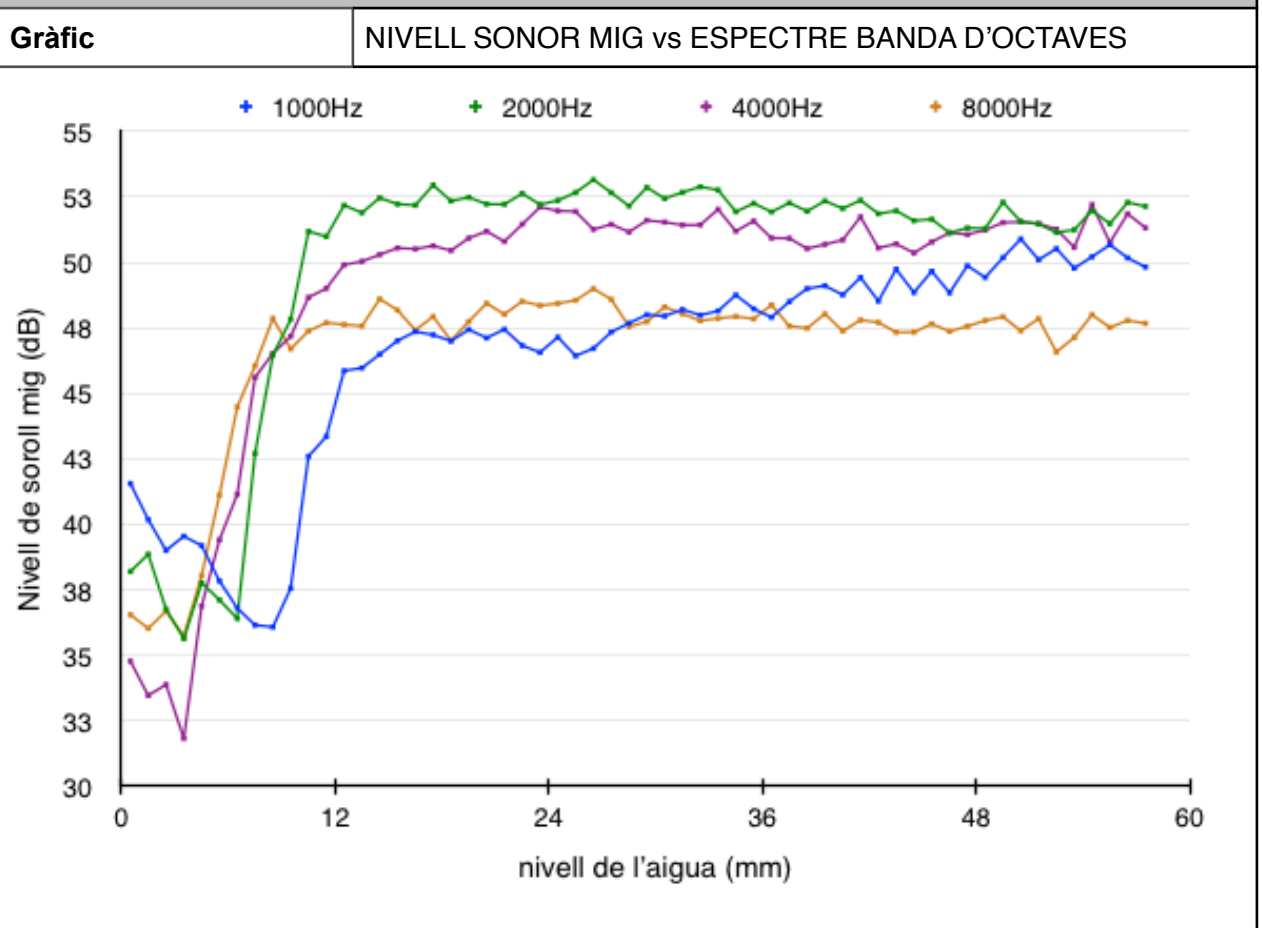
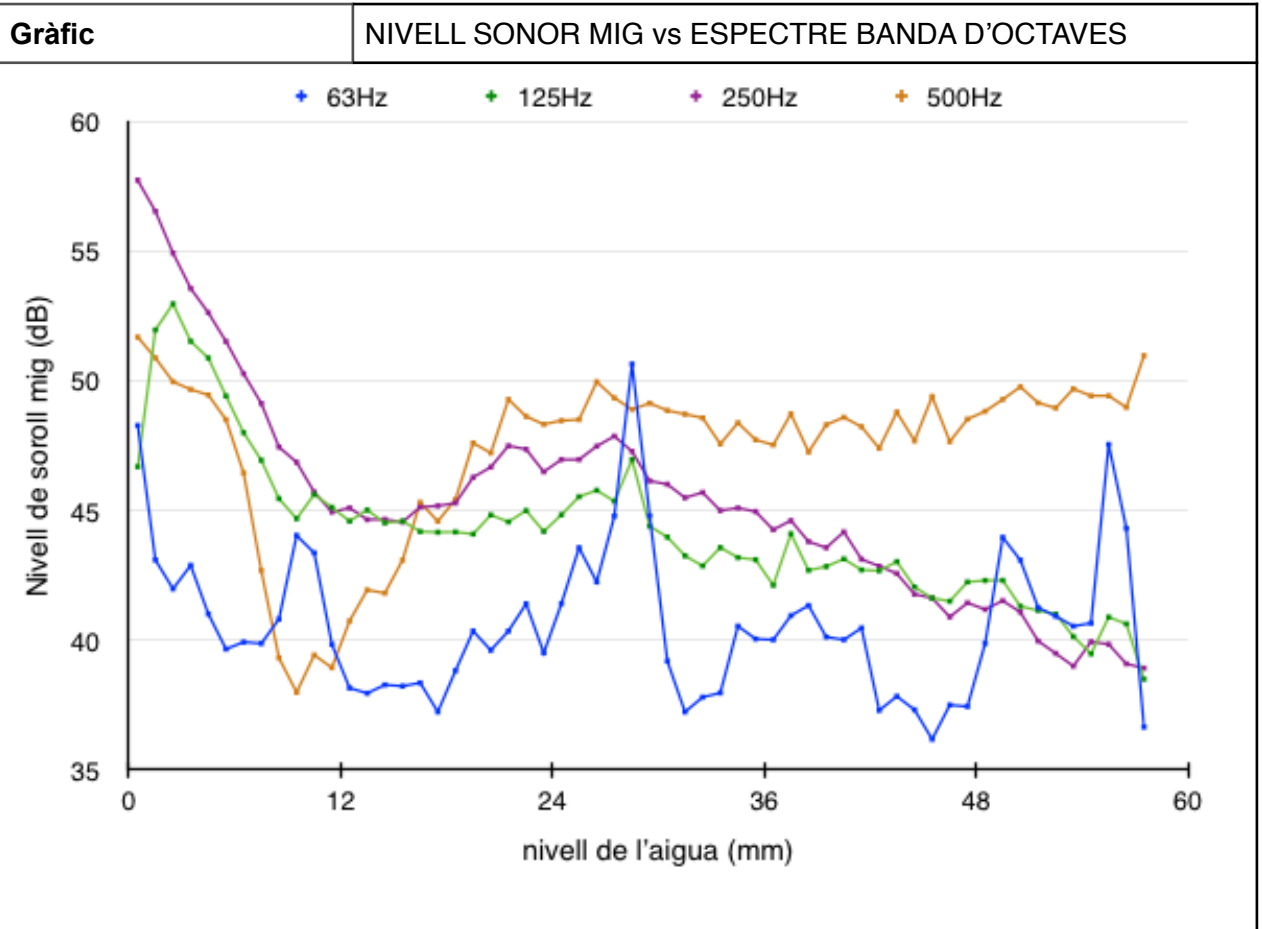
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

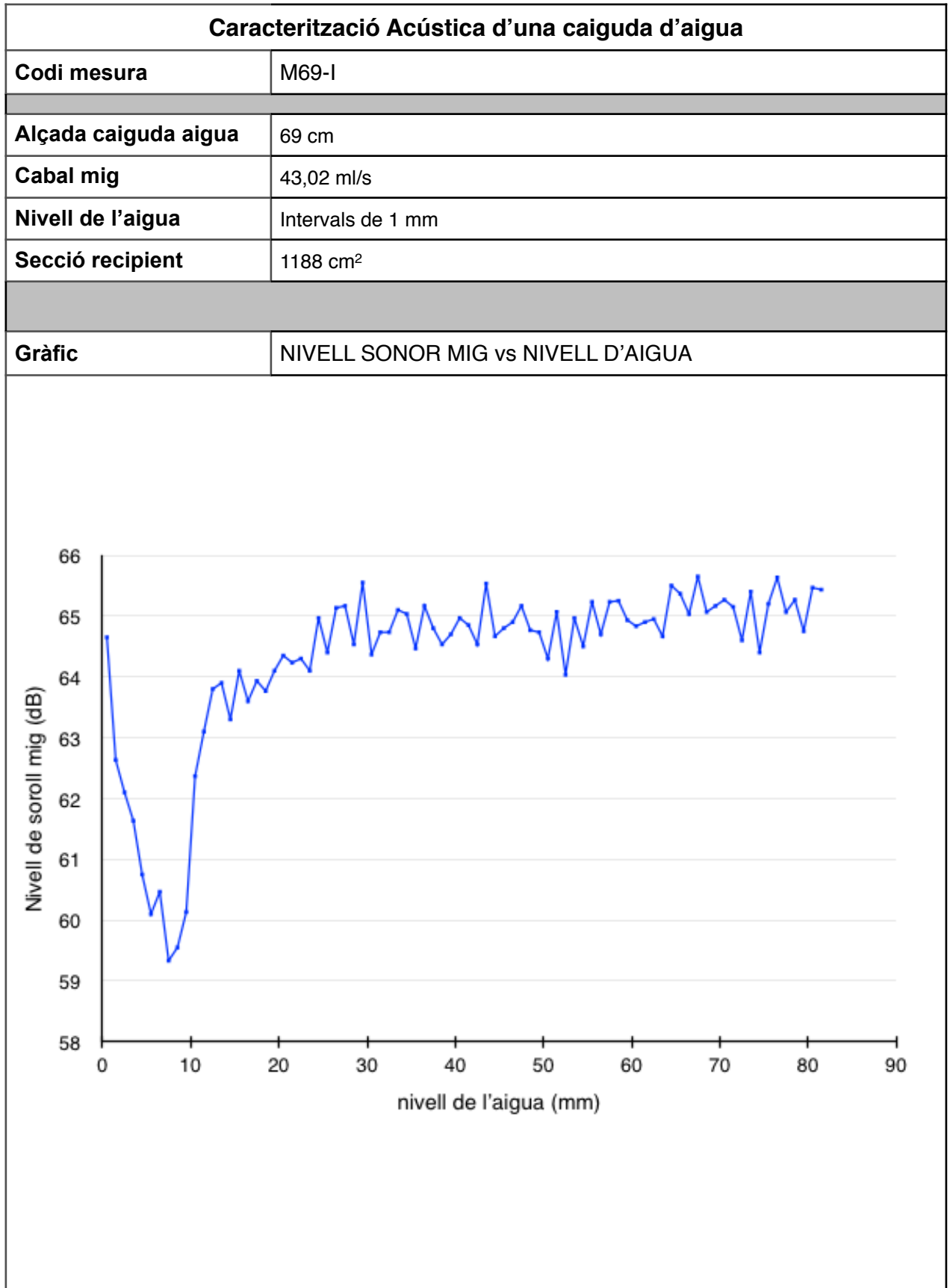


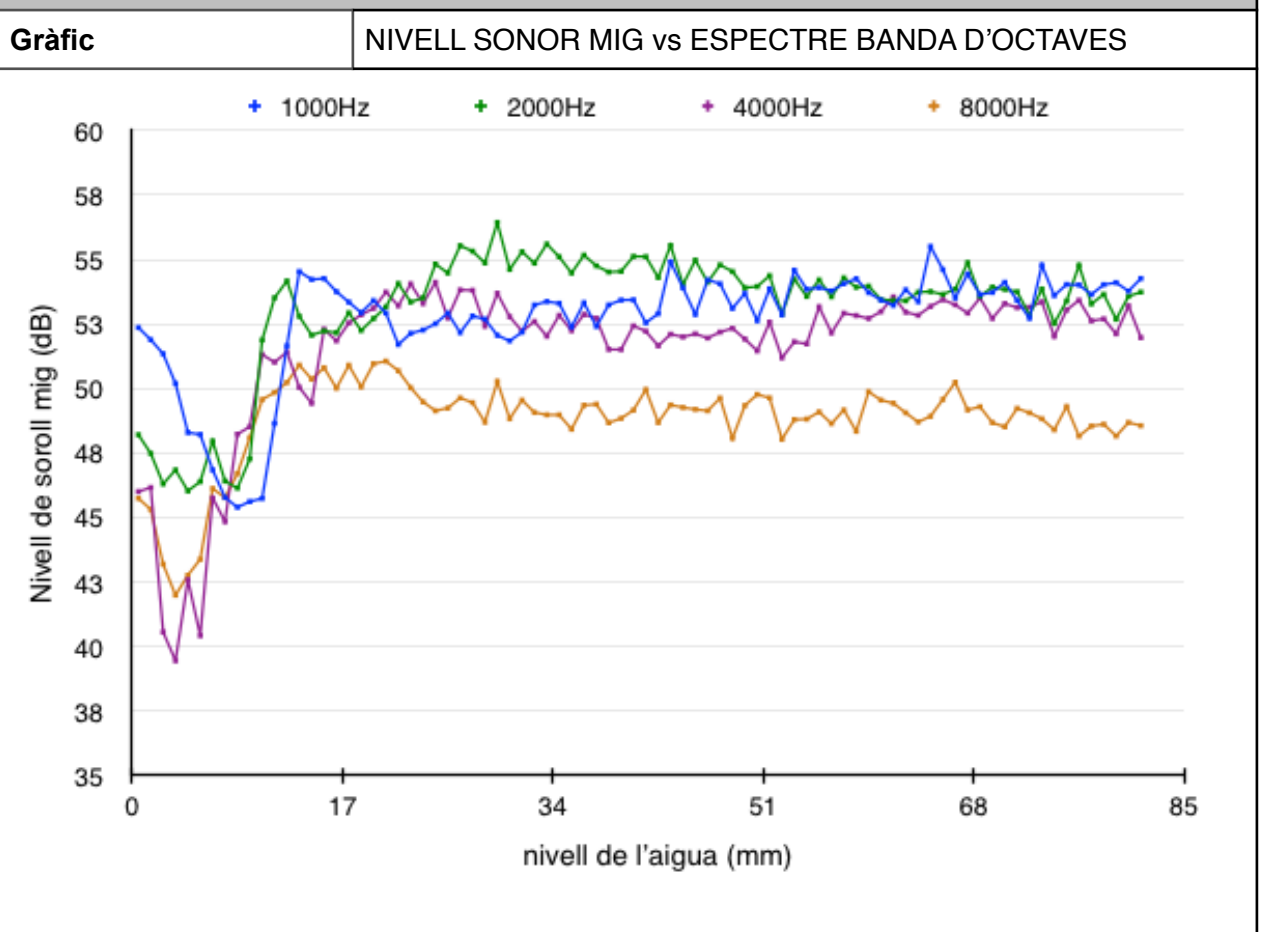
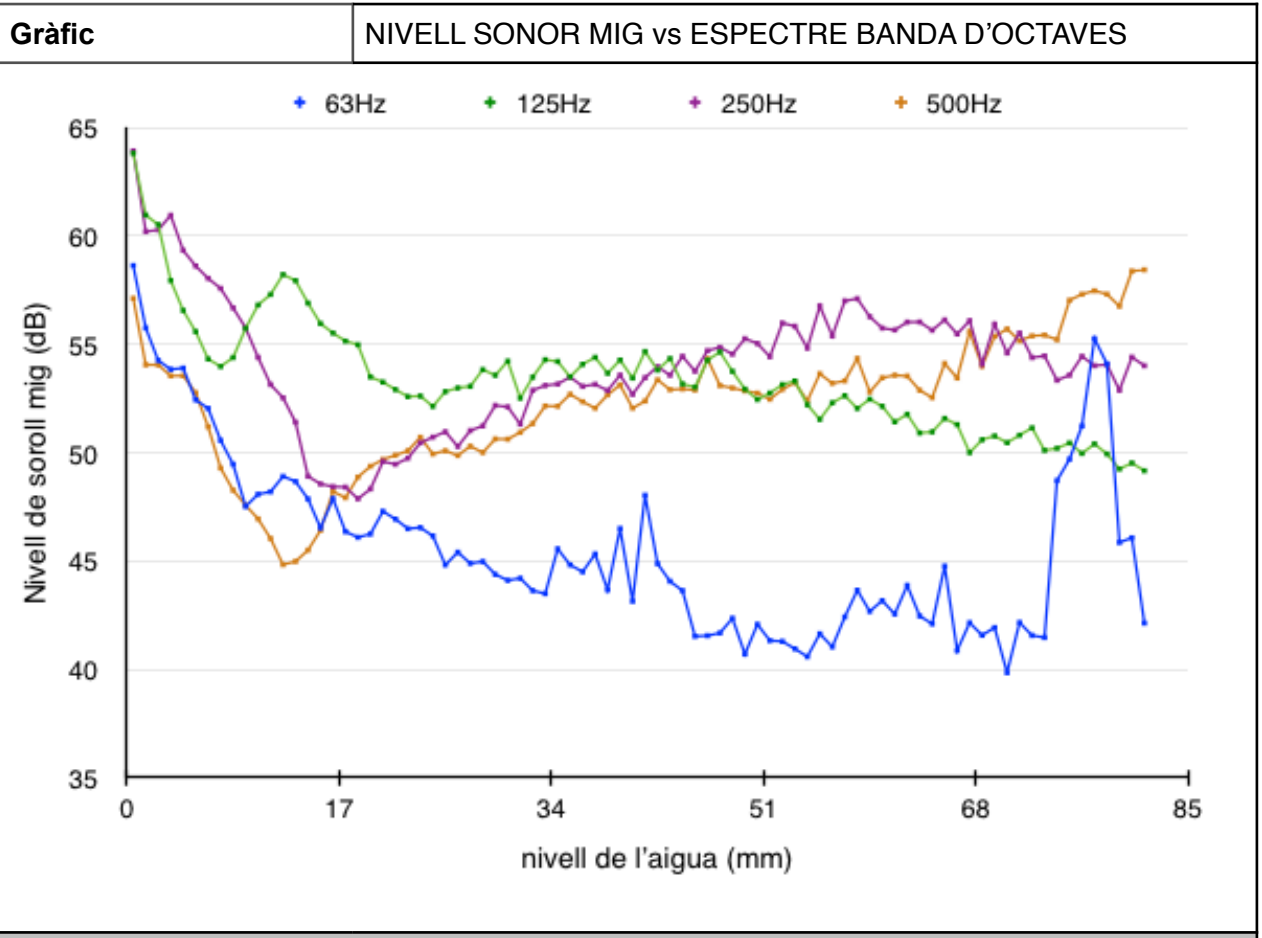


