



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Disseny d'una Artificial Surf Reef (ASR) per a la Costa Catalana

Treball realitzat per:

Clara Casals i Baixas

Dirigit per:

Iván Cáceres Rabionet

Corrado Altomare

Grau en:

Ciències i Tecnologies del Mar

Barcelona, 29 de juny de 2022

Departament d'Enginyeria Marítima

TREBALL FINAL DE GRAU

AGRAÏMENTS

Aquest Treball de Fi de Grau (TFG) s'ha confeccionat per obtenir el títol de graduada en Ciències i Tecnologies del Mar de la Facultat de Camins, Canals i Ports de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Abans que res, agrair als tutors del treball, Ivan Càceres i Corrado Altomare, per l'oportunitat de poder fer el TFG amb ells, i per la seva paciència, facilitat i ajuda que m'han aportat durant tot el projecte.

I després agrair a la meva família, a la meva mare per comprendre'm incondicionalment, al meu pare per creure en mi i donar-me força i determinació en els moments que ho he necessitat i als meus germans per sempre ser la meva desconexió.

Avi, Abuelita, Abuelo i Nona, vosaltres m'heu donat la força quan se m'acabava, em prenc el treball com el punt final del grau, així que és per vosaltres. Us trobo a faltar.

RESUM

Surfejar a Catalunya no és cap fantasia, de fet aquest esport s'ha convertit en quasi una moda a la capital Barcelonina. Els inicis del Surf a Barcelona daten dels principis dels anys 90. El precedent el van portar treballadors australians que van arribar a Barcelona per la construcció de la Ciutat Olímpica.

Es poden trobar platges i ones surfejables des de 40 km al nord a 40 km al sud de Barcelona. El trencament depèn de la direcció i el swell de l'onatge, i s'ha vist que les millors condicions venen de l'Est/Nord-Est i en platges reflectants, on el fons profund permet que arribi amb molta força.

El surf del Mediterrani no es pot practicar cada dia, la mitjana de surf és d'uns 130 dies a l'any, que correspon a un 35% anual, és per això que el surfista ha d'estar atent a les previsions quasi diàriament i disposat a recórrer infinits quilòmetres a la recerca d'una onada perfecta.

Complementàriament, durant els últims deu anys han nascut els Esculls de Surf Artificials (ASR per les seves sigles en anglès, Artificial Surf Reef). Els ASR són estructures submergides dissenyades per a millorar les condicions de surf d'una platja. El seu objectiu principal és modificar el pendent del sòl on trencarà l'onada per fer variar el número d'Iribarren a valors d'onades surfejables.

Arran d'això, en la present tesina s'ha estudiat quin és el disseny òptim d'una ASR per a la costa catalana amb la finalitat d'incrementar els dies i zones surfejables, i millorar-ne les condicions. S'ha realitzat l'estudi amb dos perfils de platges, una de caràcter dissipatiu i una de caràcter reflectiu, per obtenir un ventall més gran sobre els resultats d'aquesta estructura. Per fer-ho, s'ha utilitzat el mètode Smoothed Particle Hidrodinamics (SPH) proporcionat per DualSPHysics que modificant el pendent, posició (distància costa) i longitud de l'estructura permet obtenir el disseny que millor s'adapta al clima.

També s'ha investigat sobre la possible influència de la construcció de l'ASR amb l'augment de l'economia local, veient així que el turisme del surf no és l'únic beneficiat amb la creació d'aquest escull.

Un cop dut a terme l'estudi s'ha conclòs que com a caràcter general el millor trencament es dona amb un pendent d' $1/8$ de l'estructura, i un onatge amb una alçada d'ona significant de 1.5 m i un període de 7 s. Però, en canvi, el pendent que ha generat un major rang d'onades surfejables ha estat el de $1/7$.

Paraules clau: Trencament Onatge, Artificial Surf Reef (ASR), Costa Catalana, DualSPHysics, Surf.

RESUMEN

Surfear en Cataluña no es ninguna fantasía, de hecho, este deporte, ha pasado a ser casi una moda en la capital Barcelonesa. Los inicios del Surf en Barcelona datan de principios de los años 90, donde trabajadores australianos llegaron a Barcelona para la construcción de la Ciudad Olímpica.

Se pueden encontrar playas y olas surfeables desde 40 km al norte a 40 km al sur de Barcelona. La rotura depende, fundamentalmente, de dos parámetros correlacionados, la dirección y el swell del oleaje. Se ha visto que las mejores condiciones para el surf en estas playas vienen del Este/Noreste y en playas reflectantes, donde el fondo profundo cerca de la costa permite que lleguen con mucha fuerza.

El surf de Mediterráneo no se puede practicar cada día, la media de surf es de unos 130 días al año, que corresponde a un 35% anual, por lo que el surfista debe estar atenta a las previsiones casi a diario y dispuesto a recorrer infinitos kilómetros en busca de la ola perfecta.

Complementariamente, durante los últimos diez años han nacido los Arrecifes de Surf Artificiales (ASR por sus siglas en inglés, Artificial Surf Reef). Los ASR son estructuras sumergidas diseñadas para mejorar las condiciones de surf de una playa, su principal objetivo es modificar la pendiente del suelo, donde romperá la ola, para hacer variar el número de Iribarren a valores de oleadas surfeables.

A raíz de esto, en la presente tesina se ha estudiado cuál es el diseño óptimo de una ASR para la costa catalana con el objetivo de incrementar los días y zonas surfeables, y mejorar sus condiciones. Se ha realizado el estudio con dos perfiles de playas, una de carácter disipativo y una de carácter reflectante, para obtener un mayor abanico sobre los resultados de esta estructura. Para ello, se ha utilizado el método Smoothed Particle Hidrodinamics (SPH) en el modelo DualSPHysics que, modificando la pendiente, posición (distancia a costa) y longitud de la estructura, permite obtener el diseño que mejor se adapta al clima.

También se ha investigado sobre la posible influencia de la construcción del ASR con el aumento de la economía local, viendo así que el turismo del surf no es el único beneficiado con la creación de este arrecife.

Una vez realizado el estudio se ha concluido que, la mejor rotura se da con una pendiente de la estructura de $1/8$, y un oleaje con una altura de onda significativa de 1.5 m y un período de 7 s. Pero la pendiente que ha generado un mayor rango de olas surfeables ha sido la de $1/7$.

Palabras clave; Rotura Oleaje, Artificial Surf Reef (ASR), Costa Catalana, DualSPHysics, Surf.

ABSTRACT

Surfing in Catalonia is not a fantasy, in fact this sport has become almost a fashion in the capital of Barcelona. The beginnings of surfing in Barcelona date back to the early 90s, the precedent was set by Australian workers who came to Barcelona for the construction of the Olympic City. You can find surfable beaches and waves from 40 km north to 40 km south of Barcelona. The break depends on the swell direction and its characteristics, but the best conditions have been found to come from the east/northeast and on reflective beaches, where the deep bottom close to the shore allows them to come in very strong.

Mediterranean surfing cannot be practiced every day, the average surfing is about 130 days a year, which corresponds to a 35% annual, so the surfer must be attentive to the forecasts almost daily and willing to travel endless kilometers in search of the perfect wave.

In addition, the last ten years have seen the birth of Artificial Surf Reefs (ASR). ASRs are submerged structures designed to improve the surfing conditions of a beach, their main purpose is to modify the slope of the ground where the wave will break to vary the Iribarren number to surfable swell values.

As a result, this dissertation has studied the optimal design of an ASR for the Catalan coast with the aim of increasing the number of surfable days and areas and improving surfing conditions. The study was carried out with two beach profiles, one dissipative and one reflective, to obtain a wider range of results for this structure. For this purpose, the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method on the DualSPHysics model has been used. By modifying the slope, position (distance from the coast) and length of the structure, it is possible to obtain the design that best adapts to the climate.

The possible influence of the construction of the ASR on the local economy has also been investigated, showing that surf tourism is not the only one to benefit from the creation of this reef.

Once the study has been carried out, it has been concluded that in general the best break occurs with a structure slope of $1/8$, and a wave with a significant wave height of 1.5 m and a period of 7 s. However, the slope that generated the greatest range of surfable waves was $1/7$.

Key words; Breakwater, Artificial Surf Reef (ASR), Catalan Coast, DualSPHysics, Surf.

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	- 1 -
1.1	Objectius	- 1 -
1.2	Estat de l'art.....	- 2 -
2	EL SURF	- 4 -
2.1	Classificació del tipus de trencament segons la platja	- 6 -
2.2	Antecedents.....	- 7 -
2.2.1	Cable Station Artificial Surf Reef.....	- 7 -
2.2.2	Palm Beach Artificial Surf Reef	- 7 -
2.3	L'economia del surf.....	10
3	ZONA D'ESTUDI	12
3.1	Costa Catalana	12
3.1.1	Batimetria, sediment i orientació.....	12
3.1.2	Clima mitjà	13
3.2	Platges estudiades	14
3.2.1	Platja de la Paella	15
3.2.2	Platja del Litoral.....	19
4	MODELAT NUMÈRIC	22
4.1	Mètode SPH	23
4.2	Model DualSPHysics.....	27
4.3	Condicions inicials i condicions de contorn.....	28
4.4	Configuració de les simulacions	31
4.4.1	Configuració del domini	31
4.4.2	Configuració de DualSPHysics	32
5	ANÀLISI DE LES DADES	36
6	CAS D'ESTUDI	39
6.1	Dades d'estudi	39
6.2	Resultats	41
7	DISCUSSIÓ	56
8	CONCLUSIONS.....	60
8.1	Conclusions.....	60
8.2	Treball futur	61
9	BIBLIOGRAFIA.....	63
	ANNEX 1. CODI MATLAB – ANÀLISI DE DADES	67

ANNEX 2. CONFIGURACIÓ BASICA SPH (CAS SIM_60_mDBC)	70
ANNEX 3. NOTES DE SIMULACIONS.....	75

LLISTAT DE FIGURES

Figura 2-1. Classificació del trencament en funció de la forma. FONT:(Galvin, 1968)	- 4 -
Figura 2-2. Il·lustració de les diferents velocitats en una onada. Font: surfermag.com	- 5 -
Figura 2-3. Cable Statition ASR. Font: raisedwaterresearch.com	- 7 -
Figura 2-4. Disseny de l'estructura del Palm Surf Reef. Font: raisedwaterresearch.com	- 8 -
Figura 2-5. Rànquing de freqüència segons el tipus de turisme. Font: (Rendle & Rodwell, 2014).	10
Figura 3-1. Tipus de costes al litoral català. Font: (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2010)	12
Figura 3-2. Règim mitjà (esquerra) i extremal (dreta) escalats de la costa catalana. Font: ROM 0_3-91 (1992).....	13
Figura 3-3. Roses d'onatge de la Costa Catalana. FONT: (ROM 0_3-91, 1992)	14
Figura 3-4. Localització de la platja de la Paella. Font: Google Earth.....	14
Figura 3-5. Localització de la platja del Parc del Litoral. Font: Google Earth.	15
Figura 3-6. Batimetria de la Platja de la Paella. Font: Elaboració Pròpia, dades de Navionics....	16
Figura 3-7. Rosa d'onatge i direcció de la Platja de la Paella. Font: Puertos del Estado.	16
Figura 3-8. Batimetria de la Platja del Litoral. Font: Elaboració Pròpia, dades de Navionics.	19
Figura 3-9. Rosa d'onatge i direcció per la platja del Parc del Litoral. Font: Puertos el Estado. .	20
Figura 4-1. Domini d'interacció. Font: WikiCommons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SPHInterpolationColorsVerbose.svg)	24
Figura 4-2. Comparació de simulació amb DDT de Fourtakas i sense. Font: (Vacondio, 2021) ..	26
Figura 4-3. Esquema mDBC. Font: (English et al., 2021)	30
Figura 4-4. Esquema del domini de les simulacions. Font: Elaboració pròpia.	31
Figura 4-5. Simulació SIM_49_mDBC, pendent 1/6. Font: Elaboració pròpia.....	31
Figura 4-6. Simulació SIM_50_mDBC, pendent 1/7. Font: Elaboració pròpia.....	32
Figura 4-7. Simulació SIM_51_mDBC, pendent 1/8. Font: Elaboració pròpia.....	32
Figura 4-8. Exemple de la simulació de validació amb i sense funció AWAS. Font: Elaboració pròpia.....	33

Figura 4-9. Punts on es troben els sensors de la simulació. Font: Elaboració pròpia.	33
Figura 4-10. Visualització de la propagació d'ones en la simulació SIM_00_mDBC. Font: Elaboració pròpia.	34
Figura 4-11. Postprocessat de la simulació SIM_00_mDBC. Font: Elaboració pròpia.	35
Figura 5-1. Zona de trencament esperat. Font: Elaboració pròpia.	36
Figura 5-2. Ones que no utilitzem per al càlcul (esquerra) i pic del trencament a la posició $x = 52.5$ m (dreta). Font: Elaboració pròpia.	37
Figura 5-3. Representació del gradient d'una onada. Font: Elaboració pròpia.	37
Figura 5-4. Punt de cota mínima, generalment al cantó del final del pendent. Font: Elaboració pròpia.	38
Figura 6-1. Línies de batimetria de la Platja de la Paella (esquerra) i la platja del Parc del Litoral (dreta). Font: Navionics.	40
Figura 6-2. Colorbar de les velocitats del fluid. Font: DualSPHysics con visor Paraview.	42
Figura 6-3. Superfície lliure i posició en la que ha trencat cada simulació. Font: Elaboració pròpia.	42
Figura 7-1. Imatge de la simulació SIM_48_mDBC. Font: Elaboració pròpia.	56
Figura 7-2. Exemple de cas on el francbord és massa petit pel clima d'onatge que hi ha (SIM_13_mDBC). Font: Elaboració pròpia.	56
Figura 7-3. Comparació trencament teòric amb trencament modelat. Font: Elaboració pròpia.	57
Figura 7-4. Llegenda (colobar) de les simulacions, densitat (kg/m^3). Font: DualSPHysics con visor ParaView.	57
Figura 7-5. Densitat de la SIM_24 a l'esquerra (DBC) i de la SIM_60_mDBC a la dreta (mDBC). Corresponen a l'instant 196. Font: Elaboració pròpia.	58
Figura 7-6. Superposició de la SIM_24 i la SIM_60_mDBC (densitat). Instant 196. Font: Elaboració pròpia.	58

LLISTAT DE TAULES

Taula 2-1. Valors d'Irribarren. Font: Elaboració pròpia.	- 5 -
Taula 2-2. Velocitat de remada (Henriquez et al., 2005). Font: Elaboració Pròpia.	- 6 -
Taula 2-3. Taula resum de les diferents ASR dissenyades. Font:(López et al., 2016).....	9
Taula 3-1. Clima mitjà de la Platja de la Paella. (Font: Elaboració Pròpia).....	17
Taula 3-2. Clima d'onatge de la Platja de la Paella, període 1958-2022. Font: Puertos del Estado.	18
Taula 3-3. Clima mitjà de la Platja del Parc del Litoral (Font: Elaboració Pròpia).	20
Taula 3-4. Clima d'onatge de la Platja del Parc del Litoral, període 1958-2022. Font: Puertos del Estado.	21
Taula 4-1. Valors per defecte de la simulació. Font: Elaboració pròpia.....	34
Taula 6-1. Trencament teòric. Font: Elaboració pròpia.	39
Taula 6-2. Taula resum dels paràmetres (en blau) de les simulacions que han aportat resultats.	41
Taula 6-3. Taula de resultats per a la SIM_00_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	43
Taula 6-4. Taula de resultats per a la SIM_49_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	44
Taula 6-5. Taula de resultats per a la SIM_50_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	45
Taula 6-6. Taula de resultats per a la SIM_51_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	46
Taula 6-7. Taula de resultats per a la SIM_52_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	47
Taula 6-8. Taula de resultats per a la SIM_53_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	48
Taula 6-9. Taula de resultats per a la SIM_54_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	49
Taula 6-10. Taula de resultats per a la SIM_55_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	50
Taula 6-11. Taula de resultats per a la SIM_56_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	51
Taula 6-12. Taula de resultats per a la SIM_57_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	52
Taula 6-13. Taula de resultats per a la SIM_58_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	53
Taula 6-14. Taula de resultats per a la SIM_59_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	54
Taula 6-15. Taula de resultats per a la SIM_60_mDBC. Font: Elaboració pròpia.....	55

Taula 7-1. Comparació de l'alçada d'ona escalada per una simulació amb condicions de contorn mDBC i l'altre amb DBC. Font: Elaboració pròpia.58

Taula 7-2. Taula resum dels resultats. H (m), Posició (m), Gradient (m) i Cota (m), les dades no estan escalades. Font: Elaboració pròpia.59

1 INTRODUCCIÓ

El nombre d'aficionats que se sumen al Surf a Catalunya ha augmentat exponencialment en les últimes dècades (Valencia et al., 2020), paral·lelament, el nombre de platges amb condicions òptimes pel surf són comparativament poques i amb una tendència a anar a la baixa a causa de projectes de construcció costanera. Això prova que aquestes platges cada vegada estiguin més abarrotades i sotmeses a majors pressions, el que fa augmentar el risc de lesions.

Per tant, hi ha una demanda creixent de millorar les condicions de surf locals que es podria satisfer amb estructures costaneres submergides.

Un escull artificial pel surf o *Artificial Surf Reef* (ASR) és un escull submergit amb el propòsit de millorar la qualitat de les condicions de surf locals. Ja hi ha diversos dissenys que s'han provat arreu del món i la demanda augmenta amb els anys. També se'ls anomena esculls artificials multifuncionals (MFAR per les seves sigles en anglès MultiFunctional Artificial Reef), ja que no només estan destinats a millorar les condicions de surf, sinó que se n'han construït des de la branca de la protecció costanera davant un onatge erosiu (Black, 1999) i directament lligat amb aquest, per millorar la biodiversitat local i afegir valor ecològic a la zona (Mead & Black, 1999).

La millora de la biodiversitat local es pot enfocar a nous hàbitats de corall i major varietat de peixos (Mead & Black, 1999) que podria donar suport a la pesca recreativa, el busseig i altres esports aquàtics, i, per tant, contribuir positivament a l'economia local (Rendle & Rodwell, 2014).

L'enfocament convencional per construir un escull artificial pel surf és el de crear una topografia irregular del fons marí, ja que, a mesura que les ones s'apropen a la costa, i es troben l'escull, es veuen obligades a trencar pel canvi bruscat de profunditat.

Actualment, hi ha diverses propostes de construcció de nous esculls artificials pel surf, en països com Nova Zelanda, Estats Units, Regne Unit i Països Baixos.

1.1 Objectius

L'objectiu principal del treball, és idear una metodologia capaç d'obtenir un disseny òptim del pendent d'una ASR, que permeti millorar les condicions de surf de la costa catalana. Aquests pendents seran provats davant diferents condicions d'onatge observant la variància en el trencament que es produeix. Les tres principals components amb les quals se sustenta el disseny del pendent són l'estudi inicial del clima d'onatge de la costa catalana, la configuració d'una simulació base que sustenti un gran rang de casos i un sistema de postprocessat dels resultats aconseguits per aconseguir les dades del trencament per al cas d'estudi.

Per a la configuració de la simulació base, donades les condicions del projecte, s'ha optat per utilitzar un model numèric lagrangià com és el model de DualSPHysics (Smoothed Particle Hydrodynamics), ja que és un model flexible i adaptable que representa amb precisió el trencament de l'onatge.

Per tal d'arribar al nostre objectiu principal, és necessari agafar soltesa a l'hora de programar la configuració, l'execució de la simulació i del postprocessat.

Les tasques programades a realitzar durant la present tesi són:

- 1.- Llegir l'estat de l'art sobre el disseny d'estructures ASR.
- 2.- Recopilar informació sobre el clima d'onatge mitjà i extrem per a la costa catalana.
- 3.- Classificar les platges que tenim en funció de la seva batimetria, sediment i orientació.
- 4.- Fer el disseny de diferents ASR que puguin optimitzar les condicions del surf.
- 5.- Verificar el canvi en les condicions de trencament (tipus de trencament) que els diferents dissenys d'ASR proporcionen.