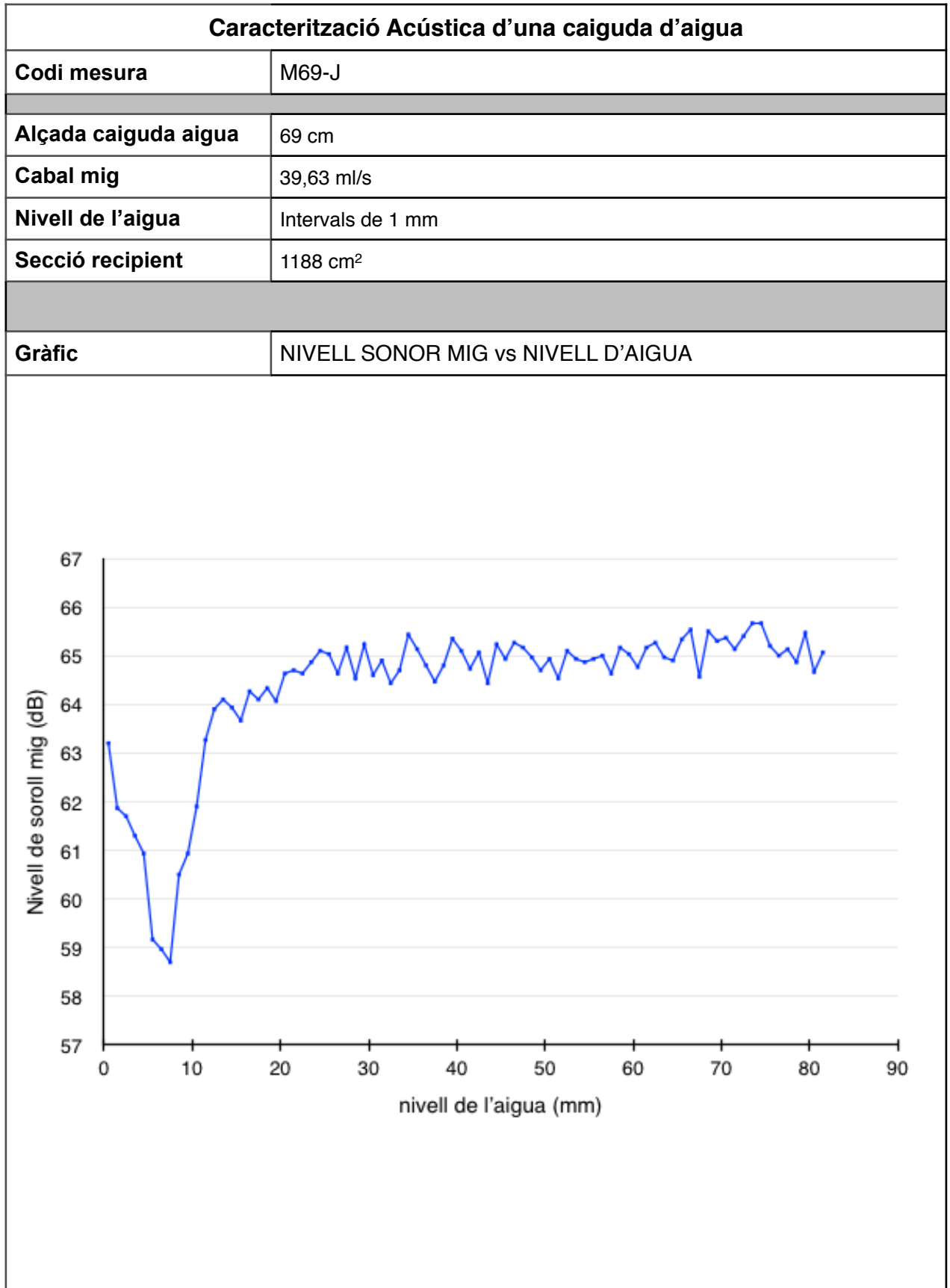


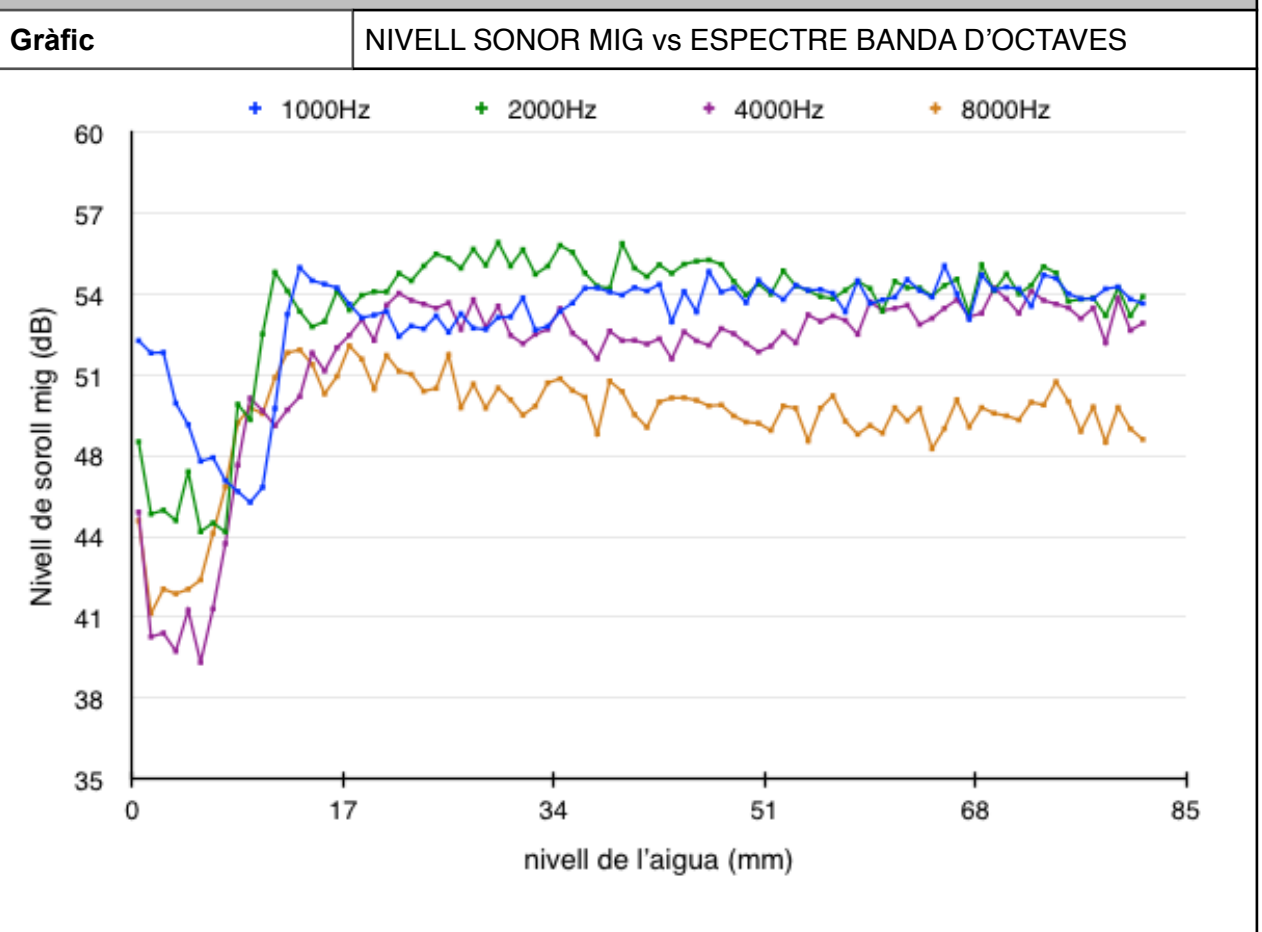
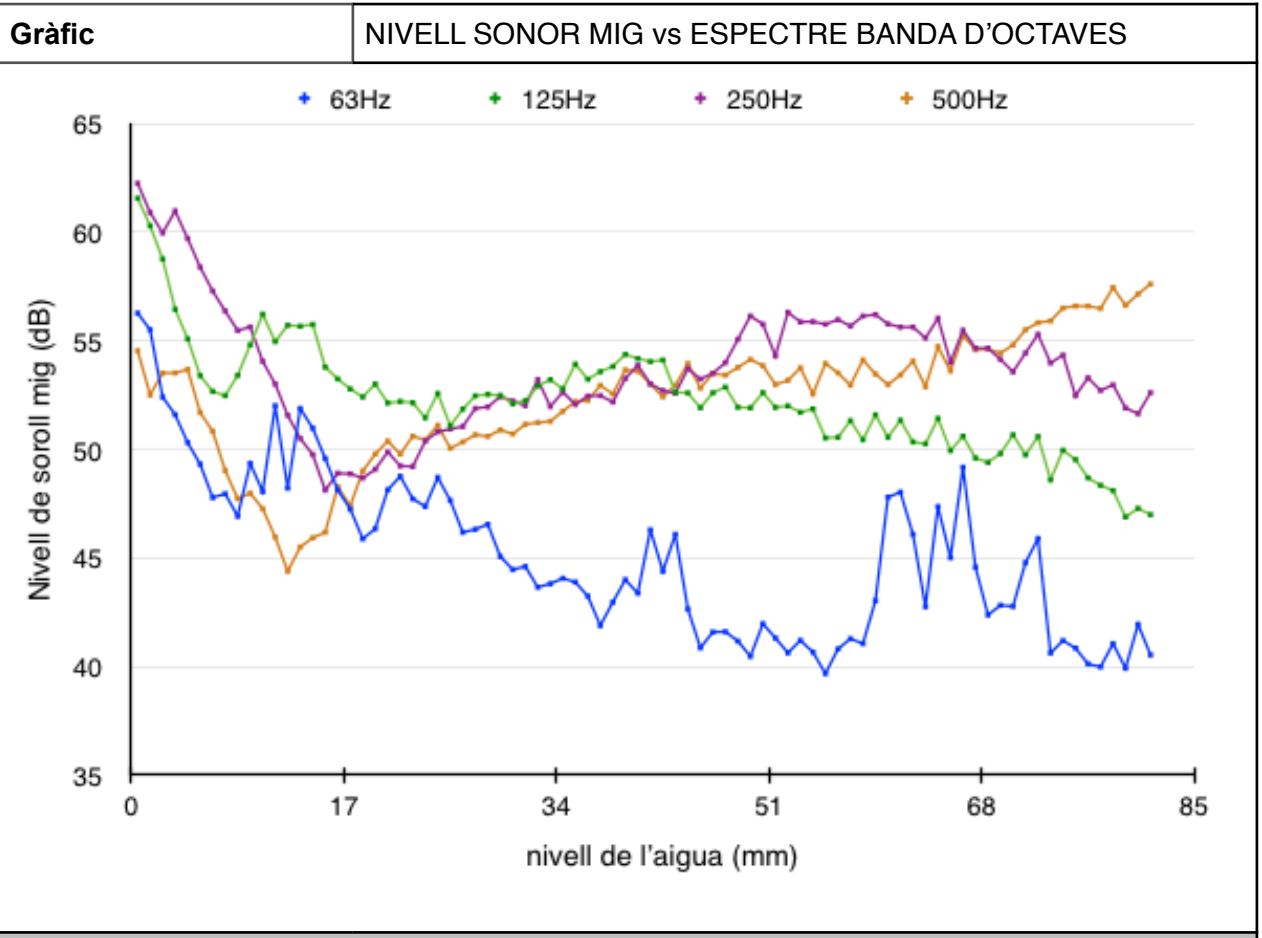


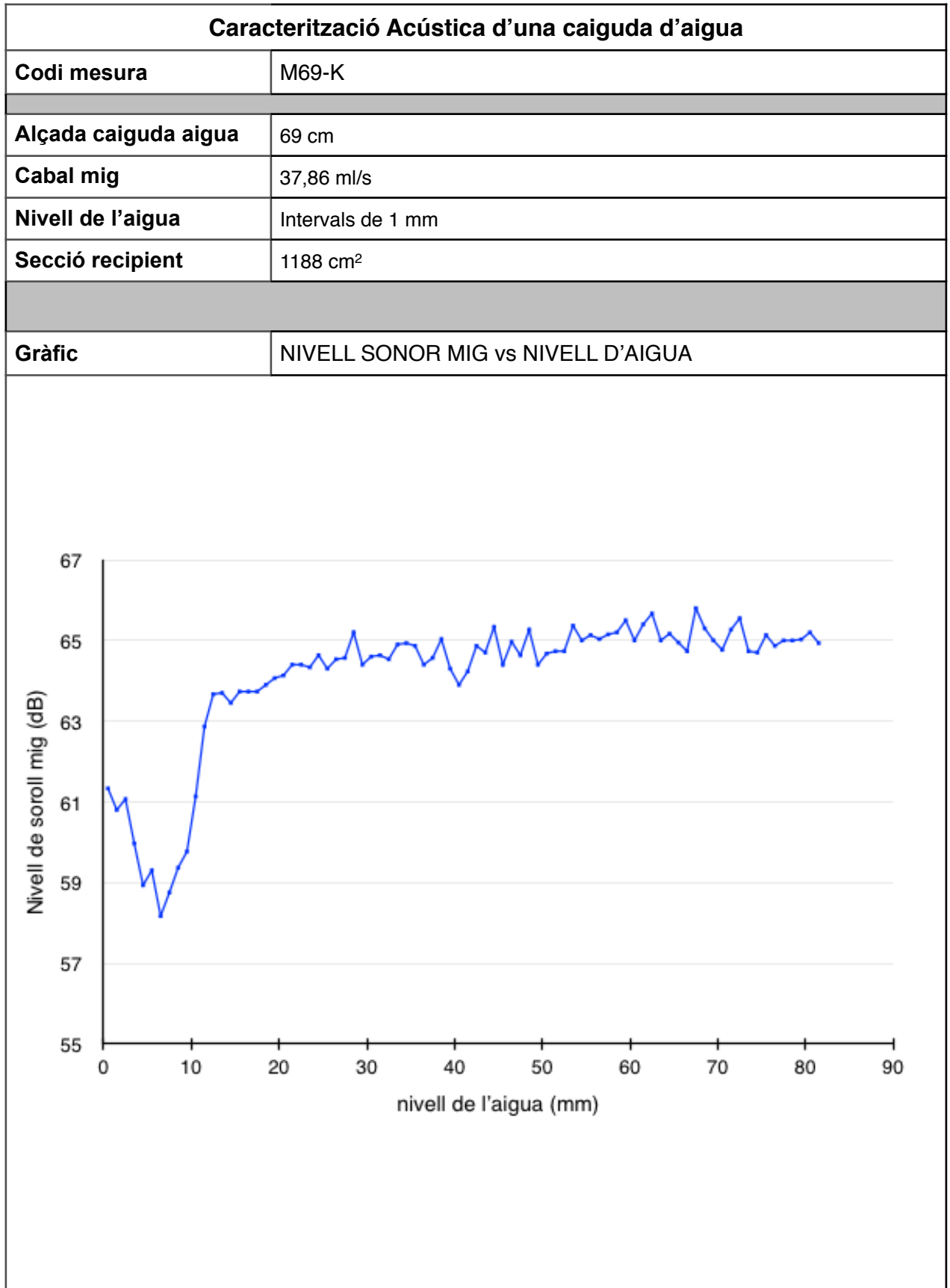


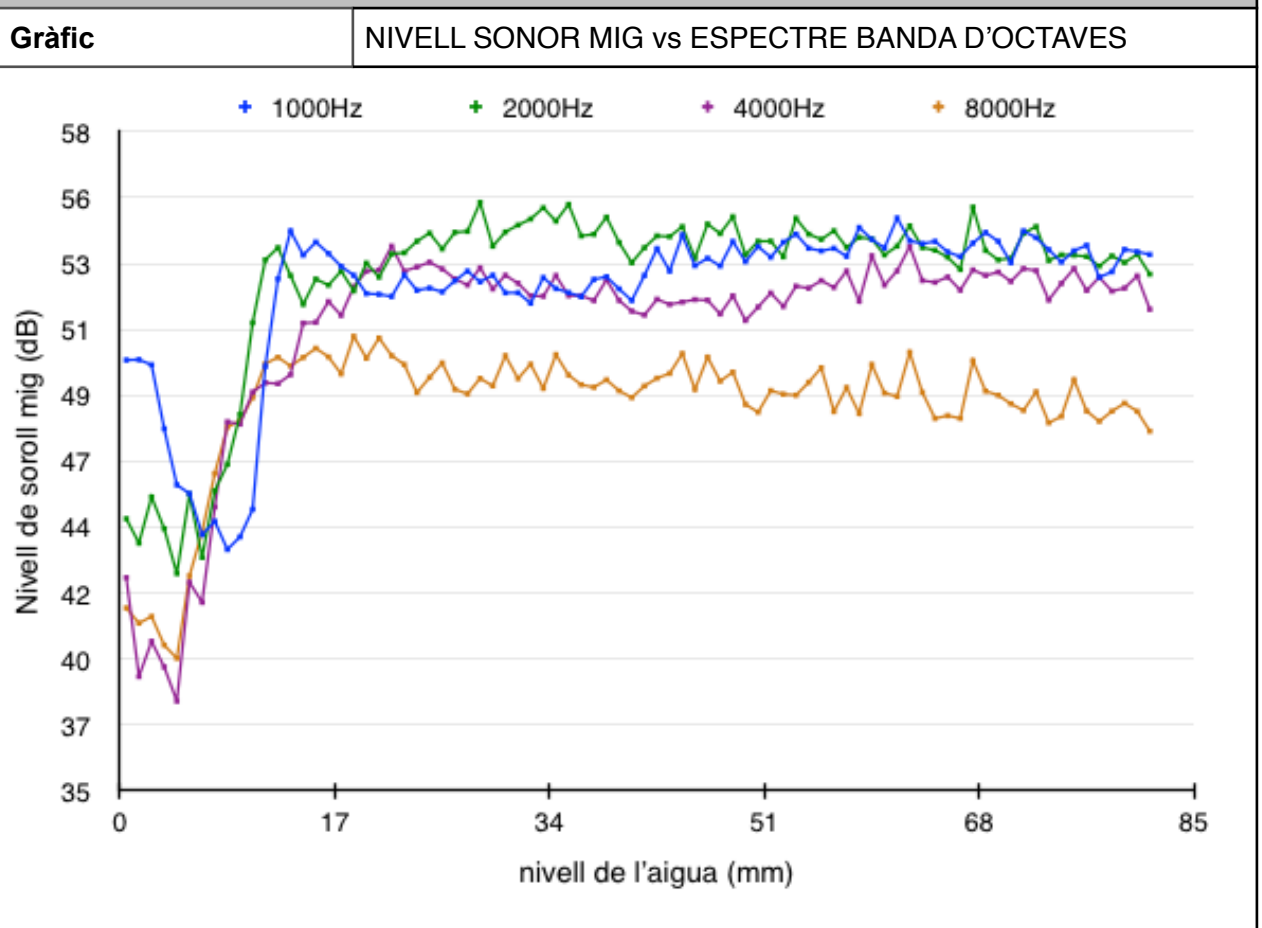
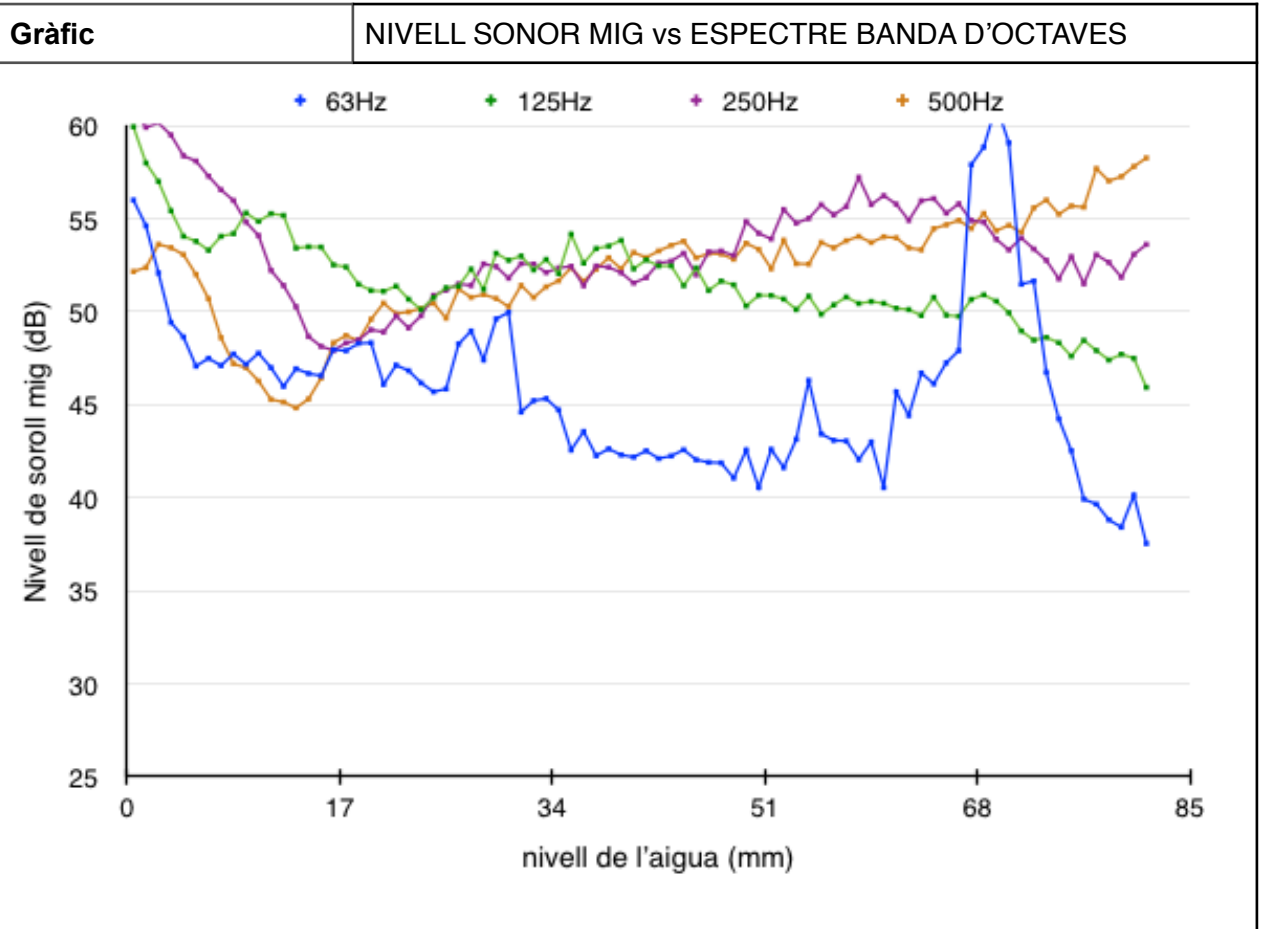