1.2 Estat de l'art

En tot el món hi ha al voltant de 15 projectes, executats o no, d'esculls artificials amb l'objectiu de millorar condicions de surf o dissipar energia per reduir l'erosió a la platja. Arran d'això s'han realitzat alguns estudis per tal d'optimitzar el disseny i funcionalitat d'aquestes estructures:

The multifunctional artificial reef and its role in the defence of the Mediterranean coast

López et al., (2016) estudia la influència del clima marítim, la biocenosi, el transport de sediment, l'evolució de la costa, la intensitat i direcció dels corrents, el nivell dels surfistes i altres factors locals, en el disseny d'una Multifunctional Artificial Reef (MFAR) per a la costa catalana.

Hydrodynamics around an Artificial Surfing Reef at Leirosa, Portugal

També hi ha estudis sobre els canvis de la hidrodinàmica associada a aquests esculls artificials. Mendonça et al., (2012) realitza un estudi numèric on s'estudien els principals paràmetres del disseny d'una ASR (el tipus de trencament, el *peel angle*, l'alçada d'ona en el moment del trencament i corrents de la vora) i la seva funcionalitat per protegir a la costa, en funció de dues geometries diferents.

Artificial surf reefs: A preliminary assessment of the potential to enhance a coastal economy

Rendle & Rodwell, (2014) investiga les afirmacions de què una Artificial Surf Reef millora l'economia costanera a través del turisme del surf i altres activitats aquàtiques.

Surf Tourism, Artificial Surfing Reefs, and Environmental Sustainability

Slotkin et al., (2009) explora la confluència del turisme del surf, els esculls artificials destinats al surf i a la sostenibilitat, discutint detalls empírics del turisme del surf juntament amb les possibles implicacions per la sostenibilitat.

Designing a multifunctional artificial reef: studies on the influence of parameters with most influence in the vertical plane

Antunes do Carmo et al., (2011) ha investigat la influència de la immersió i la longitud del pendent de l'escull en el tipus de trencant. El disseny preliminar es va treure a partir de la teoria i l'estat de l'art d'esculls ja dissenyats, i es va utilitzar com a disseny inicial en proves físiques i numèriques. La investigació es va realitzar fent servir el model numèric COBRAS-UC.

Així i tot, encara hi ha molta feina per fer, per tal, d'optimitzar el disseny d'aquestes estructures.

2 EL SURF

El surf és un esport d'aigua que consisteix a desplaçar-se i realitzar girs i maniobres sobre una taula aprofitant la força d'una onada, i ve determinat per diferents paràmetres que condicionen la seva dificultat i la forma en la qual se surfeja.

Com es deia, hi ha certs paràmetres que determinen la dificultat d'aquest esport, un d'ells n'és l'alçada d'ona. Avui en dia és surfejen onades des dels 0.5 m d fins als 25 m d'alçada d'ona aproximadament, a excepció dels *longboarders*, que poden surfejar onades a partir del 0.15 m d'alçada. El 29 d'octubre de 2020, l'alemany Sebastian Steudtner, de 37 anys, va fer història a la Praia do Norte, en Nazaré, surfejant una onada amb una alçada de quasi 27 m.

A part de l'alçada d'ona, la forma en la qual una onada trenca també és un punt rellevant a considerar. Segons Galvin (1968), les principals formes que podem trobar són (Figura 2-1); el trencament en Spilling on les ones trenquen seqüencialment a mesura que toquen amb el fons, produint una dissipació d'energia durant el llarg d'aquest trencament i una superfície d'aigua espumosa. El trencament en Plunging on la cresta de l'ona s'enrosca sobre la cara frontal i cau a la base de l'onada, contenen alts nivells d'energia i l'onada sol formar formes de tub. El trencament de Collapsing que es defineix per ser una onada que trenca o cau de cop, produint una superfície irregular i turbulenta, i s'acostuma a trobar en esculls amb marea baixa. I per últim, el trencament Surging, on la cresta roman intacta y la cara frontal de la onada avança cap a la platja amb un trencament menor.

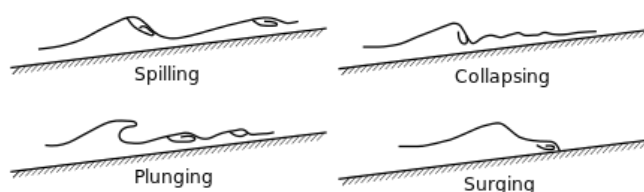


Figura 2-1. Classificació del trencament en funció de la forma. FONT:(Galvin, 1968)

Els tipus de trencament surfejables són el spilling, sobretot per a surfistes principiants i de nivell entremig, i el plunging, que és el trencament per excel·lència dels surfistes professionals.

El número Iribarren (Battles, 1974) ajuda a predir el tipus de trencament que hi haurà. És funció de l'alçada de l'onada en el punt de trencament (H_b), la longitud de l'onada en aigües profundes (L_o) i el pendent del fons, i es defineix de la següent manera:

$$\mathcal{E}_b = \frac{S}{\sqrt{\frac{H_b}{L_o}}}$$

A continuació, a la Taula 2-1, veiem quins valors d'Irribarren comprenen els diferents règims de trencament.

Trencament segons valor d'Irribarren	
Regim	Valor
<i>Surging/Collapsing</i>	$Irr > 2.0$
<i>Plunging</i>	$0.4 > Irr > 2.0$
<i>Spilling</i>	$Irr < 0.4$

Taula 2-1. Valors d'Irribarren. Font: Elaboració pròpia.

Un altre paràmetre rellevant en l'esport del surf és el *peel angle* (representat a la Figura 2-2), que és l'angle que es forma entre la cresta de l'ona i la línia de trencant provocant un trencament gradual amb una velocitat determinada, la *peel velocity* (V_p).

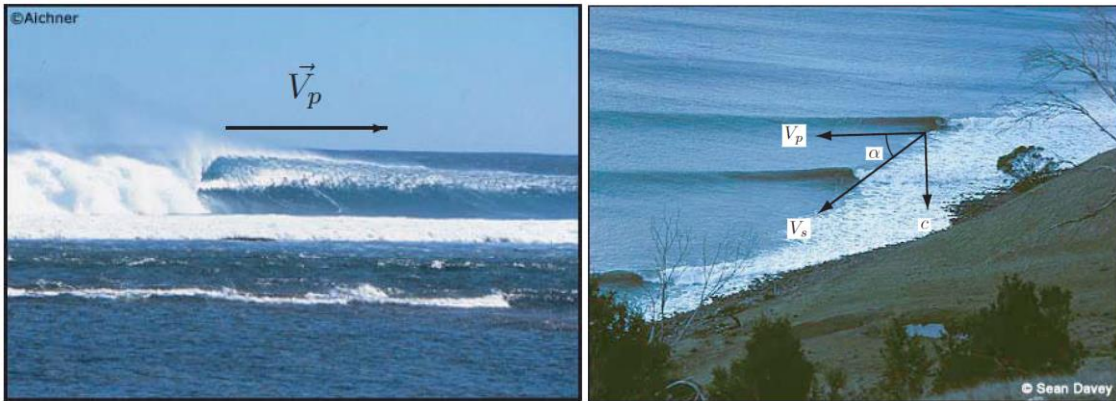


Figura 2-2. Il·lustració de les diferents velocitats en una onada. Font: surfermag.com

La velocitat que experimenta el surfista (V_s) és la suma absoluta de la celeritat de l'ona (c) i la V_p , i es pot definir com:

$$\vec{V}_s = \frac{\vec{c}}{\sin \alpha}$$

És per això, que quan el *peel angle* és molt petit, la velocitat que experimenta el surfista serà massa gran. Per tant, el *peel angle* ha de tenir un angle mínim que permeti surfejar l'ona. Aquest peel rate varia de 30 a 70° aproximadament segons l'alçada de l'ona i el nivell del surfista (Hutt et al., 2001). Com més experimentat sigui l'esportista i més petita sigui l'ona, menor serà el *peel angle*. Per a surfistes principiants, el *peel angle* òptim sol ser de 0°.

Per últim, els corrents al voltant d'un trencant són de vital importància a l'hora de considerar-ne la surfabilitat. Es pot donar el cas que les onades estiguin en perfectes condicions per surfejar, però que siguin inassolibles a causa dels forts corrents. Normalment, aquests casos són rars, però remar constantment per mantenir la posició no és l'ideal. Henriquez et al. (2005) va estudiar el temps que un surfista pot remar segons la seva intensitat (funció de la velocitat i el tipus de taula), i ho va classificar en tres tipus diferents; la remada lenta es pot mantenir durant més de 10 minuts, la moderada només es pot mantenir durant uns minuts i la ràpida, que s'utilitza específicament per recolzar l'enlairament, només es pot mantenir durant poc temps. Es poden veure els resultats d'Henriquez et al., (2005) a la següent taula;

Velocitat de remada d'un surfista [m/s]		
Remada	Shortboard 6'3"	Longboard 9'3"
Lenta	0.9	1.0
Moderada	1.3	1.4
Ràpida	1.8	1.9

Taula 2-2. Velocitat de remada (Henriquez et al., 2005). **Font: Elaboració Pròpia.**

Se sap que els corrents de ressaca destrueixen les bones onades surfjables. Els corrents de ressaca són corrents estrets i forts, que es mouen cap al mar a través de la zona de surf (Bowen, 1969). Quan el corrent de ressaca travessa la zona de trencant, l'onada sembla tenir una superfície aspra i trenca de forma no apta per al surf. Així i tot, els corrents de ressaca poden tenir avantatges, ja que el surfista les pot utilitzar per sortir fàcilment de la zona de trencament.

2.1 Classificació del tipus de trencament segons la platja

Com s'ha explicat en l'apartat 2, el número d'Iribarren, que ens indica el tipus de trencament, ve determinat pel pendent en aquell punt, i que, per millorar-hi les condicions de surf, l'onada ha de trencar gradualment cap a una direcció (*peel angle*). Per tant, cada platja amb la seva respectiva batimetria, determina, generalment, part del trencament.

Les platges de sorra solen ser platges amb batimetries planes i les onades acostumen a tancar-se a causa d'un *peel angle* molt petit (trencament tipus *collapsing*). Així i tot, no totes ho són, hi ha platges de sorra amb un fons irregular que produeixen onades amb suficient *peel angle* perquè puguin ser surfjades.

A més de les platges de sorra, hi ha onades que trenquen degut a punt de trencament o *breakpoint* marcat per una batimetria convergent i sòls de roca o sorra. Sol produir ones grans i llargues i pateixen una forta refracció (l'energia de les ones es distribueix a una major longitud de la cresta). Generalment són onades amb altures relativament baixes.

Finalment, també trobem el trencament degut a un escull, que es dona quan el trencament es dona sobre roques o formacions coral·lines amb grans pendents. Aquests grans pendents provoquen trencaments amb molta energia tipus *Plunging* que correspon a alts valors del número d'Iribarren.

2.2 Antecedents

Per poder obtenir una idea més clara sobre els esculls artificials i com funcionen, en els següents apartats, es poden apreciar dos casos d'esculls al continent Austràlia (el pioner en aquesta nova enginyeria de costes), i a la Taula 2-3 una col·lecció dels diferents projectes que s'han elaborat.

2.2.1 Cable Station Artificial Surf Reef

Una de les primeres Artificial Surf Reef (ASR) va ser construïda prop de Perth a Austràlia i anomenada Cable Station (Figura 2-3). Per al disseny (Button, 1991) es va realitzar un estudi de laboratori en un canal per determinar el pendent òptim del fons de l'escull. L'estudi va indicar que un pendent d'1:20 produiria onades en picat (tipus collapsing) en la majoria de condicions d'onatge del disseny. Un any després (Pattiaratchi, 1999) va portar a cap un estudi amb un model físic per determinar la forma òptima de la mateixa estructura i va aplicar un model d'onatge de refracció-difracció per determinar l'augment de la surfabilitat en col·locar un ASR. El número d'Iribarren es va modificar per tenir en compte la força del vent. L'estudi va indicar que, mitjançant la construcció d'un ASR, el nombre de dies surfejables es multiplicaria per cinc. L'ASR es va construir sobre una formació rocosa de pedra de granit i es pot classificar com un *reef break*. Els costos de construcció de l'escull van ser d'1,2 milions de dòlars.

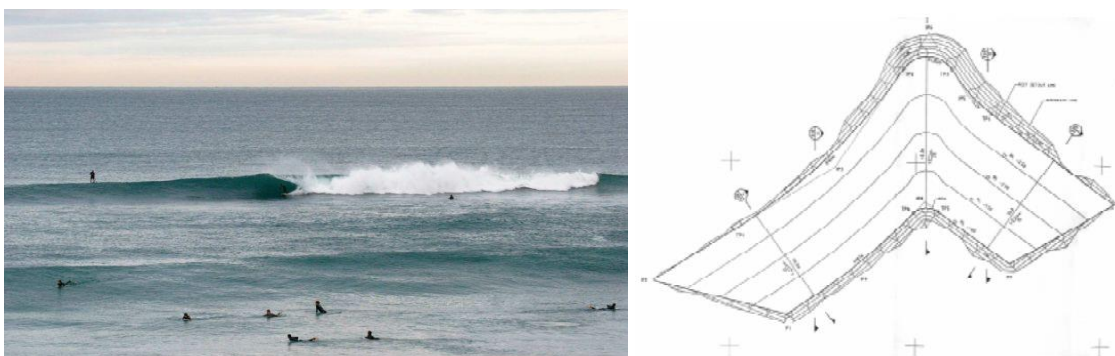


Figura 2-3. Cable Station ASR. Font: raisedwaterresearch.com

2.2.2 Palm Beach Artificial Surf Reef

Palm Beach Reef és un escull artificial situat davant de la Golden Coast d'Austràlia. Es va construir amb l'objectiu principal de protegir la costa, però es va realitzar un estudi complementari del disseny per millorar les condicions de surf.

El projecte va començar l'any 2013, realitzat per DHI Austràlia, amb Simon Mortensen com a director i enginyer principal. Durant el 2015, es va validar el disseny presentat i investigar l'estabilitat estructural a partir d'una modelització numèrica i una modelització física.

Es va dissenyar una escullera submergida amb l'objectiu de reflectir l'energia de les ones cap a la cresta poc profunda (Figura 2-4). El disseny de l'escull pretenia canalitzar l'energia en una onada contínua i previsible. L'equip va dissenyar l'escull per produir onades amb una cara oberta que permetés als surfistes intermedis i avançats treballar en els seus girs (Pattiaratchi, 1999). Segons Mortensen et al. (2015), l'escull hauria de funcionar bé amb onades iguals o superiors a 1.5m d'alçada en mar obert, amb una marea baixa o intermèdia.

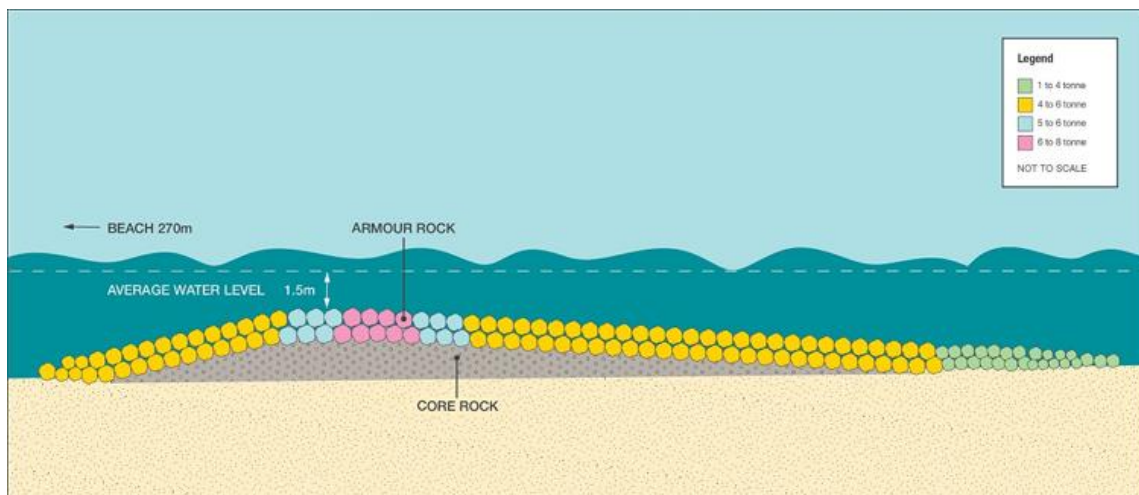


Figura 2-4. Disseny de l'estructura del Palm Surf Reef. Font: raisedwaterresearch.com

SFGC^a: Sand File Geotextile Containers

Taula 2-3. Taula resum de les diferents ASR dissenyades. Font:(López et al., 2016)

Table 1
Collection on the multifunctional artificial reef.

MFAR	Goal	Type	Structure	Modelling	Surfability study	Peel angle	Currents	Local factors	Coast evolution	Distance to the coast	Erosion/accretion	Surfer level	Proliferation wildlife	Surf improvement	Reference
Bargara (Australia, 1997)	Surf	Rock	Parallel to the coast	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	✓	1
Cables (Australia, 1998-1999)	Surf	Rock	Boomerang	Numeric and scale	✓	✓	✓	Waves and tides	YES (after construction)	300 m	No change	X	X	✓	2-7
Narrowneck (Australia, 2000)	Coastal defence and surf	SFGC ^a without seam	V slit in the middle	Numeric	✓	✓	✓	Waves and tides	✓	250 m	Accretion 50 m	3-7	✓	YES (but under large waves)	8-11
Prattes (USA, 2001)	Surf	SFGC ^a without seam	Delta	Numeric	X	X	X	Waves and tides	YES (after construction)	80 m	No change	X	✓	NO (removed 2008X2010)	12
Mount Maunganui (NZ, 2006)	Surf	SFGC ^a without seam	V	Numeric and scale	✓	X	✓	Waves, tides and sediment flow	YES (after construction)	250 m	Accretion	X	✓	✓	13
Opunake (NZ, 2010)	Surf	SFGC ^a without seam	Parallel to the coast	Numeric	✓	✓	X	Waves and tides	X	X	X	X	✓	X	14-15
Boscombe (UK, 2009)	Coastal defence, economy and surf	SFGC ^a without seam	Perpendicular to the coast	Numeric and scale	✓	✓	✓	Waves and tides	YES (after construction)	225 m	No change	3-6	X	NO (extremely complex)	16
Kovalam (India, 2010)	Coastal defence, economy and surf	SFGC ^a without seam	Oblique to the coast	Numeric and physical	X	X	✓	Waves and tides	X	X	Accretion	X	✓	NO (few days of decent surf)	17
Ventura Oil (USA, unbuilt)	Coastal defence and surf	SFGC ^a without seam	L	Numeric and scale	✓	✓	✓	Waves, tides and sediment flow	X	250 m	X	4-7	X	X	18
Long Branch (USA, unbuilt)	Surf	SFGC ^a without seam	V	Numeric	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	19
Newquay (UK, unbuilt)	Surf	SFGC ^a , or SFGC ^a with rocky core, or SFGC ^a with pneumatics core	V slit in the middle	Numeric	X	X	✓	X	X	X	X	X	X	X	20-21
São Pedro (Portugal, unbuilt)	Surf	SFGC ^a	Parallel to the coast	Numeric	X	✓	✓	Waves, tides and winds	X	X	X	X	X	X	22-23
Orewa (NZ, unbuilt)	Coastal defence and surf	SFGC ^a without seam	Four sets of L reefs	Numeric	X	X	✓	Waves, tides and sediment transport	X	X	X	X	X	X	24
Barcelona (Spain, unbuilt)	Coastal defence and surf	SFGC ^a without seam	V	Numeric	X	X	✓	X	✓	180 m	X	X	X	X	25
Brevard (USA, unbuilt)	Coastal defence and surf	SFGC ^a without seam	V	Numeric	X	X	✓	X	X	300 m	X	X	X	X	26

L López et al. / Science of the Total Environment 550 (2016) 910–923

2.3 L'economia del surf

Ja han passat quasi dues dècades des de la primera construcció d'una Artificial Surf Reef vora Perth, Austràlia. Des de llavors, desenes d'esculls s'han construït amb diferents graus d'èxit; a EEUU (que es va retirar anys després), a Austràlia, dues a Nova Zelanda, a l'Índia i a Regne Unit (es poden veure els projectes més detallats a la Taula 2-3).

Cada estructura s'ha construït seguint un projecte d'enginyeria de disseny amb suport d'un model numèric o físic, indicant la probabilitat de millora de les condicions de surf.