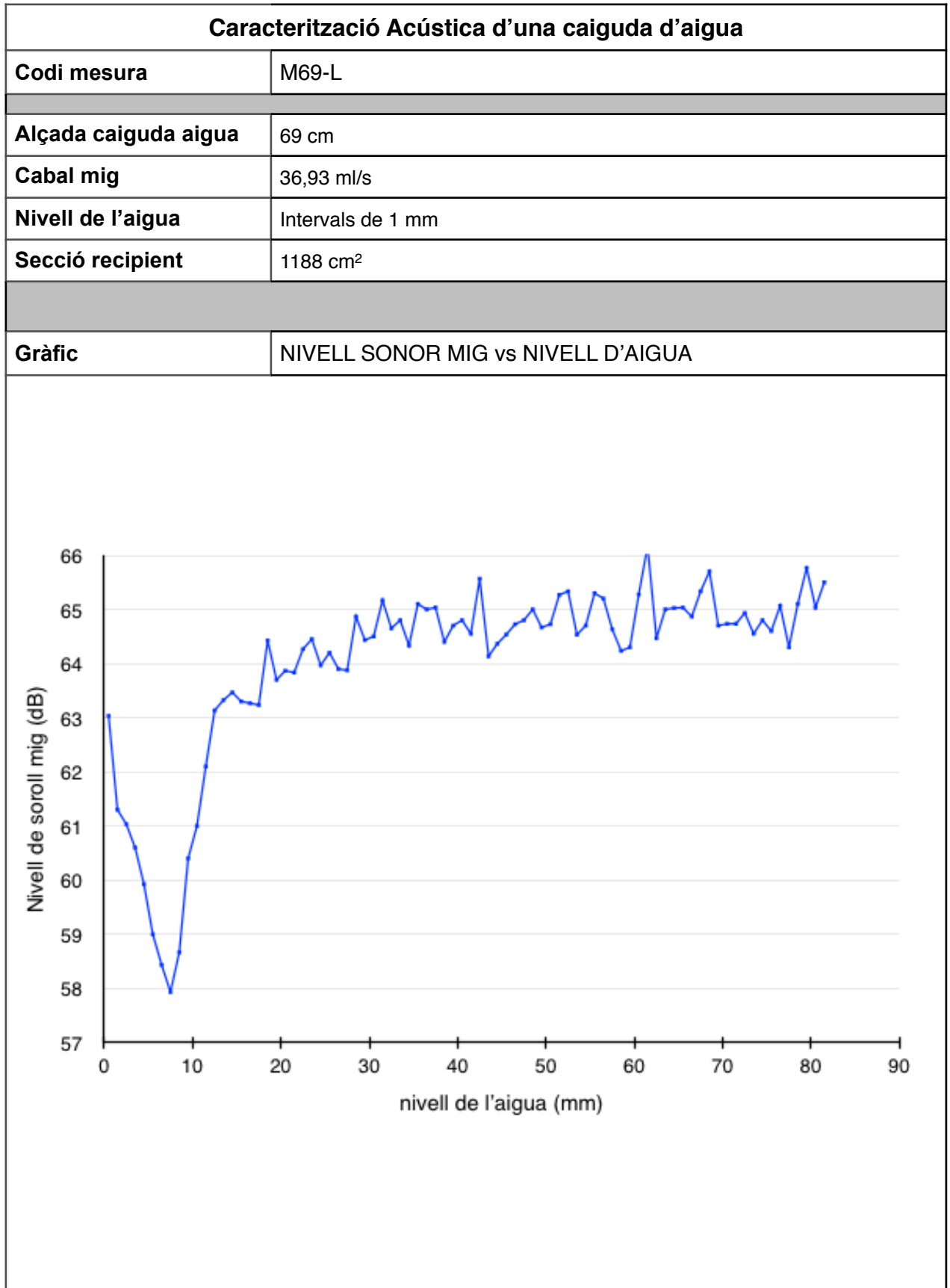


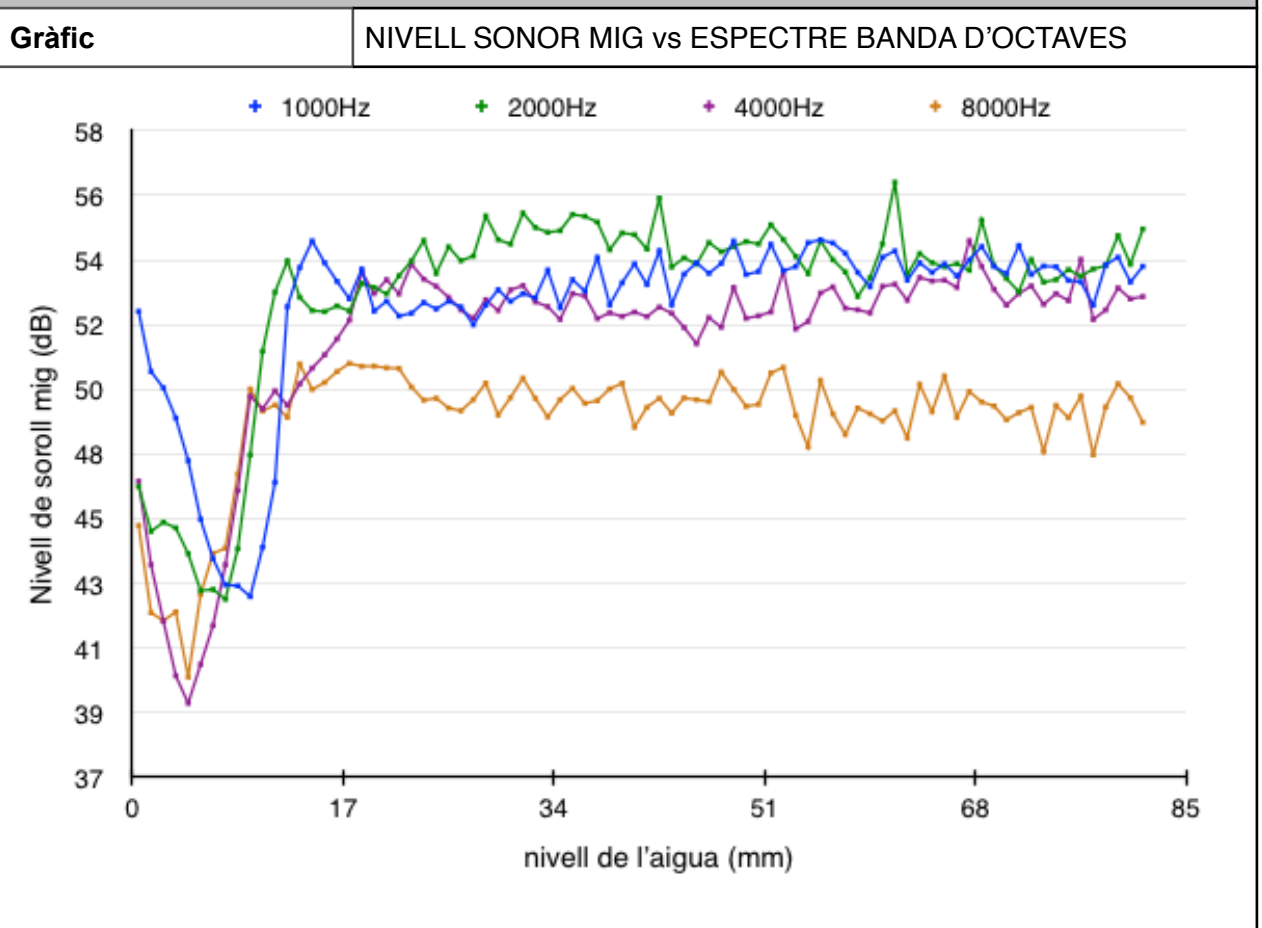
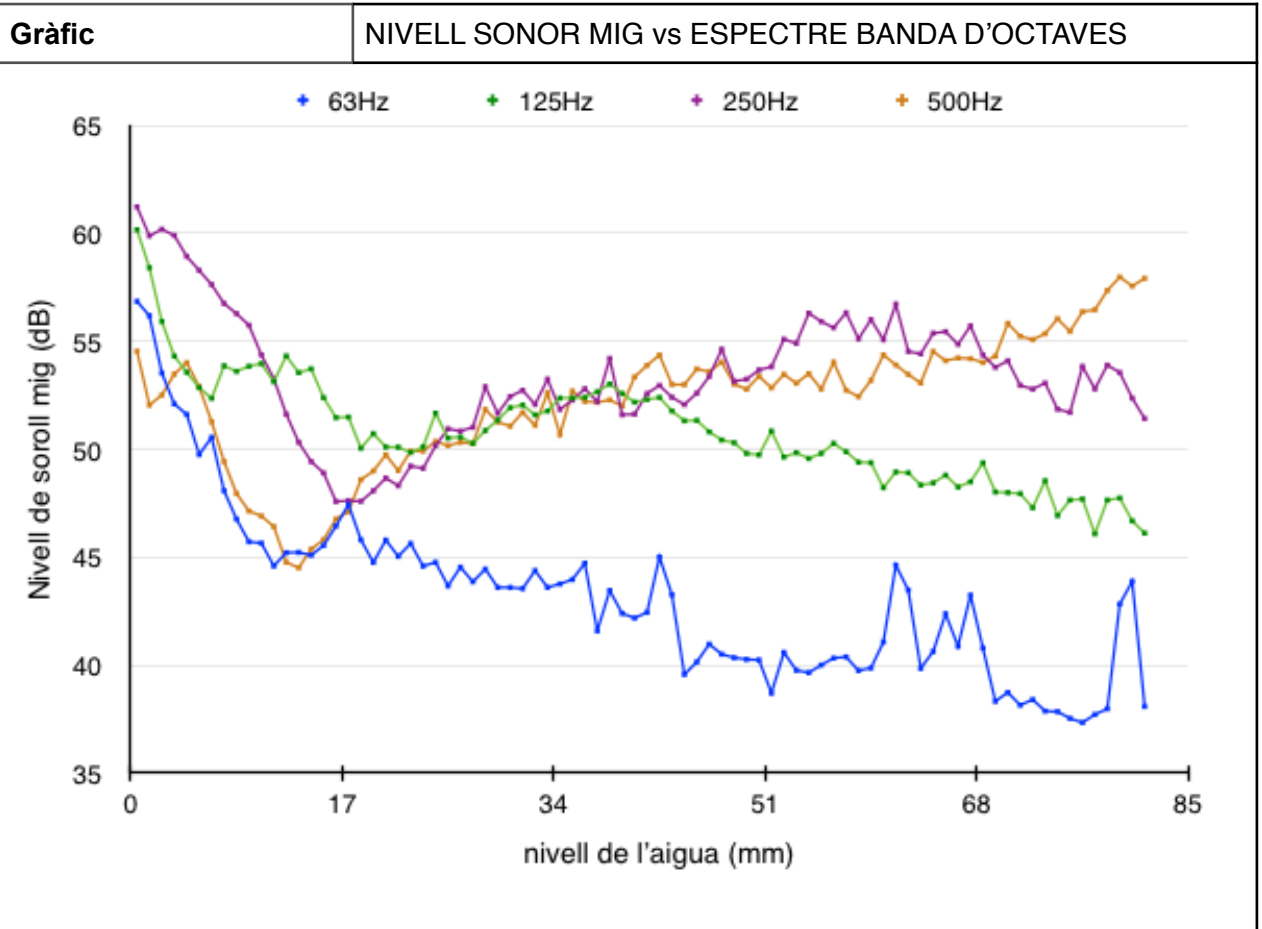


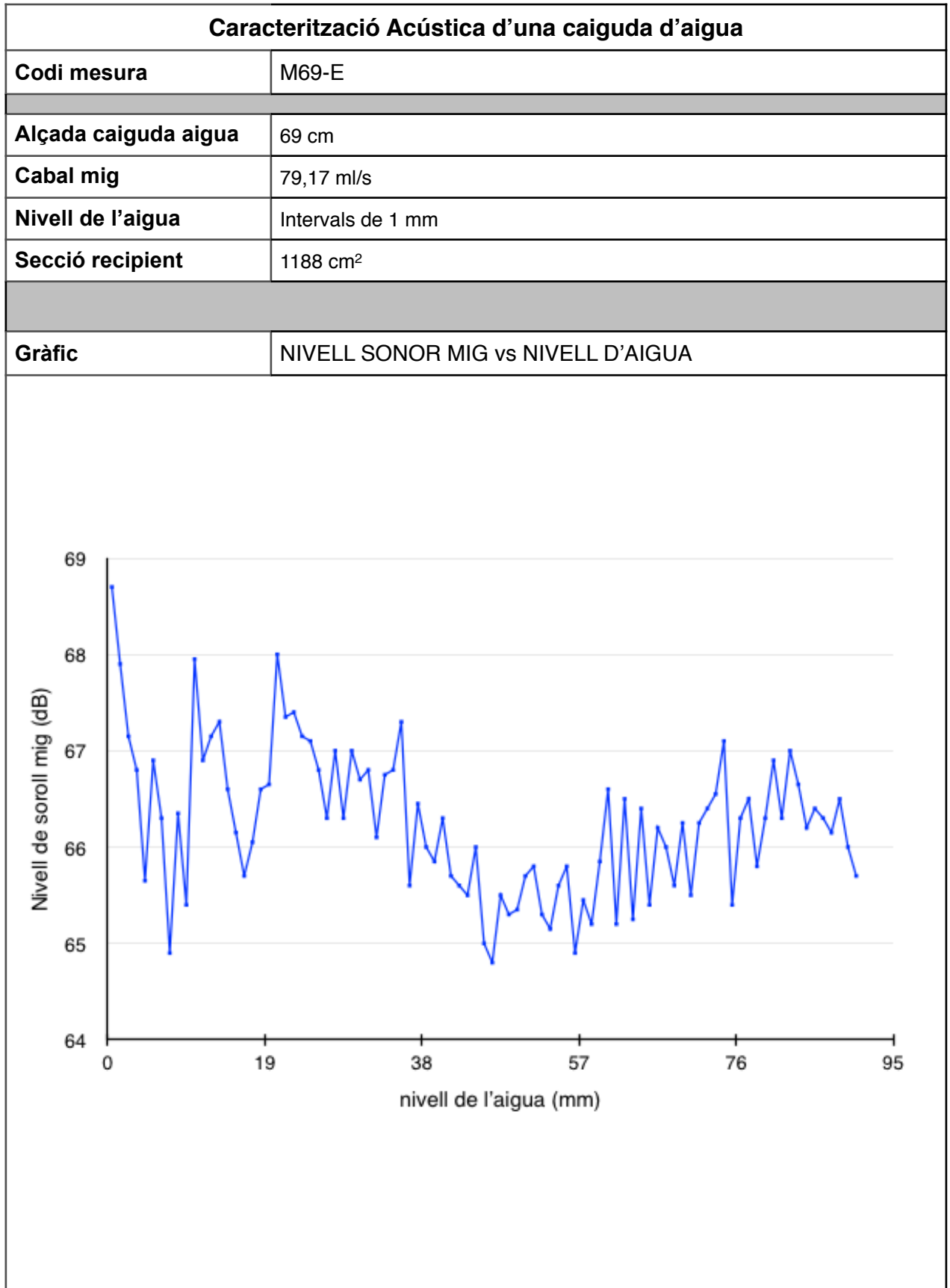






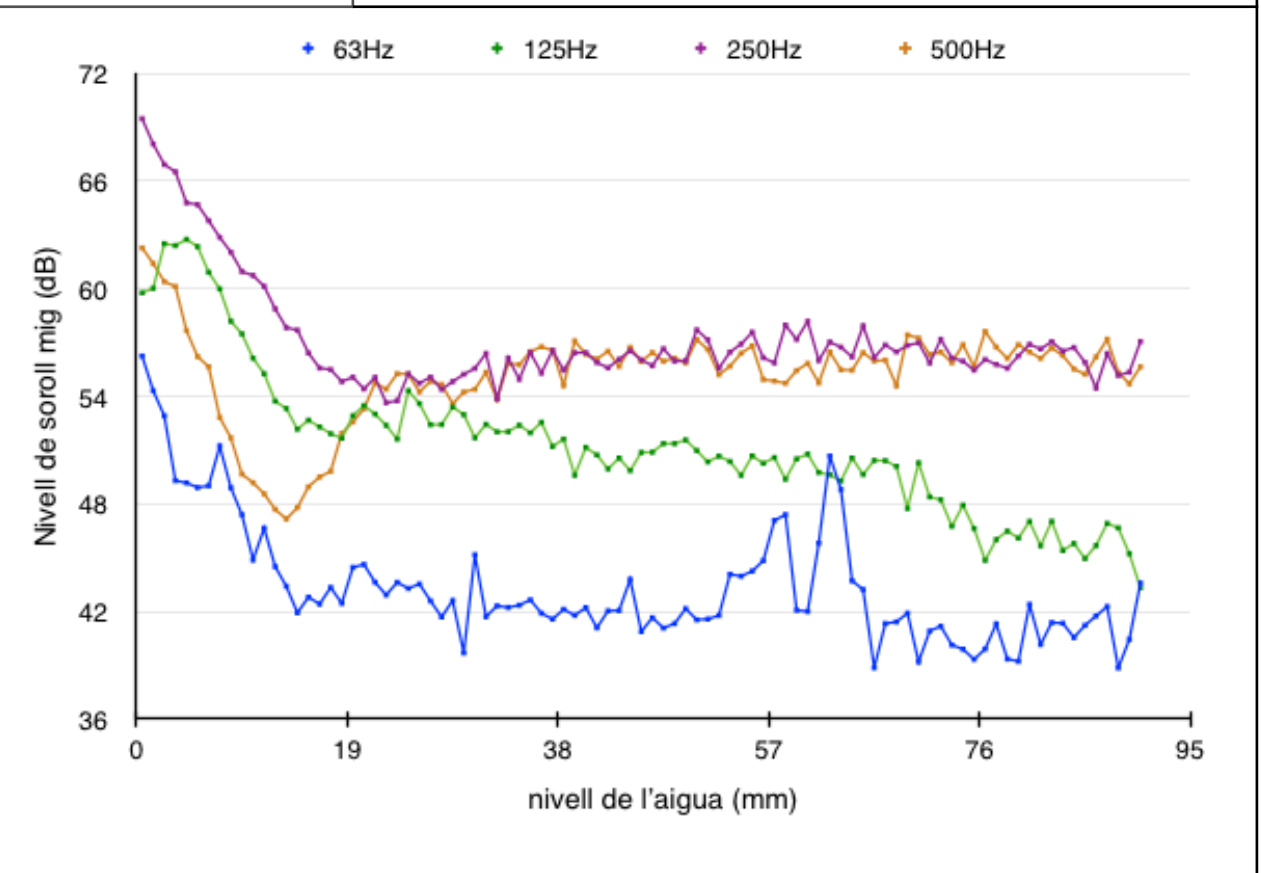






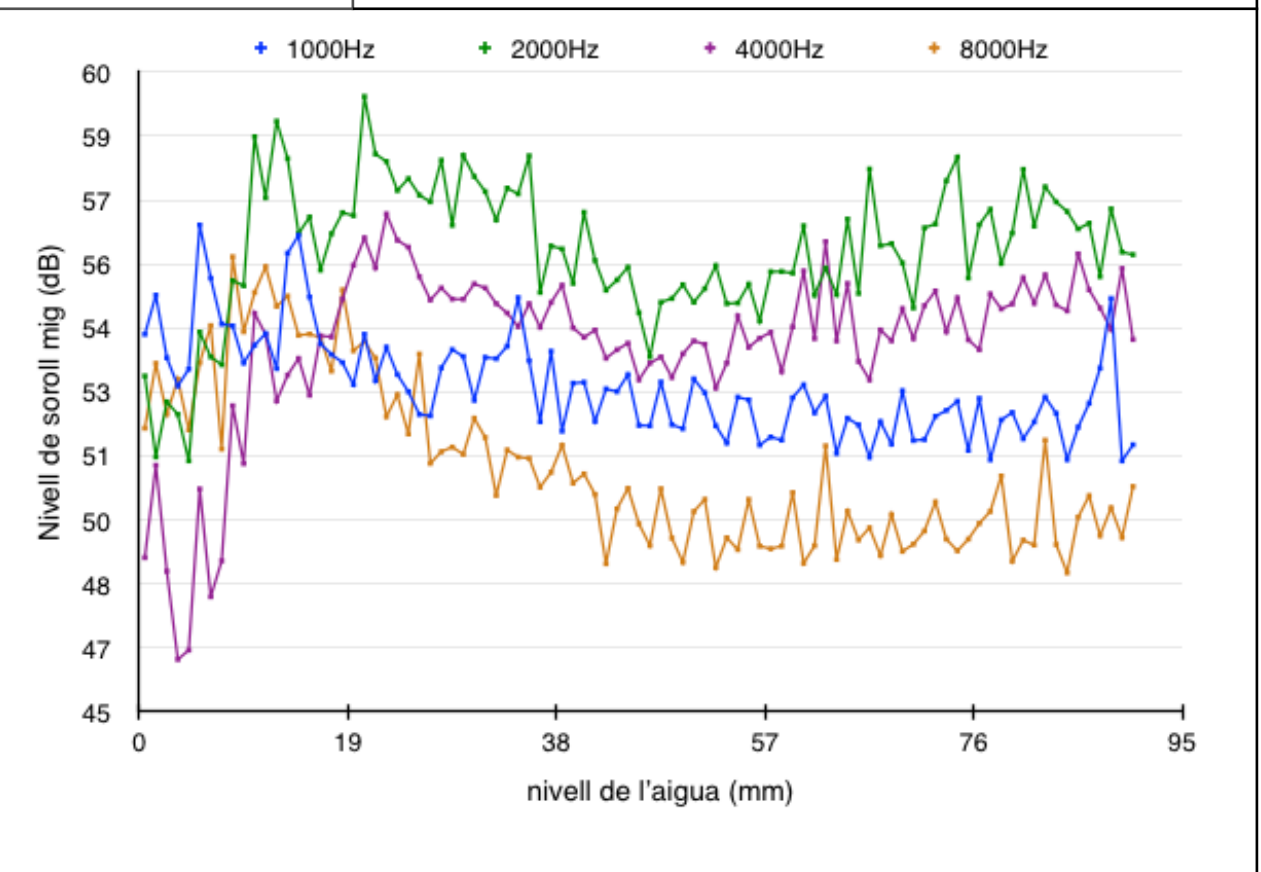
Gràfic

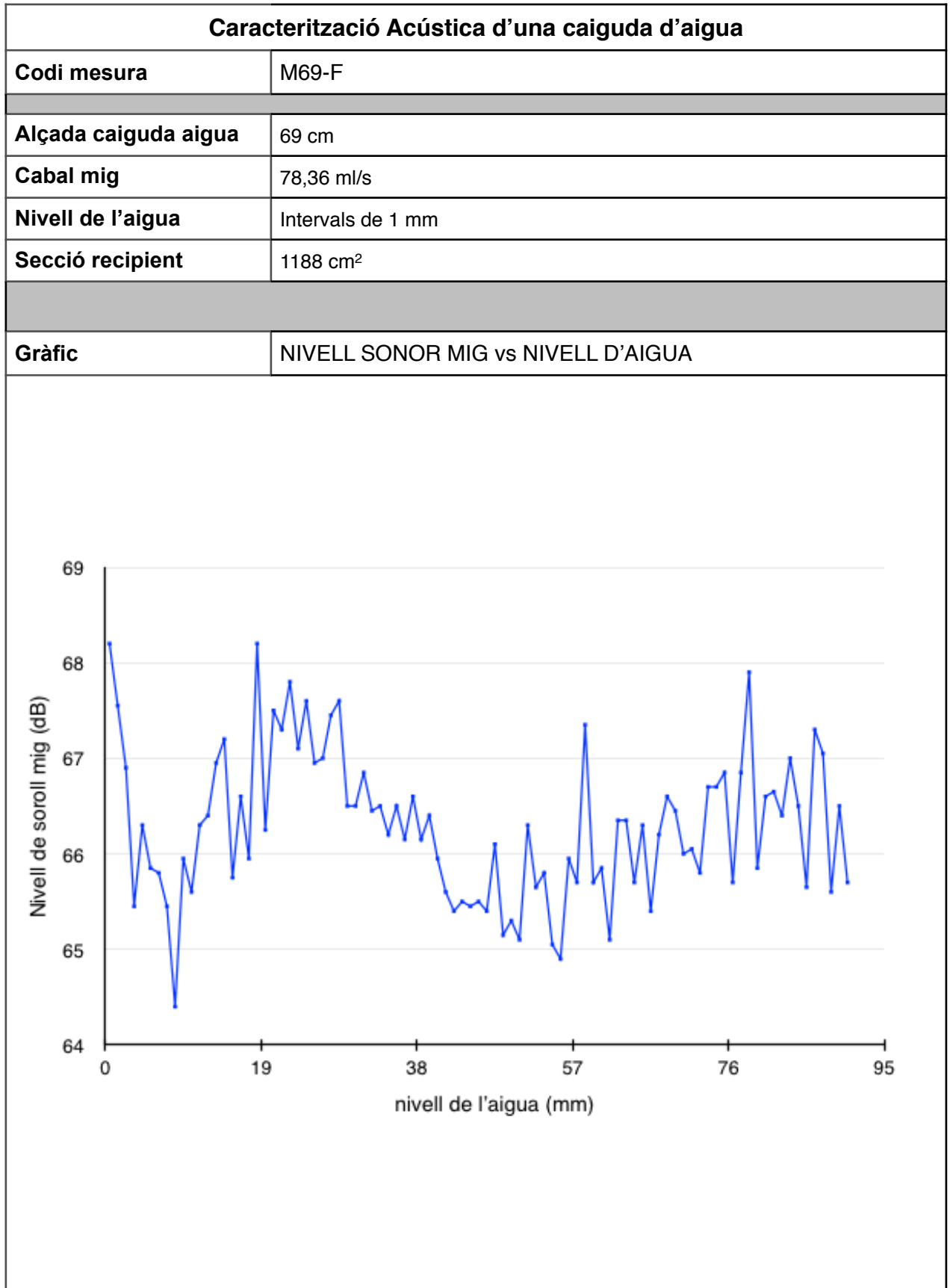
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

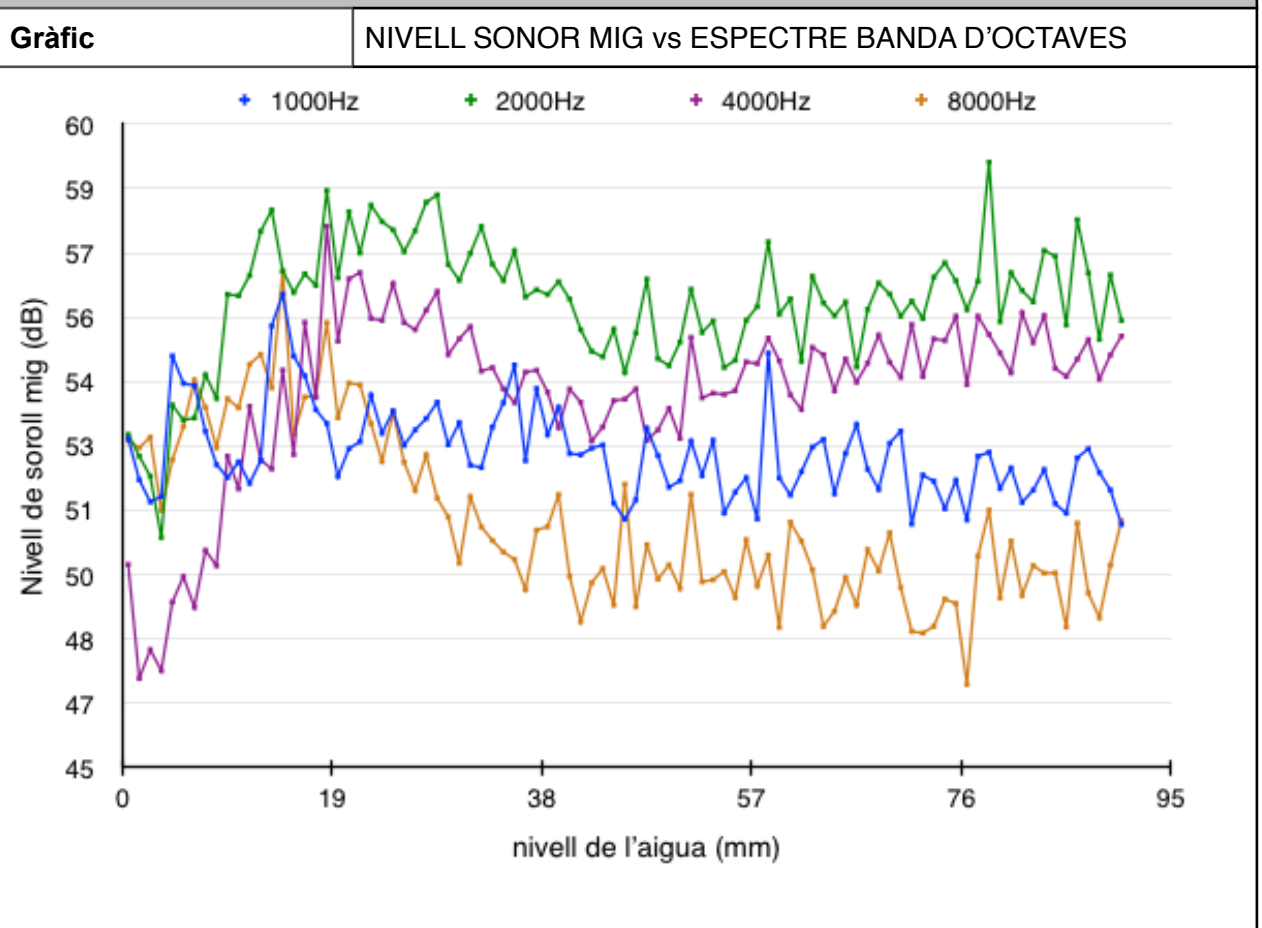
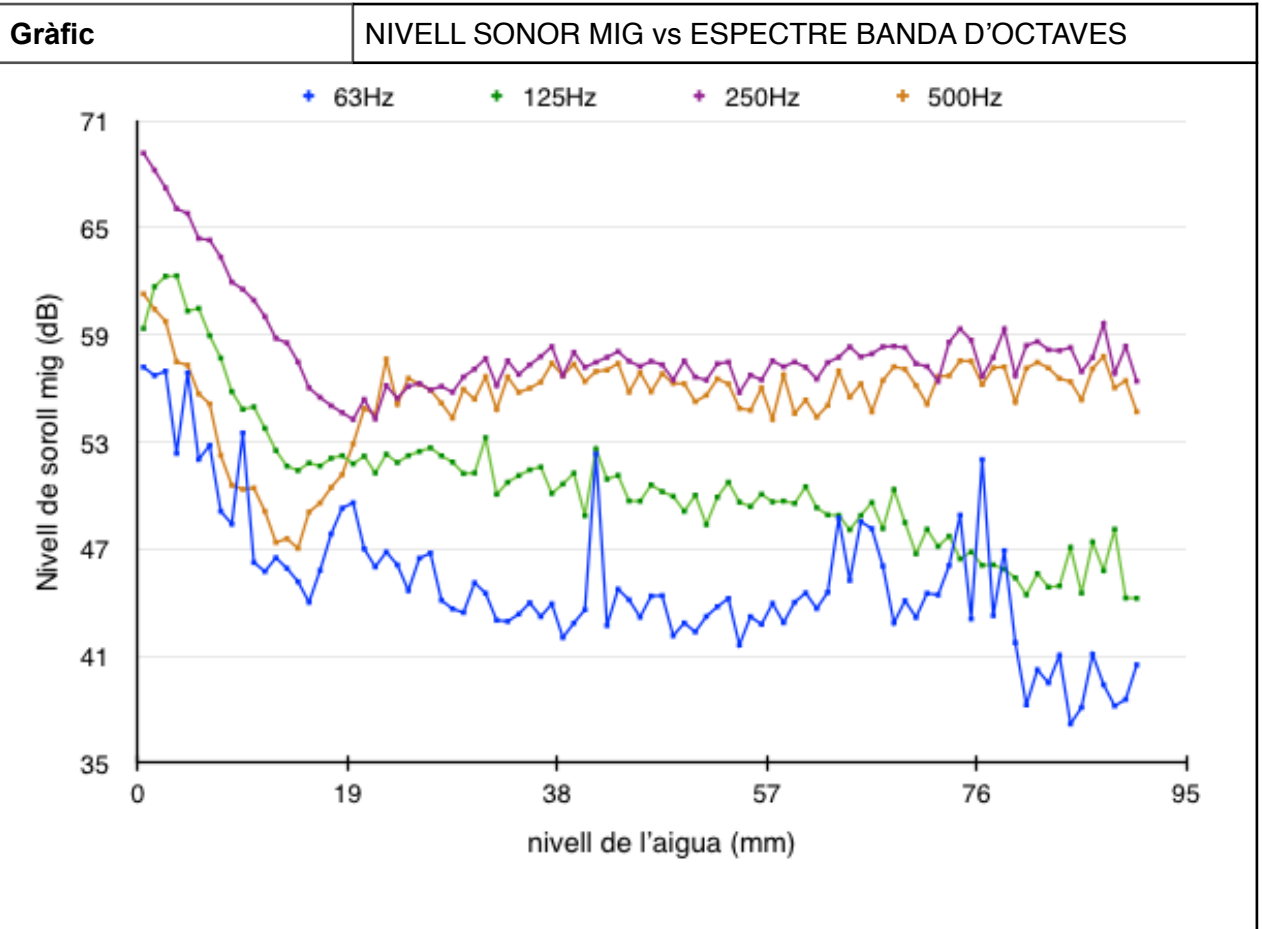