En estudis previs s'ha observat que inicialment l'ASR actua com a atracció turística, i mentre dura la novetat, l'economia de la zona augmenta. Amb el temps, l'ASR baixa el pic de popularitat, i, tot i que, el moviment econòmic que generava es redueix, continua tenint un efecte positiu sobre l'economia local. S'ha observat que els surfistes solen ser persones que gasten poc i que poques vegades pernocten a les ciutats on s'ha implementat l'escull, per tant, la seva aportació a l'increment de l'economia local es casi nul·la o molt baixa, en canvi, en els visitants no surfistes, sí que s'ha observat que es veuen atrets pel màrqueting associat al complex de surf (Rendle & Rodwell, 2014).

A la figura de baix (Figura 2-5), s'hi pot veure un rànquing de freqüència de les raons per les quals es fa turisme a la ciutat de Boscombe Seafront, on hi ha instal·lada una ASR.

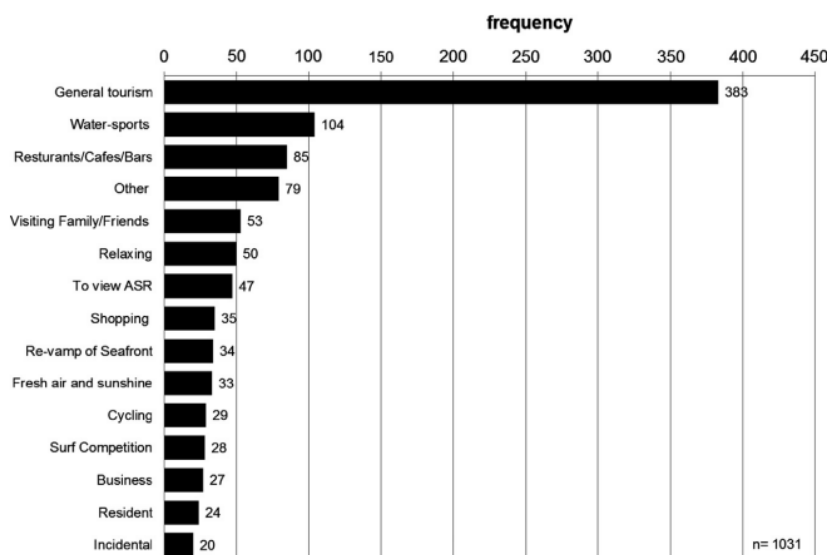


Figura 2-5. Rànquing de freqüència segons el tipus de turisme. Font: (Rendle & Rodwell, 2014).

Davant d'això (Rendle & Rodwell, 2014) va determinar algunes recomanacions per incrementar l'economia local respecte la instal·lació de l'ASR; durant el projecte d'enginyeria de detall, obrir un període de consulta amb la comunitat de surfistes i la comunitat local per determinar si un ASR és desitjable, realitzar avaluacions d'impacte de l'escull per parts independents abans de tenir la concessió i permís de construcció, les expectatives de la comunitat han de ser gestionades a través d'un màrqueting honest i una informació acurada als mitjans de comunicació. Per últim, és important que el projecte inclogui una contingència pel cost del manteniment, reparació o eliminació de l'estructura, per si aquesta no funciona.

Així i tot, el turisme de surf, no és l'únic factor que pot fer augmentar l'economia local, com ja s'ha comentat, aquests esculls poden ser multifuncionals i afegir un valor ecològic i de protecció. El possible augment d'habitats de coralls, biodiversitat d'espècies, etc., lligat al valor ecològic ja mencionat, pot fer augmentar tant el turisme d'oci de submarinisme, apnea o snorkel, com el sector de la pesca local. Per altra banda, al protegir també la zona costanera es disminueix la seva exposició i vulnerabilitat, i, per tant, risc de patir grans danys davant temporals, uns fenòmens que solen afectar negativament a l'economia local.

Amb el grau de desenvolupament d'aquestes estructures i el potencial que tenen seria desitjable més investigació per determinar tot el potencial social i econòmic dels esculls artificials pel surf.

3 ZONA D'ESTUDI

Com ja s'ha vist, el tipus de trencament teòric és funció del número d'Irribarren, que alhora, és funció del pendent i el clima d'onatge que hi ha a la zona d'estudi. Per poder realitzar un estudi acurat del trencament en la costa catalana s'ha de determinar quina és la morfologia i les principals components del clima d'onatge (Hs, Tp i Direcció) d'aquestes platges. En aquest apartat, es du a terme una investigació general de quins són aquests valors d'interès per tota la costa catalana i per dues platges de diferent caràcter (perfil reflectant i perfil dissipatiu).

3.1 Costa Catalana

3.1.1 Batimetria, sediment i orientació

La franja costanera de Catalunya, entenen-la com els 500 m posteriors a la línia de costa, representa el 7% del territori català, però concentra aproximadament a la meitat de la població.

La costa catalana, amb una longitud aproximada de 260 km de platges (Figura 3-1), presenta una orientació NE-SW i està situada al Nord-oest del mar Mediterrani. Pel que fa a la seva batimetria, s'hi troba una plataforma estreta a la zona Nord la qual esdevé més ample a la zona Sud, això exerceix un control important en les seves característiques hidrodinàmiques (Sánchez-Arcilla et al., 2008).

Els trams costaners es poden classificar en costes abruptes, baixes i deltes. Els deltes són importants dipòsits de sediments que es formen a partir de les aportacions dels rius; les costes baixes són aquelles que presenten pendents suaus; i finalment les costes abruptes són les que contempnen les costes de tipus rocoses i escarpades, que són aquelles formades per petits i grans penya-segats (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2010).

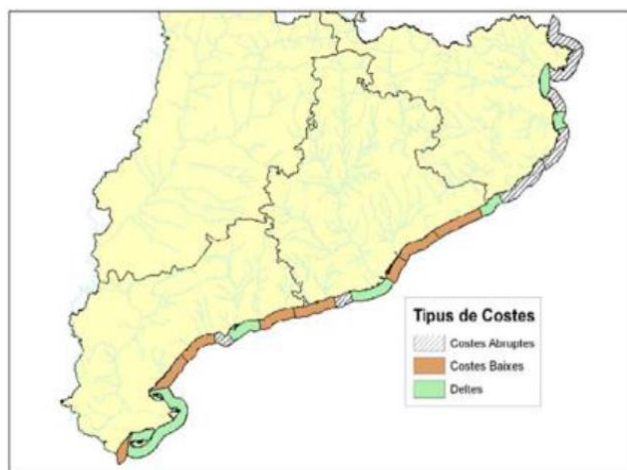


Figura 3-1. Tipus de costes al litoral català. Font: (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2010)

3.1.2 Clima mitjà

El clima de vents de la costa catalana es caracteritza per vents de baixa i mitja intensitat amb esdeveniments sinòptics extrems ocasionals (Sánchez-Arcilla et al., 2008). La particular orografia provoca una gran variabilitat temporal i espacial dels camps de vents, cosa que resulta en un clima d'onatges amb períodes de calma freqüents i temporals esporàdics molt energètics.

L'atles de clima marítim de la ROM 0_3-91 (1992) recull informació general sobre el clima marítim a diferents àrees del litoral espanyol. La costa catalana queda definida a la ROM 0_3-91, (1992) com a l'àrea VIII, i la caracterització per al règim mitjà i extremal estan basades en observacions visuals i registres instrumentals duts a terme per dues boies situades a Roses i Palamós, a 50 i 90 m de profunditat respectivament (Figura 3-2).

El clima d'onatges de la costa catalana té una estructura estacional molt definida, marcada per la presència de calmes durant l'estiu i temporals a l'hivern. En règim mitjà d'onatges l'alçada d'onada significant (H_s) sol ser inferior a 1 m, mentre que en règim extremal es donen valors molt més alts. La H_s associada, per exemple, d'un temporal amb període de retorn de 50 anys és de l'ordre d'uns 7 m. Els temporals són més energètics com més al nord del litoral ens trobem i la durada mitjana és de menys de 24 hores (Figura 3-2).

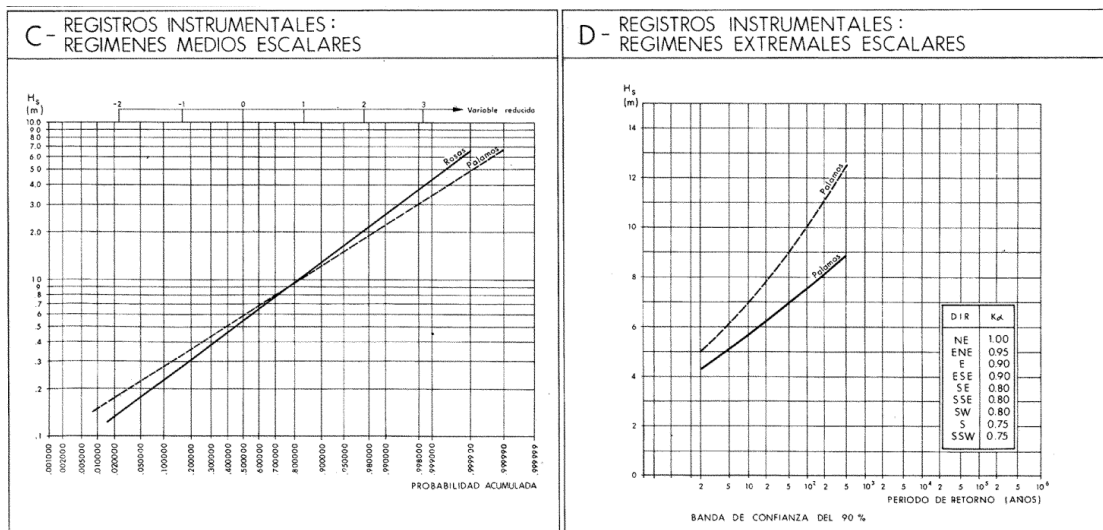


Figura 3-2. Règim mitjà (esquerra) i extremal (dreta) escalats de la costa catalana. Font: ROM 0_3-91 (1992).

Les direccions predominants de l'onatge varien al llarg del litoral. Al tram nord de la costa catalana els onatges procedents del Nord són els més freqüents malgrat que els onatges de l'Est són més energètics. A la resta del litoral predominen els onatges dels sectors d'E on es tenen els vents més forts i els fetchs més llargs.

A l'estar a la part septentrional de litoral català el mar tipus Sea sol venir del Nord i el mar tipus Swell del Est (Figura 3-3).