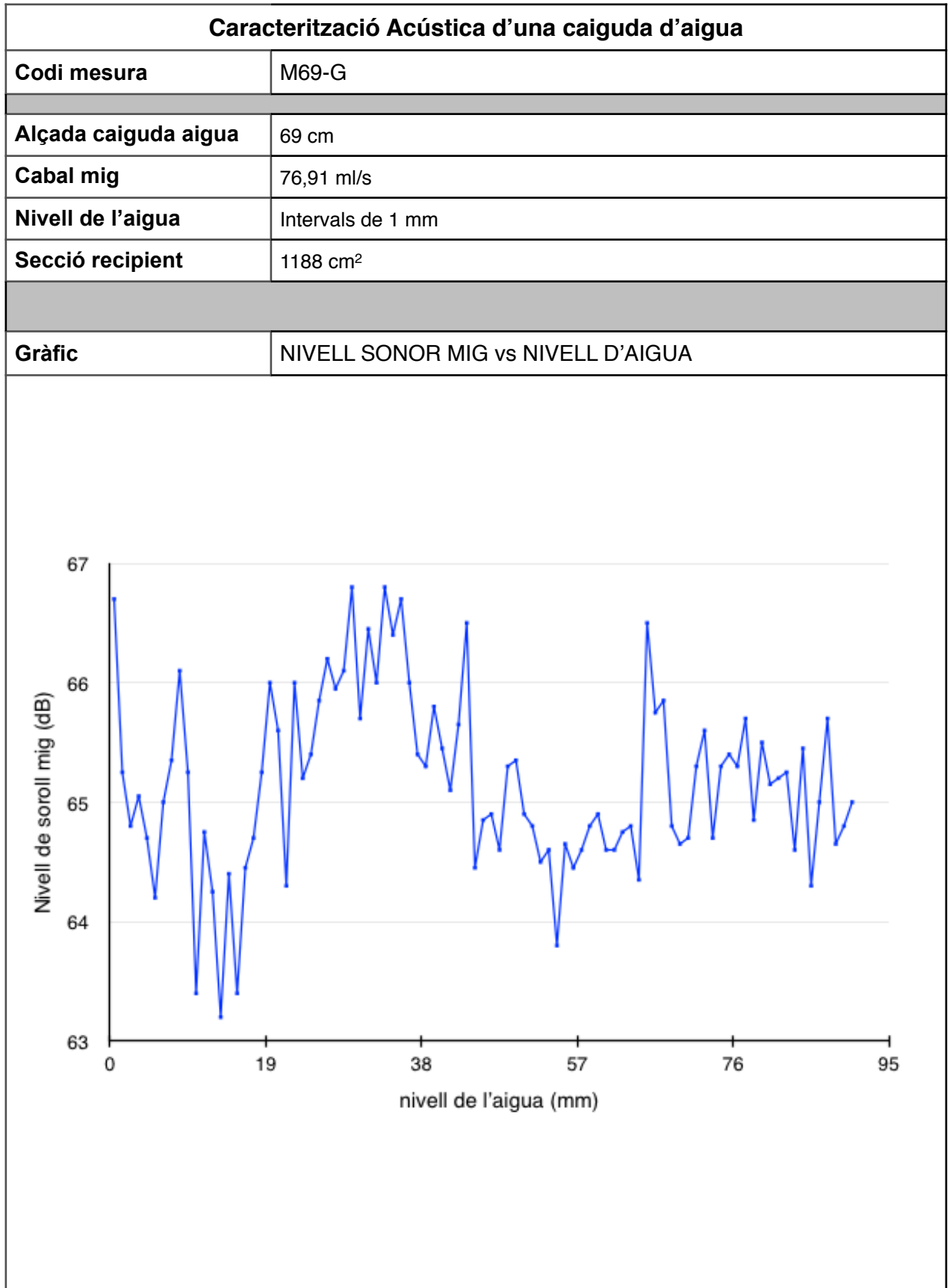
Gràfic

NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES



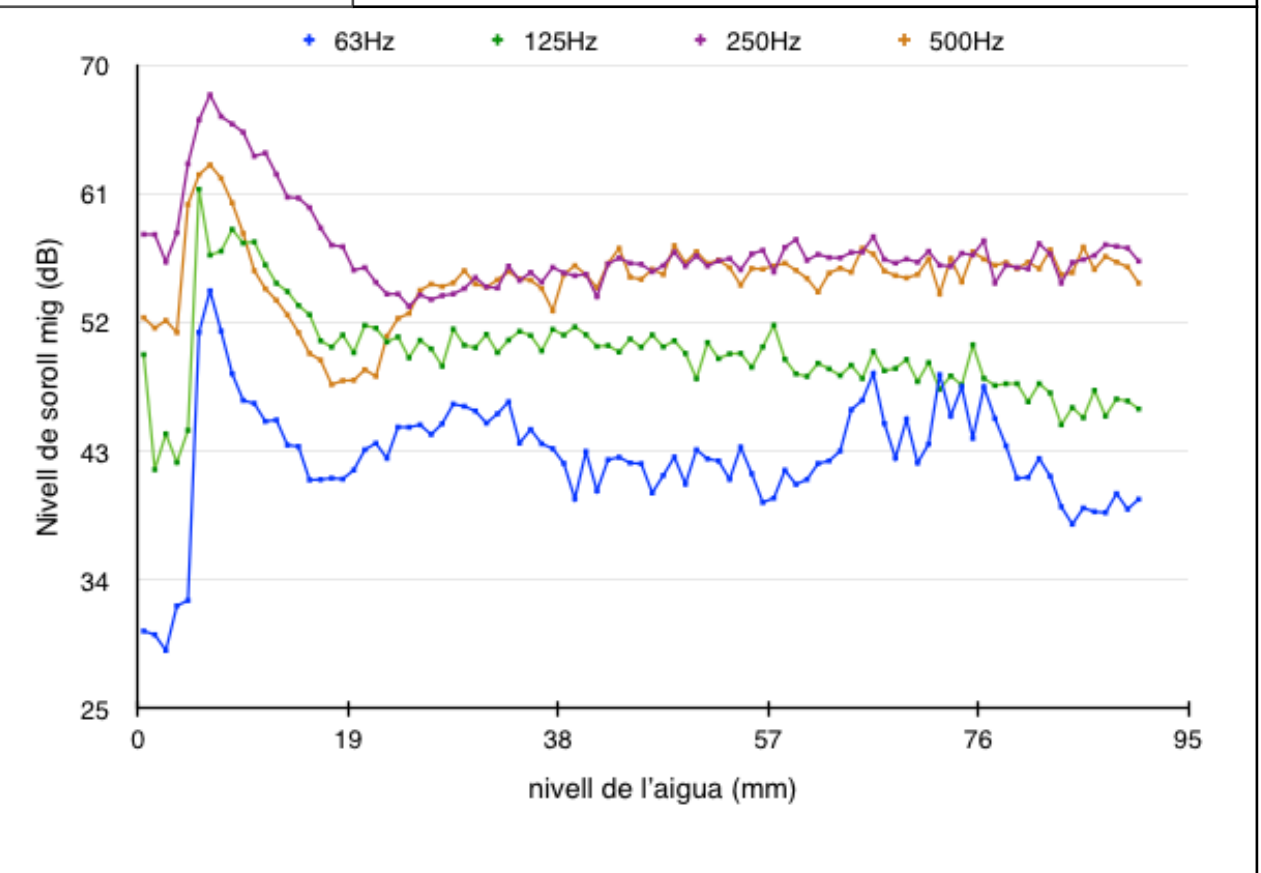






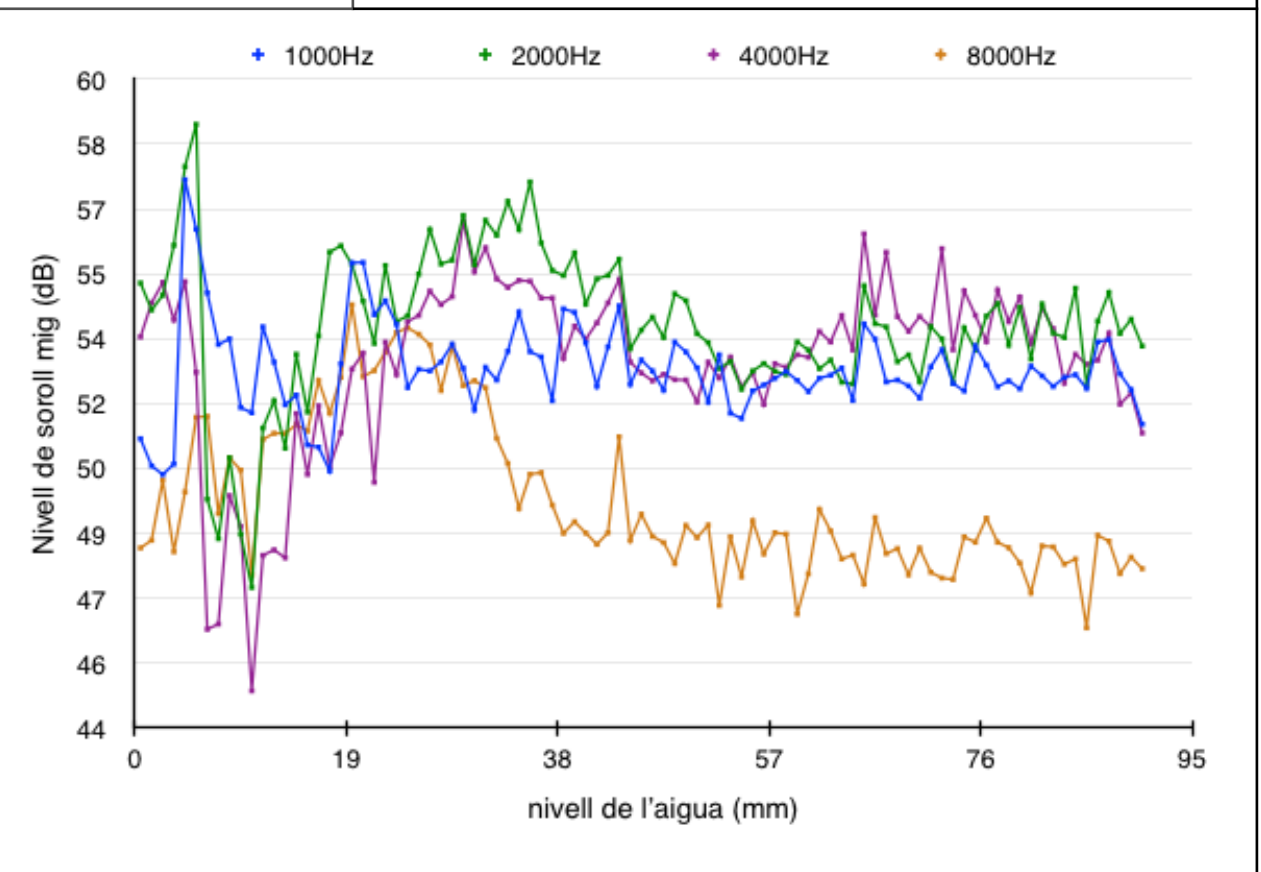
Gràfic

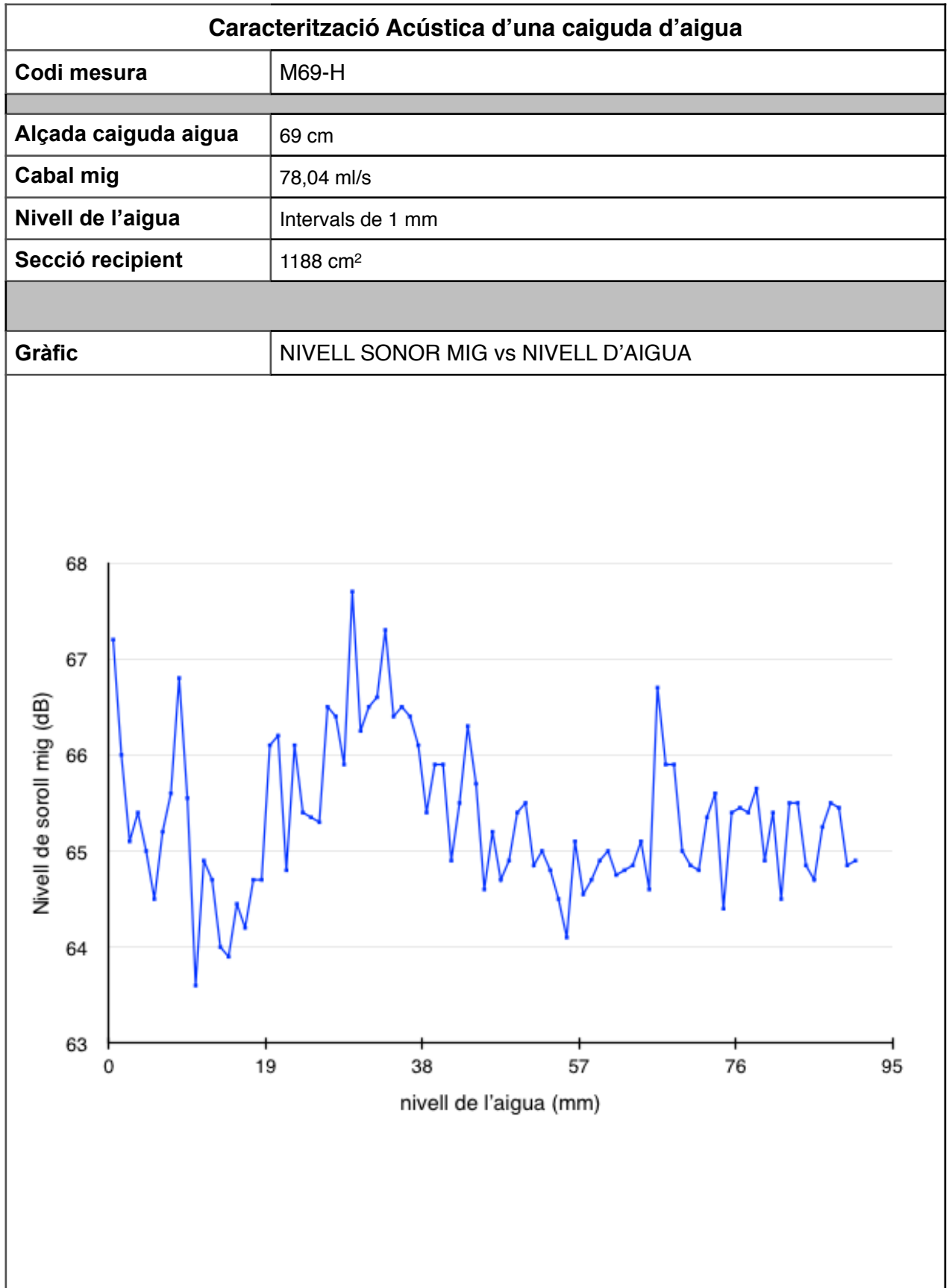
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

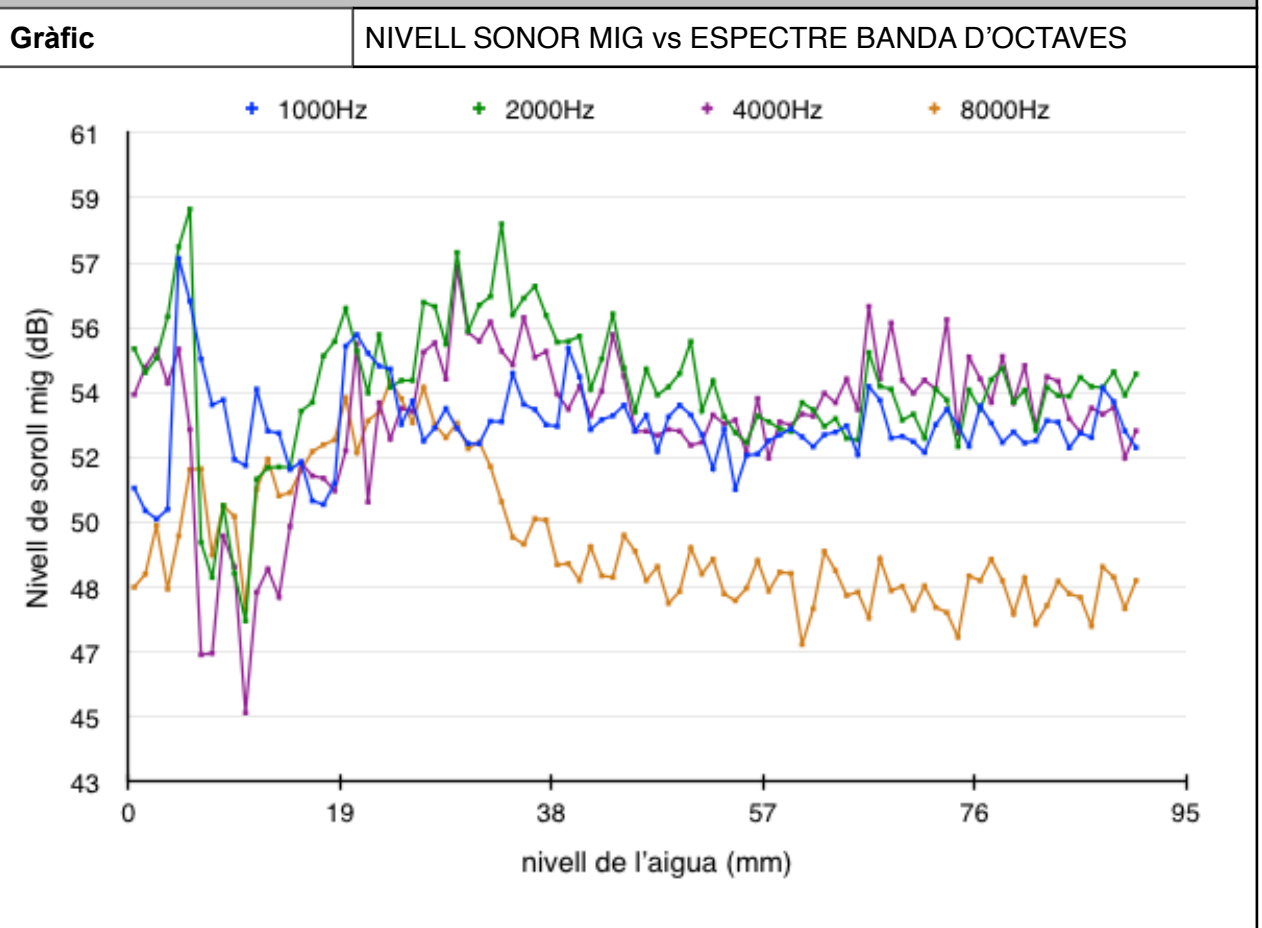
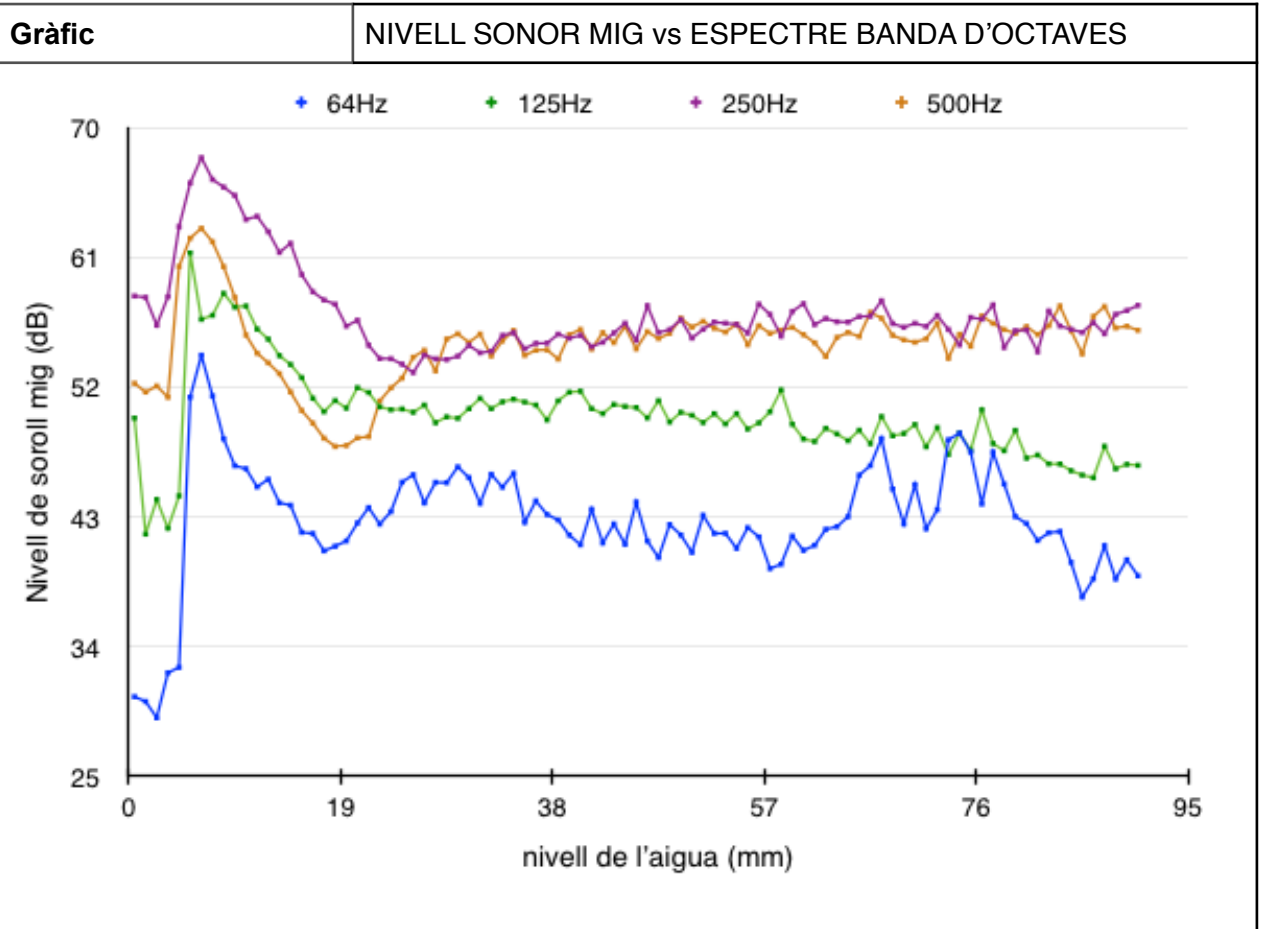