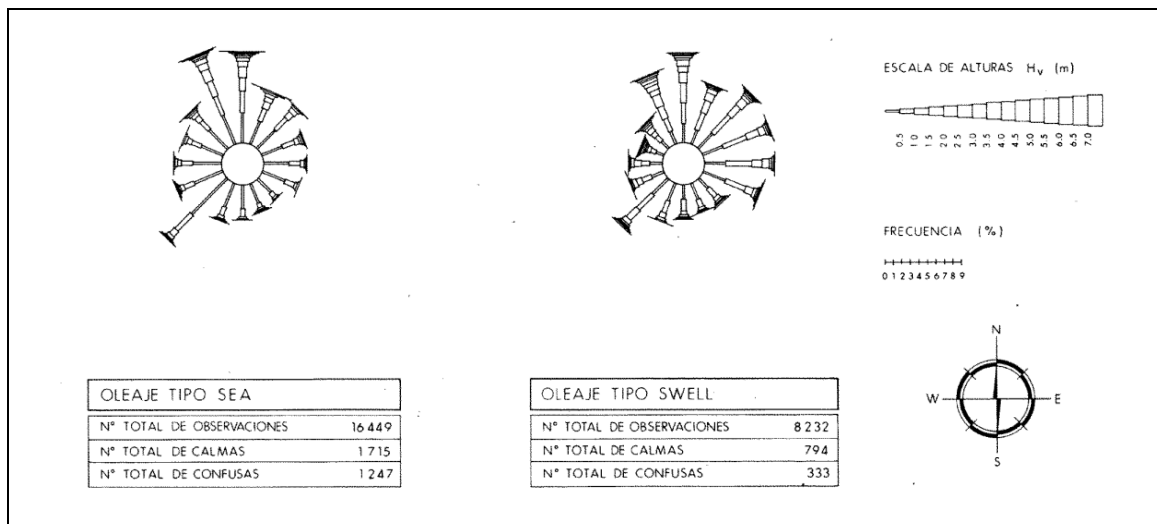


Figura 3-3. Roses d'onatge de la Costa Catalana. FONT: (ROM 0_3-91, 1992)

Els estats del mar a la costa catalana solen ser mixtos, es donen simultàniament estats de mar de vent i mar de fons (Alomar, 2012). La presència de mar de fons és freqüent, malgrat que a la zona d'estudi els fetchs venen limitats en gran manera per les Illes Balears.

3.2 Platges estudiades

Per a l'estudi del disseny de l'ASR s'han escollit dues platges, una de caràcter dissipatiu i una de caràcter reflectant.

Per a la platja de caràcter dissipatiu s'ha escollit la platja de la Paella, una platja situada vora el port de Torredembarra. És una platja de pendent suau amb una orientació de 37º respecte del Nord, una orientació similar a la direcció de l'onatge predominant.

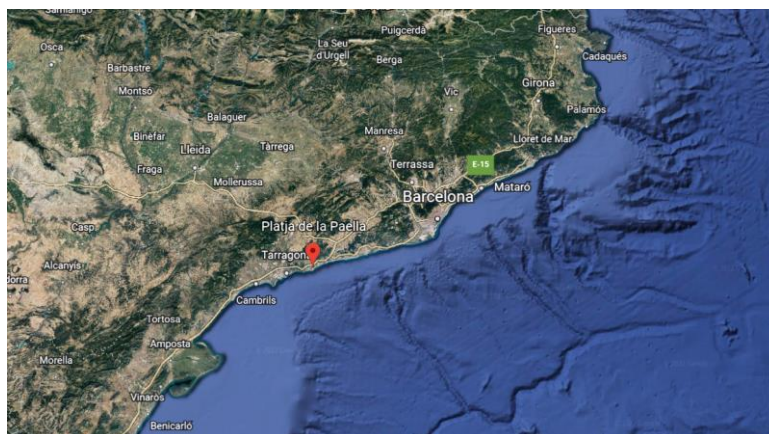


Figura 3-4. Localització de la platja de la Paella. Font: Google Earth.

Per a la platja de caràcter reflectant s'ha escollit una platja de Badalona, situada vora el Fòrum de Barcelona, que s'anomena platja del Parc del Litoral o platja del Litoral. És una platja de pendent abrupte amb orientació similar a la incidència de l'onatge i localitzada de manera centrada.

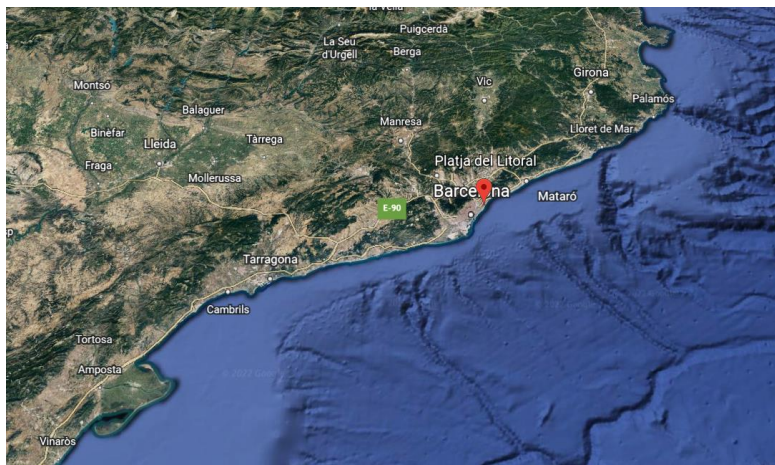


Figura 3-5. Localització de la platja del Parc del Litoral. Font: Google Earth.

La següent informació s'ha extret del llibre verd de l'estat de la costa catalana (2010).

3.2.1 Platja de la Paella

Platja de la Paella: Tarragona, Tarragonès, Torredembarra, Platja de la Paella, Tram 6, Codi Llibre Verd de la Costa Catalana: TATO111.

Localització UTM: 366128 4555879

La Platja de la Paella, és una platja dissipativa de pendents suaus, amb sediments fi i una orientació de 37^º respecte al Nord (N), Nord-est (NE), localitzada a la costa de Tarragona. La seva composició és 100% de sorra d'un color daurat fosc, amb un 0.4% de sorra molt fina, un 68.8% de sorra fina, un 37.4% de sorra mitjana i un 0.3% de sorra gruixuda. Té un rang de diàmetre de la partícula de sediment de 100 μm a 750 μm amb una mitjana aritmètica, extreta pel mètode dels moments, de 243.7 μm .

Té una longitud de 791 m amb una amplada mitjana, màxima i mínima de 108 m, 144 m o 35 m respectivament omplint una superfície de 88230 m^2 . L'alçada mínima que té la berma és d'1m i té un pendent mitjà de 0.044%, es pot veure la batimetria a la Figura 3-6.

Pel que fa a la descripció morfodinàmica, la Platja de la Paella és una platja acretiva semiencaixada amb un dic d'abric del Port de Torredembarra.

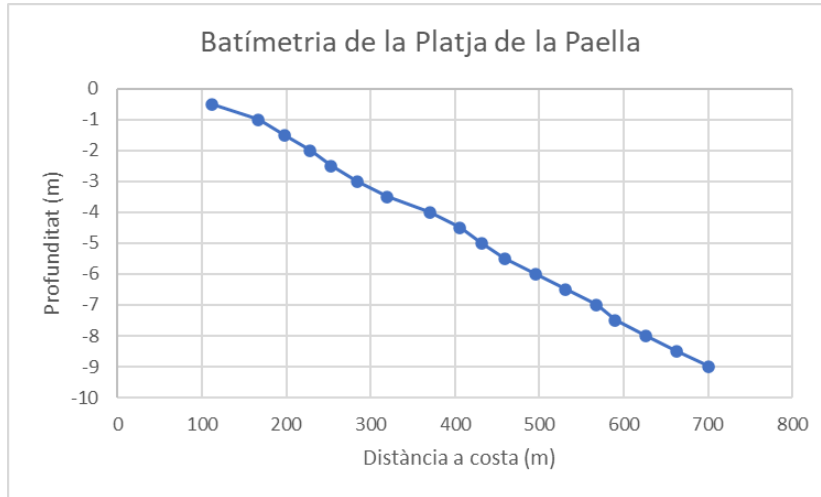


Figura 3-6. Batimetria de la Platja de la Paella. Font: Elaboració Pròpia, dades de Navionics.

Aquesta platja té un onatge amb alçada significant mitja de 0.74 m i un període de pic mitjà de 6 s. La direcció d'onatge més freqüent és de 202^a SSW amb un 18.7% i la direcció de flux d'energia resultant és de 119^o.

L'alçada significant amb un període de retorn de 10 anys és de 5m i amb un període de 100 anys és de 6 m.

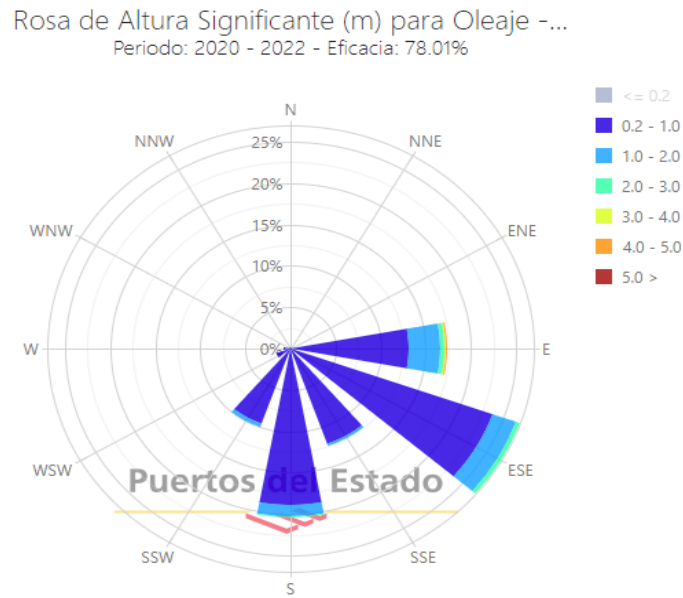


Figura 3-7. Rosa d'onatge i direcció de la Platja de la Paella. Font: Puertos del Estado.

L'alçada d'ona segueix un patró de valors més baixos pel període d'estiu, seguit per primavera i tardor que segueixen patrons semblants i amb els màxims valors per l'hivern.