Gràfic

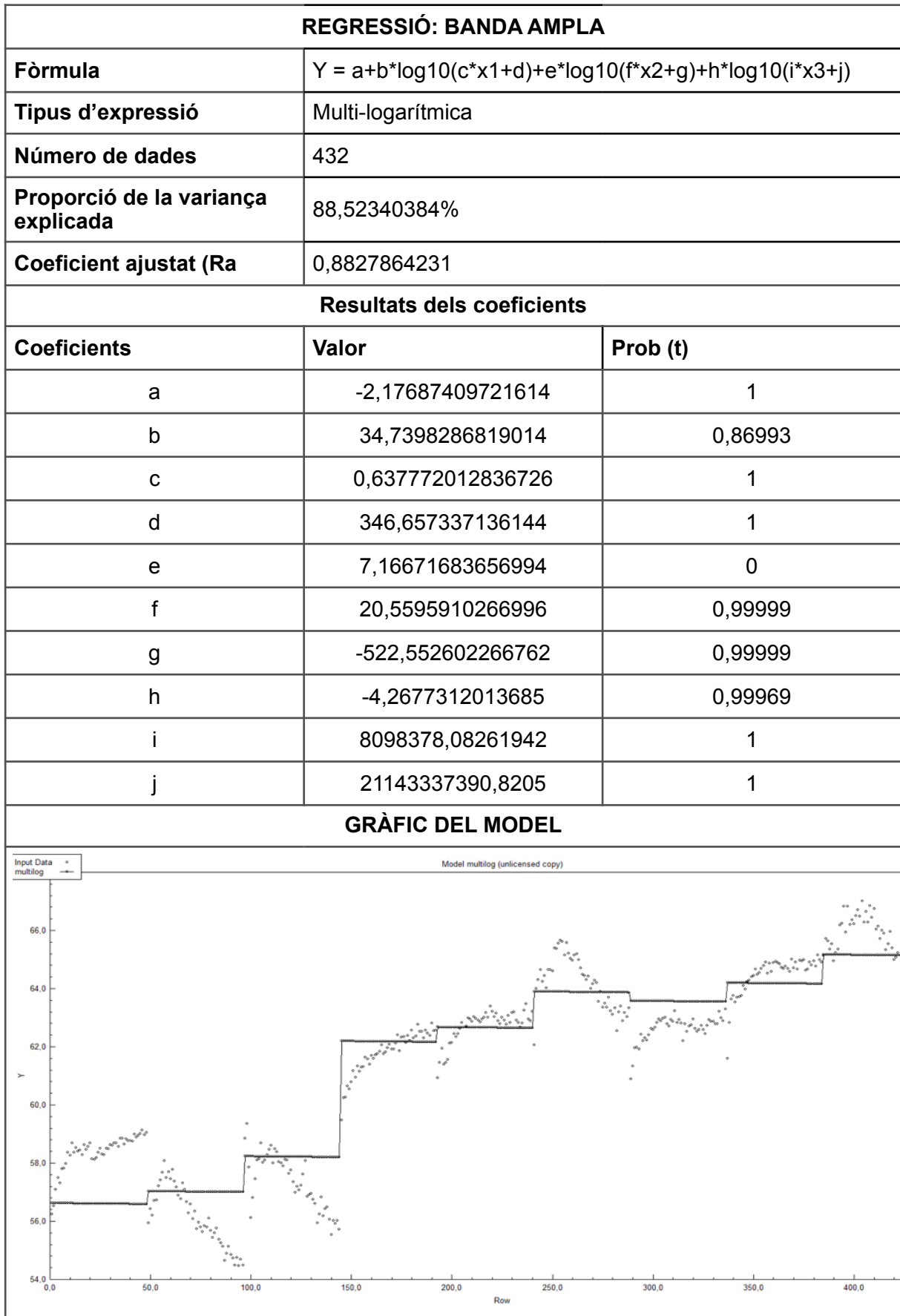
NIVELL SONOR MIG vs ESPECTRE BANDA D'OCTAVES