El nivell mitjà del mar (NNM) té un valor de 0.44 m, amb un període de retorn de 10 anys és de 0.54 m i amb un període de retorn de 100 anys és de 0.75 m.

A més de la informació extreta pel llibre verd de costes de Catalunya, s'ha realitzat un estudi a partir de dades de Puertos del Estado, per corroborar les dades i tenir més informació, aquesta vegada incloent el % de temps en què es dona cada alçada d'ona, període i direcció d'onatge.

En el cas d'aquesta platja s'ha vist que les direccions predominants són Sud-est i Sud. En ambdues, el període predominant està entre 4-5 s, i el percentatge de valors que estan per sobre aquest és major que el percentatge de valors que estan per sota.

En el cas de l'alçada significant (Hs) s'observa com els valors predominants estan entre el 0.2 i el 0.5, i que hi ha una major freqüència de valors que estan per sobre d'aquest que no pas els que estan per sota.

PUNT SIMAR 2102134 - PLATA DE LA PAELLA - PERFIL DISSIPATIU								
Direccions								
	Sud - Est	-----	31.175	%				
		T						
		Predominant	4-5	s	6.876	% total anual	22.0554273	% anual direcció E
		< predom			7.335	% total anual	23.5277136	% anual direcció E
		> predom			16.965	% total anual	54.4168591	% anual direcció E
		Hs						
		Predominant	0,2 - 0,5	m	17.837	% total anual	57.2175531	% anual direcció E
		< predom			2.594	% total anual	8.32103676	% anual direcció E
		> predom			10.743	% total anual	34.4614101	% anual direcció E
		0.2-0.5 m			17.837	% total anual	57.2175531	% anual direcció E
		0.5-1.0 m			9.607	% total anual	30.8173478	% anual direcció E
		1.0-1.5 m			0.895	% total anual	2.87098223	% anual direcció E
	Sud	-----	31.015	%				
		T						
		Predominant	4-5	s	8.62	% total anual	27.649474	% anual direcció ESE
		< predom			9.515	% total anual	30.520272	% anual direcció ESE
		> predom			12.879	% total anual	41.3106236	% anual direcció ESE
		Hs						
		Predominant	0,2 - 0,5	m	16.908	% total anual	54.515557	% anual direcció ESE
		< predom			4.098	% total anual	13.2129615	% anual direcció ESE
		> predom			10.009	% total anual	32.2714815	% anual direcció ESE
		0.2-0.5 m			16.908	% total anual	54.515557	% anual direcció ESE
		0.5-1.0 m			8.023	% total anual	25.8681283	% anual direcció ESE
		1.0-1.5 m			1.55	% total anual	4.99758182	% anual direcció ESE
	RESTA DIRECCIONS	-----	37.809	%				

Taula 3-1. Clima mitjà de la Platja de la Paella. (Font: Elaboració Pròpia)

Taula 3-2. Clima d'onatge de la Platja de la Paella, període 1958-2022. Font: Puertos del Estado.

			Período de Pico (s)												Gran Total	
			<= 0,2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10,0 >		
Dir °	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.011	0.011
	NE	45	0	0	0.011	0	0	0.011	0.011	0	0	0	0	0	0.011	0.046
	E	90	0	0	0	0.207	1.94	4.201	5.406	6.428	3.501	2.215	2.215	2.95	29.063	
	SE	135	0	0	0.011	1.309	6.015	6.876	6.485	6.302	2.089	1.113	0.735	0.241	31.175	
	S	180	0	0	0.034	1.102	8.379	8.62	5.142	4.213	1.768	0.941	0.321	0.494	31.015	
	SW	225	0	0	0	0	0.631	2.238	2.169	1.194	0.769	0.321	0.253	0.195	7.771	
	W	270	0	0	0.011	0.057	0.034	0.103	0.379	0.126	0.023	0.011	0.046	0.08	0.872	
	NW	315	0	0	0	0.011	0	0	0.034	0	0	0	0	0	0.046	
Gran Total			0	0	0.069	2.686	17	22.05	19.628	18.262	8.15	4.603	3.57	3.983	100	

			Altura Significante (m)												Gran Total	
			<= 0,2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5,0 >		
Dir °	N	0	0	0.011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.011	0.011
	NE	45	0	0.046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.046
	E	90	1.515	12.006	11.421	2.858	0.746	0.287	0.149	0.08	0	0	0	0	0	29.063
	SE	135	2.594	17.837	9.607	0.895	0.218	0.023	0	0	0	0	0	0	0	31.175
	S	180	4.098	16.908	8.023	1.55	0.379	0.057	0	0	0	0	0	0	0	31.015
	SW	225	0.62	5.016	2.055	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.771
	W	270	0	0.494	0.379	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.872
	NW	315	0	0.046	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.046
Gran Total			8.827	52.365	31.485	5.383	1.343	0.367	0.149	0.08	0	0	0	0	100	

		Período de Pico (s)												Gran Total
		<= 1,0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10,0 >		
Altura Significante	<= 0,5	0	0.107	2.719	16.759	16.028	14.006	7.88	1.93	1.457	1.174	1.184	63.246	
	1	0	0	0.029	1.14	4.401	5.984	6.862	3.562	2.31	1.462	1.345	27.096	
	1.5	0	0	0	0	0.093	0.497	1.603	1.009	1.16	0.736	0.634	5.731	
	2	0	0	0	0	0	0.029	0.21	0.541	0.624	0.648	0.473	2.524	
	2.5	0	0	0	0	0	0	0.054	0.102	0.146	0.151	0.375	0.828	
	3	0	0	0	0	0	0	0.01	0.044	0.034	0.088	0.132	0.307	
	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.063	0.068	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0.073	
	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.063	0.063	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.034	0.034	
5,0 >	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.029	0.029		
Gran Total		0	0.107	2.749	17.9	20.521	20.517	16.618	7.188	5.731	4.264	4.405	100	

3.2.2 Platja del Litoral

Platja del Litoral Barcelona, Barcelonès, St. Adrià de Besos, Platja del Litoral, Tram 10, Codi del llibre Verd de la Costa Ca: BAAB042.

Platja reflectant, sediment més groller, pendents grans

Localització UTM: 436059 4586063

La del Litoral, és una platja reflectant de pendents abruptes, amb sediments gruixuts i una orientació mitjana de la platja de 20° a la dreta respecte al Nord (N), Nord-nord-est (NNE), localitzada a la costa de Badalona, Barcelona. La seva composició és 100% de sorra gruixuda i presenta un d50 de 1878 μm color daurat.

Té una longitud de 275 m, amb una amplada mitjana, màxima i mínima de 70 m, 110 m i 40 m respectivament omplint una superfície de 23228 m^2 . L'alçada mínima que té la berma és de d'1.9 m i té un pendent mitjà de 2.05 %, es pot veure la batimetria a la Figura 3-8.

Pel que fa a la morfo dinàmica, la platja del Parc del Litoral és una platja encaixada amb caràcter erosiu.

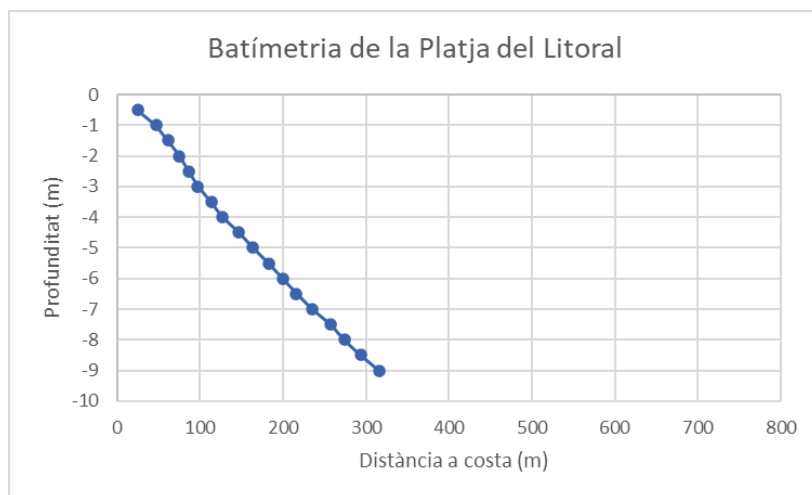


Figura 3-8. Batimetria de la Platja del Litoral. Font: Elaboració Pròpia, dades de Navionics.

La majoria d'alçades d'ona (Hs) estan entre 0 m i 1 m, la Hs mitjana és de 0.74 m i el Tp mitja de 6 s. La Hs amb un Tr de 10 anys és de 4.69 m i la Hs amb un període de 100 anys és de 5.90 m. Els valors més baixos d'alçades d'ona es donen a l'estiu, seguit per tardor i primavera, i finalment trobant les alçades d'ona màximes durant l'hivern.

Les direccions que hi destaquen són; E-NE, S-SW, E, E-SE amb uns percentatges de 17.11%, 16.47%, 15.70% i 14.71%, respectivament.

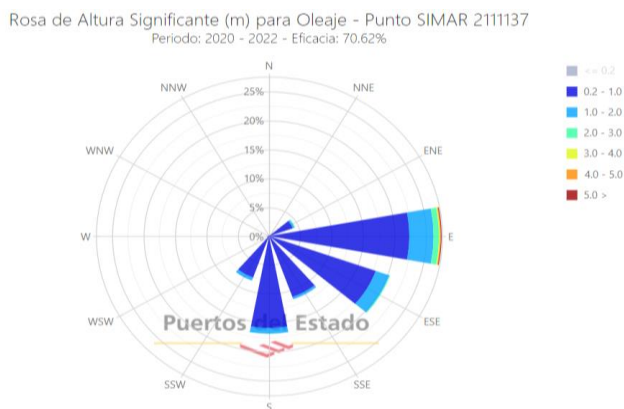


Figura 3-9. Rosa d'onatge i direcció per la platja del Parc del Litoral. Font: Puertos el Estado.

El nivell mitjà del mar (NMM) té un valor de 0.44 m, amb un període de retorn de 10 anys és de 0.54 m i amb un període de retorn de 100 anys és de 0.75 m.

En el cas d'aquesta platja s'ha vist que les direccions predominants són Est i Est-sud-est. En ambdues, el període predominant està entre 6-7 s, i el percentatge de valors que estan per sobre aquest, en contra del cas de la platja de la Paella, és menor que el percentatge de valors que estan per sota.