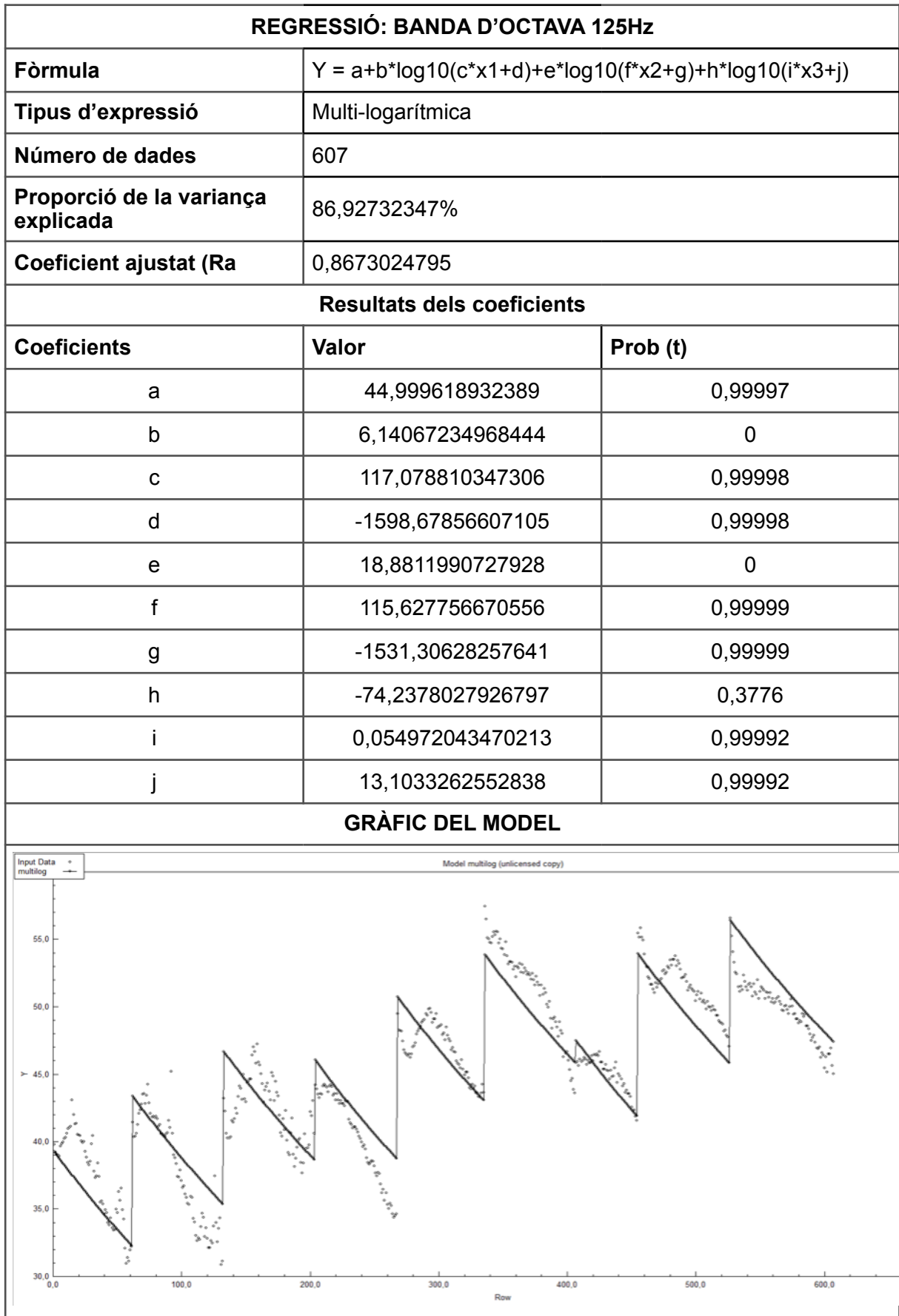


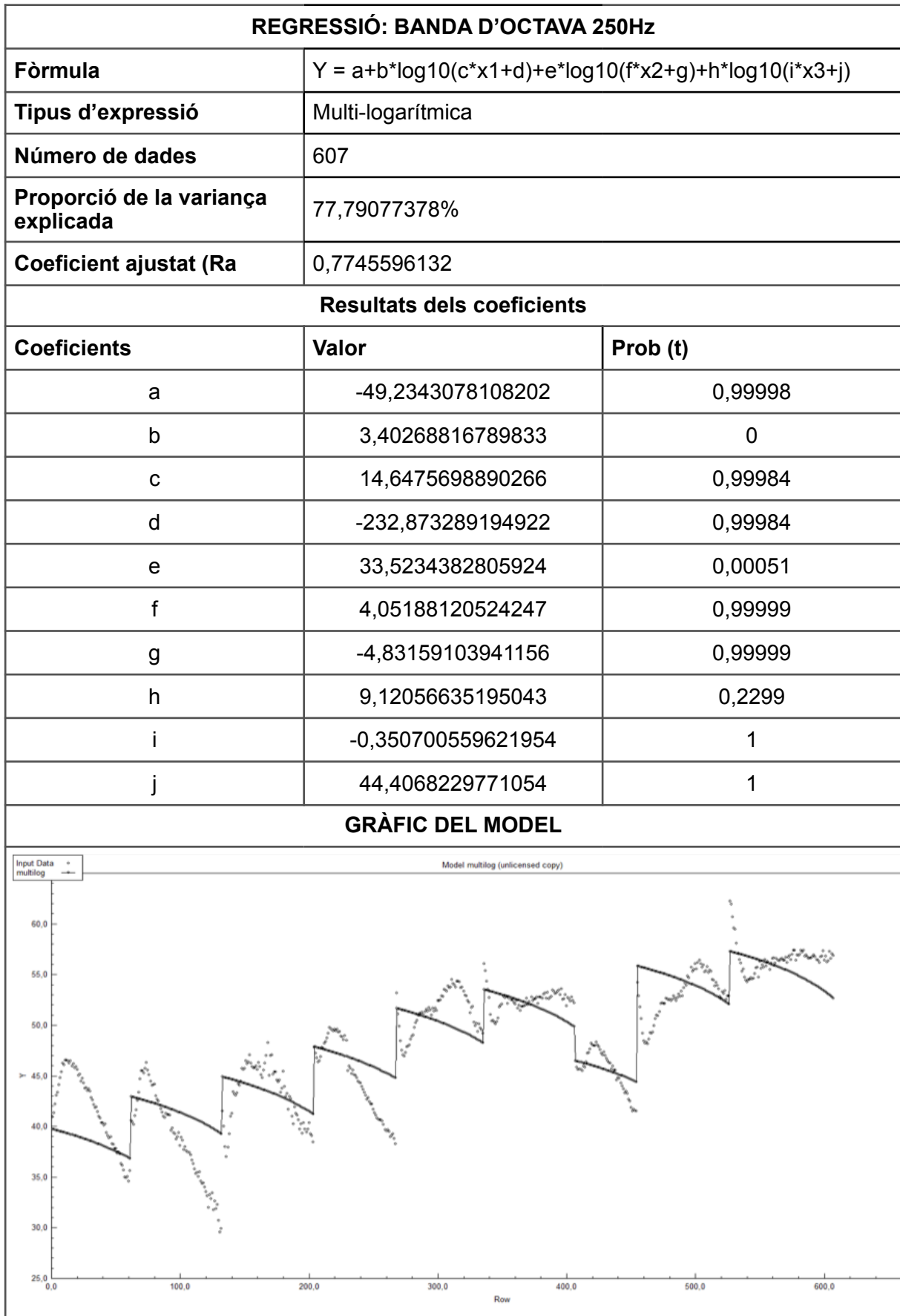


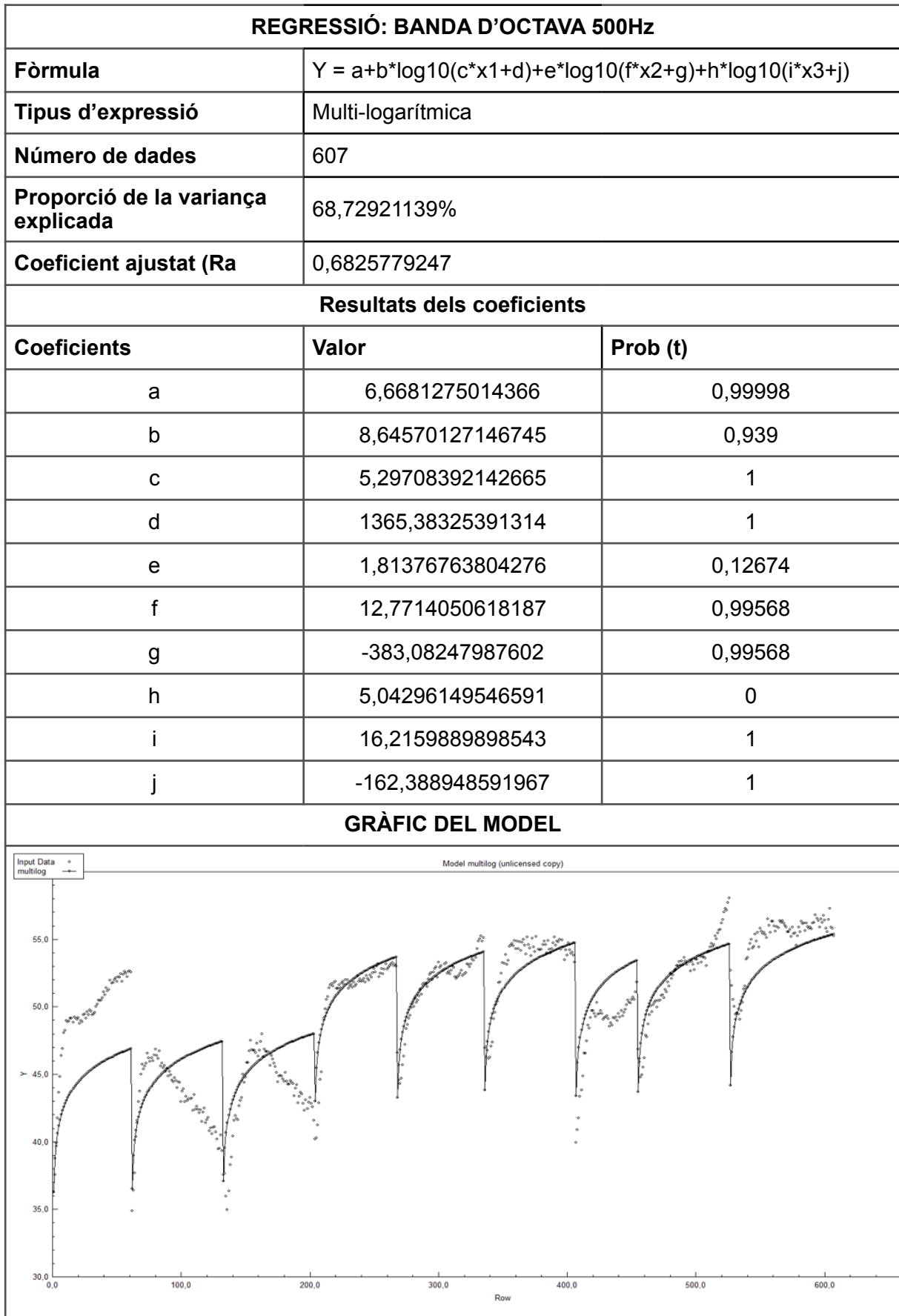


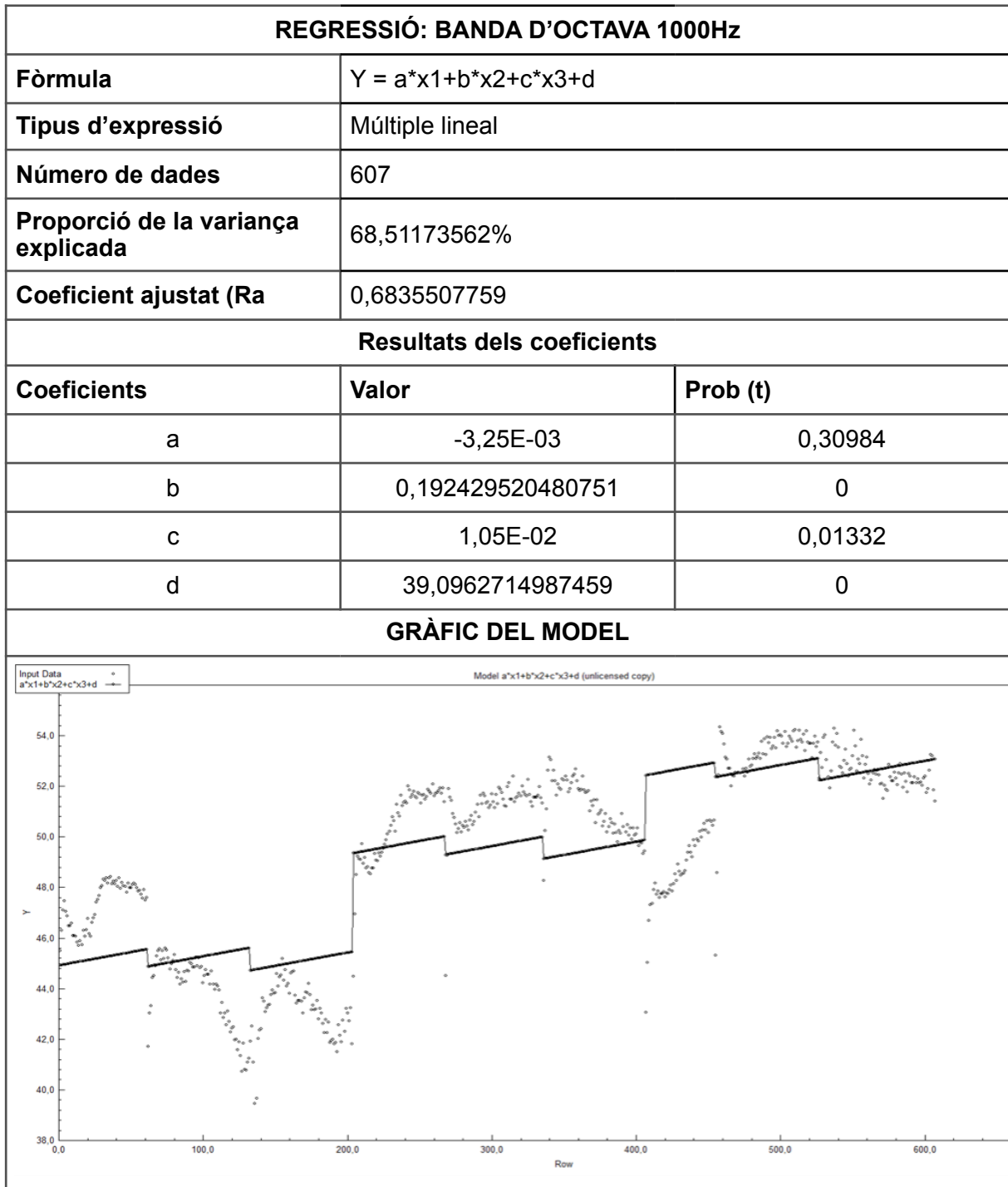
C. ANÀLISIS DE REGRESSIÓ

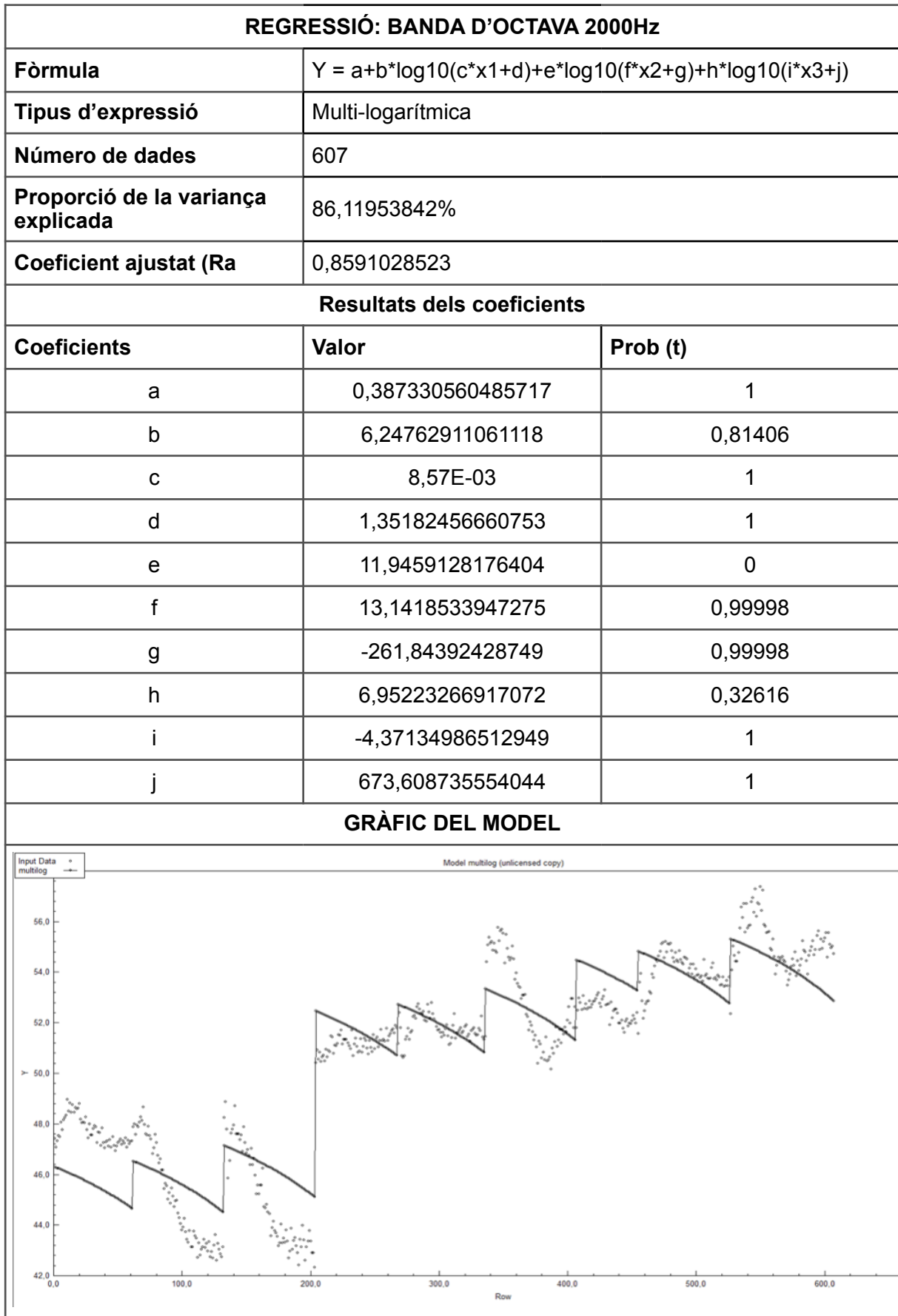


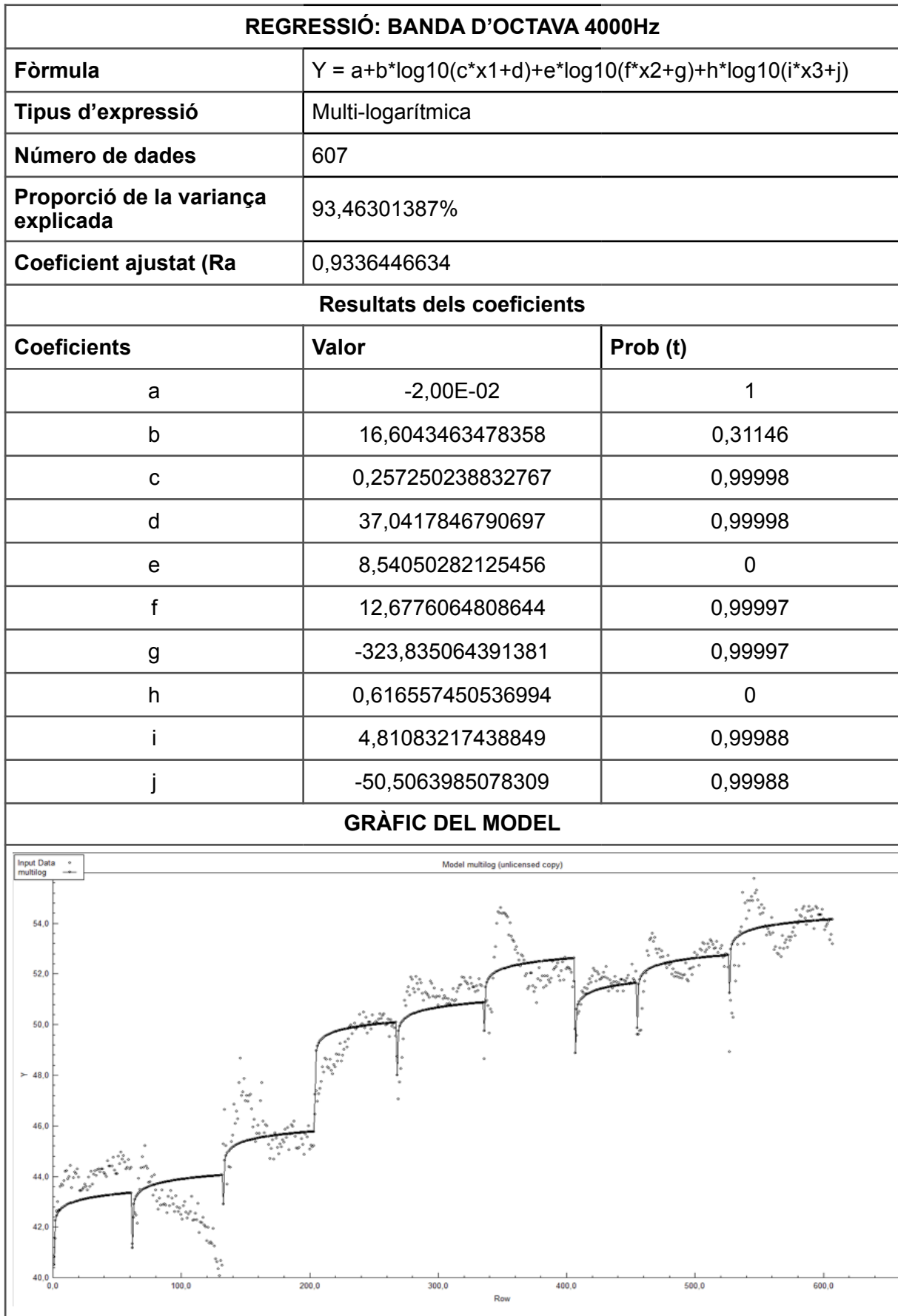


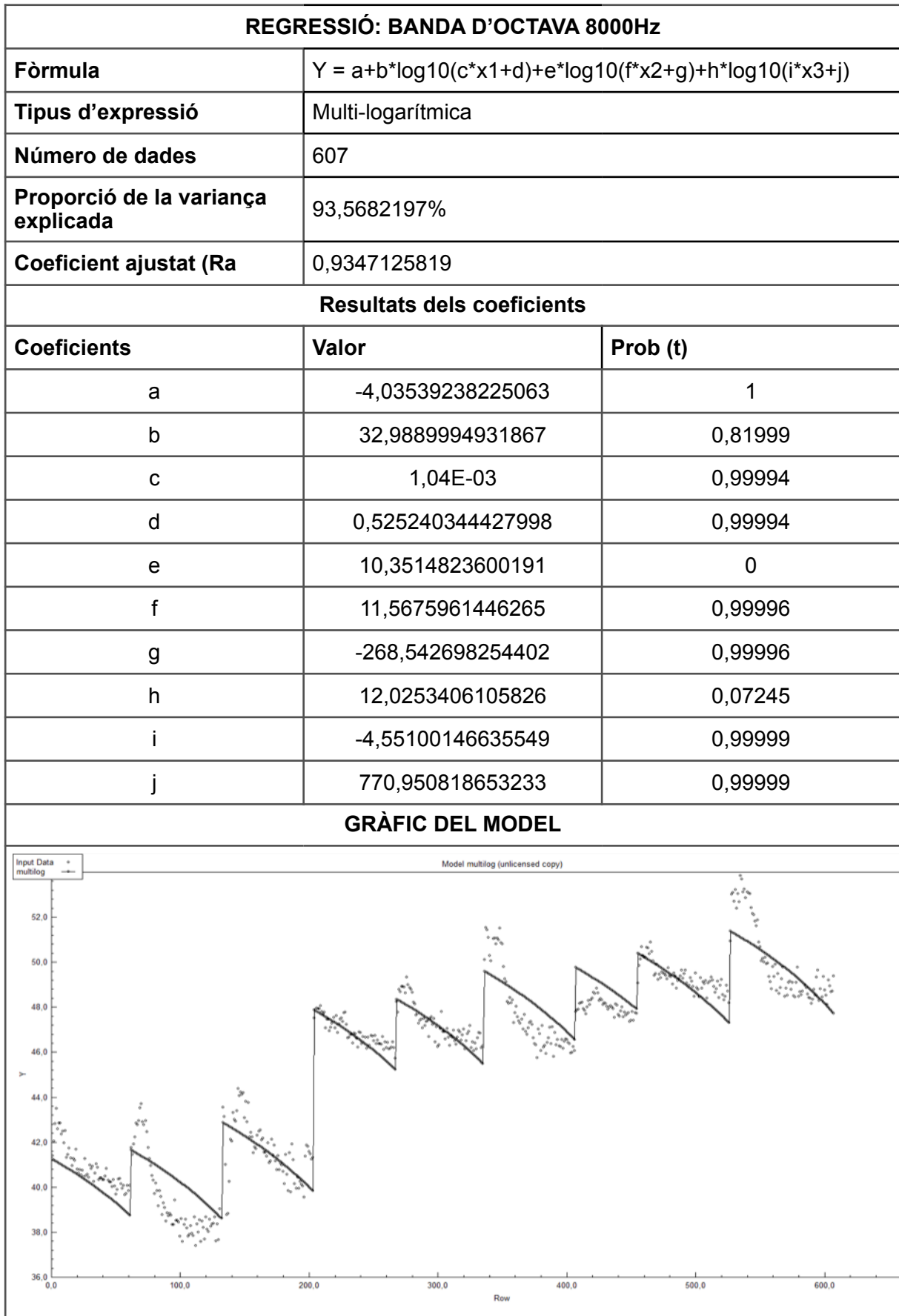












D. PRESSUPOST

D. PRESSUPOST

La realització d'aquest projecte ha comportat una sèrie de despeses i de costos. A continuació en aquest annex es detalla pas per pas l'anàlisi econòmic per a quantificar el cost del projecte.

S'analitzarà en primer lloc els costos d'enginyeria, posteriorment es farà un càlcul del cost d'amortització del material instrumental en funció del seu cost inicial i finalment s'afegeixen els costos administratius.

• Costos d'enginyeria

Dels costos d'enginyeria s'ha de diferenciar entre el treball de camp i el treball d'enginyeria. El treball de camp es considera que pot ser realitzat per un operari.

Treball de camp

El treball de camp el qual no exigeix un enginyer, el realitza un operari. El total d'hores d'operari es distribueix en temps empleat en enregistraments, temps de preparació de l'instrumental i temps de desplaçament. Les hores treballades pels operaris suposen un cost de 20 €/hora. I el total d'hores necessitades en el treball de camp són de 25 hores.

Cost del treball de camp = 25 hores x 20 €/hora = 500 €

Treball d'enginyeria

El treball d'enginyeria suposa un cost de 35 €/hora. I hem necessitat un total de 300 hores.

Cost del treball d'enginyeria = 300 hores x 35 €/hora = 10.500 €/hora

Càlcul del cost total d'enginyeria

Cost total d'enginyeria = cost de treball d'enginyeria + cost de treball de camp =
= 10.500 € + 500 € = 11.000 €

- **Costos d'amortització d'instrumental**

El material emprat per a la realització d'aquest projecte ha estat necessari material informàtic i material d'instrumentació electrònica.

Material informàtic i electrònic

DESCRIPCIÓ	QUANTITAT	PREU UNITARI	IMPORT
Ordinador	6 mesos	50 €/mes	300 €
Lloguer equip de mesura	6 dies	10 €/dia	60 €
Amortització del programa CADNA	5 h	10€/h	50 €
Amortització del programa DATA FIT	2 h	10€/h	20 €
Amortització del software 01 dB	10 dies	15 €/dia	150 €
TOTAL			580 €

Amortització total instrumental = 580 €

Costos acumulats = cost total d'enginyeria + cost total d'amortitzacions =
= 11.000 € + 580 € = 11.580 €

- **Costos administratius**

Costos administratius = 14% dels costos acumulats = 14 % 11.580 € = 1.621,2 €

- **Impostos (21% IVA)**

Base impositora = costos acumulats + costos administratius =
= 11.580 € + 1.621,2 € = 13.201,2 €

IVA = 21% de la base impositora = 21% 13.201,2 € = 2.772,25 €

El cost total del projecte serà la suma de la base impositora més el 21 % de l'IVA.

COST TOTAL DEL PROJECTE = 13.201,2 € + 2.772,25 € = 15.973,45 €