En el cas de l'alçada significant s'observa com els valors predominants estan entre el 0.2 i el 0.5, i que hi ha una major freqüència de valors que estan per sobre d'aquest que no pas els que estan per sota.

PUNT SIMAR 2111137 - PLATJA BARCELONA - PERFIL REFLEXANT									
Direccions									
Est		33.242		%					
T									
Predominant		6-7	s	6.566	% total anual	19.75212	% anual direcció E		
< predom				15.381	% total anual	46.26978	% anual direcció E		
> predom				11.295	% total anual	33.9781	% anual direcció E		
Hs									
Predominant		0,2-0,5	m	13.154	% total anual	39.57161	% anual direcció E		
< predom				1.871	% total anual	5.628591	% anual direcció E		
> predom				18.216	% total anual	54.7998	% anual direcció E		
0.2-0.5 m				13.154	% total anual	39.57161	% anual direcció E		
0.5-1.0 m				13.108	% total anual	39.43323	% anual direcció E		
1.0-1.5 m				3.306	% total anual	9.945549	% anual direcció E		
Est-Sud-Est		22.176		%					
T									
Predominant		6-7	s	5.739	% total anual	25.87933	% anual direcció ESE		
< predom				11.329	% total anual	51.08676	% anual direcció ESE		
> predom				5.108	% total anual	23.03391	% anual direcció ESE		
Hs									
Predominant		0,2-0,5	m	10.147	% total anual	45.75667	% anual direcció ESE		
< predom				1.745	% total anual	7.868867	% anual direcció ESE		
> predom				10.284	% total anual	46.37446	% anual direcció ESE		
0.2-0.5 m				10.147	% total anual	45.75667	% anual direcció ESE		
0.5-1.0 m				7.472	% total anual	33.69408	% anual direcció ESE		
1.0-1.5 m				2.41	% total anual	10.8676	% anual direcció ESE		
RESTA DIRECCIONS		44.582		%					

Taula 3-3. Clima mitjà de la Platja del Parc del Litoral (Font: Elaboració Pròpia).

Taula 3-4. Clima d'onatge de la Platja del Parc del Litoral, període 1958-2022. Font: Puertos del Estado.

			Periodo de Pico (s)													Gran Total
			<= 0,2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10,0 >		
Dir °	N	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,011	0	0	0	0,011	
	NNE	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,011	0,011	0	0,023	
	ENE	60	0	0	0	0,057	0,069	0,057	0,207	0,562	0,207	1,194	1,573	0,895	4,821	
	E	90	0	0	0,034	0,884	4,408	4,534	5,521	6,566	3,478	3,145	2,663	2,009	33,242	
	ESE	120	0	0	0,046	0,631	2,858	3,329	4,465	5,739	2,353	1,837	0,769	0,149	22,176	
	SSE	150	0	0,011	0,126	1,205	3,306	2,353	2,215	2,388	0,517	0,379	0,115	0,046	12,661	
	S	180	0	0	0,092	2,043	4,993	4,19	3,639	1,997	0,482	0,539	0,31	0,207	18,492	
	SSW	210	0	0	0,011	0,184	0,62	0,895	1,102	1,928	1,182	1,148	0,539	0,551	8,161	
	WSW	240	0	0	0	0	0	0	0,011	0,057	0,069	0,103	0,034	0,011	0,287	
	W	270	0	0	0	0	0	0	0	0,092	0	0,034	0	0	0,126	
	WNW	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	NNW	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gran Total			0	0,011	0,31	5,005	16,253	15,358	17,16	19,33	8,299	8,391	6,015	3,868	100	

			Altura Significante (m)													Gran Total
			<= 0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,0 >		
Dir °	N	0	0	0,011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,011	
	NNE	30	0	0,023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,023	
	ENE	60	0,402	1,607	2,284	0,482	0,046	0	0	0	0	0	0	0	4,821	
	E	90	1,871	13,154	13,108	3,306	0,7	0,746	0,195	0,115	0,046	0	0	0	33,242	
	ESE	120	1,745	10,147	7,472	2,41	0,31	0,092	0	0	0	0	0	0	22,176	
	SSE	150	2,101	7,312	2,812	0,425	0,011	0	0	0	0	0	0	0	12,661	
	S	180	3,03	10,56	3,753	0,976	0,161	0,011	0	0	0	0	0	0	18,492	
	SSW	210	0,597	4,075	3,007	0,39	0,08	0,011	0	0	0	0	0	0	8,161	
	WSW	240	0	0,23	0,057	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,287	
	W	270	0	0,126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,126	
	WNW	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	NNW	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gran Total			9,745	47,245	32,495	7,989	1,309	0,861	0,195	0,115	0,046	0	0	0	100	

		Periodo de Pico (s)											Gran Total
		<= 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.0 >	
Altura Significar <= 0.5		0.002	0.260	10.358	17.337	13.828	12.947	8.762	4.491	2.071	0.947	0.290	71.293
	1.0	0.000	0.000	0.156	1.359	3.461	5.511	6.014	2.797	1.413	0.770	0.366	21.849
	1.5	0.000	0.000	0.001	0.011	0.098	0.584	1.336	1.381	0.787	0.322	0.146	4.664
	2.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.030	0.214	0.465	0.378	0.266	0.092	1.445
	2.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.014	0.133	0.166	0.133	0.077	0.524
	3.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.043	0.044	0.041	0.140
	3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.010	0.024	0.024	0.059
	4.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.010	0.014
	4.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004
	5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
	5.0 >	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006
Gran Total		0.002	0.260	10.515	18.707	17.387	19.072	16.341	9.279	4.869	2.509	1.057	100.000

4 MODELAT NUMÈRIC

Avui en dia, el modelat numèric és una eina fonamental per resoldre problemes complexos en el camp de l'enginyeria. Ens permet simular experiments en lloc de reproduir-los en la realitat, que solen ser més cars i en alguns casos no es poden donar per problemes d'escala. Per altra banda, el modelat numèric ens proporciona informació addicional que no podem obtenir de l'observació experimental, el qual és especialment valuós quan l'objecte d'estudi no només és descobrir una variable de flux (com la velocitat, pressió, etc.) sinó també entendre els processos físics que l'envolten.

Les equacions físiques que regeixen un mètode numèric es poden resoldre amb l'ajuda d'una malla utilitzant una descripció Euleriana (robusts, precisos, ben desenvolupats i aplicats a un ampli ventall d'aplicacions, però ineficients en sistemes complexos) o es poden resoldre sense l'ús de la malla amb una descripció Lagrangiana (més flexibles i adaptables).

En aquest treball s'han realitzat les simulacions amb un mètode sense malla (Lagrangiana) que ens permet simular amb precisió la mecànica de fluids i la seva dinàmica. Aquest mètode treballa amb un conjunt de nodes distribuïts de manera arbitrària, que es poden moure seguint trajectòries específiques, amb el propòsit que el model sigui més flexible i versàtil. Especialment en aplicacions on s'estudien geometries molt complexes, grans deformacions i discontinuïtats en el flux del fluid.

4.1 Mètode SPH

SPH (per les seves sigles en anglès, Smoothed Particle Hydrodynamics) és un mètode Lagrangian on s'estudia l'evolució en l'espai d'una partícula en relació amb el temps i no l'evolució temporal d'un punt, avantatge que permet la conservació exacta de massa i moment. En els últims anys s'ha aplicat el mètode en nombrosos camps de la dinàmica de fluids.

El mètode va ser desenvolupat per a l'astrofísica i la cosmologia (Lucy, 1997; R.A. Gingold & J.J. Monaghan, 1997) durant els anys 70. Des de llavors, el mètode s'ha aplicat a diversos sectors i ha demostrat la seva validesa en diferents camps d'astrofísica, magneto-hidrodinàmica i mecànica de sòlids. En els últims anys el mètode, també s'ha aplicat amb èxit per estudiar problemes d'enginyeria de costes (propagació, interacció entre onades, objectes flotants...) especialment els que tenen una gran interacció amb estructures (Altomare et al., 2021, Antoci et al., 2007)

Aquest mètode discretitza el fluid com un conjunt de punts o nodes que es mouen amb el temps anomenat partícules. Es resolten les equacions de la dinàmica de fluids, calculant els valors de les variables físiques representatives (velocitat, posició, densitat i pressió) per una partícula, a partir d'una interpolació dels valors de les partícules més pròximes partint d'unes condicions inicials, per tant, el mètode es basa en les interaccions entre partícules.

El model que s'utilitza a aquest treball és l'anomenat DualSPHysics (Domínguez et al., 2021b)

Les equacions que guien aquestes interaccions són les de Navier-Stokes; l'equació del moment (per calcular la taxa de variació temporal de la velocitat o acceleració) i l'equació de continuïtat (per calcular la taxa de variació temporal de la densitat).

El mètode SPH es basa en la teoria dels interpolats integrals. El principi fonamental és aproximar qualsevol funció $A(r)$ per:

Equació 4-1

$$A(r) = \int_{\Omega} A(r')W(r - r', h)dr'$$

On la integral es fa sobre el vector de posició (r), W és la funció kernel i h és la distància de suavitzat o d'interacció. La distància de suavitzat és la que determina la dimensió del kernel, és a dir, el radi d'influència sobre cada partícula.

La integral de l'aproximació anterior, es pot escriure utilitzant sumatoris (notació discreta), on aquests es realitzen sobre les partícules veïnes j que es troben a la regió definida per la funció kernel. La massa i la densitat de les partícules veïnes es denoten com m_j i ρ_j , respectivament.

Equació 4-2

$$A(r) = \sum_{j=1}^N A(r_j)W(r - r_j, h) \frac{m_j}{\rho_j}$$

Per aquest pas, de la notació contínua (fluid) a la notació discreta (partícules), es fa servir la funció kernel (W). Aquesta funció compleix amb diverses propietats:

- Positivitat: $W(r - r', h) \geq 0$, dins del domini
- Suport compacte: $W(r - r', h) = 0$ fora del domini
- Normalització: $\int W(r - r', h)dr' = 1$
- Comportament tipo funció delta: $\lim_{h \rightarrow 0} \int W(r - r', h)dr' = \delta(r - r')$
- Comportament monòton decreixent de $W(r - r', h)$

La següent figura mostra el domini d'interacció definit per la funció kernel (W). Les partícules que es troben a una distància menor de h són les partícules veïnes que interactuen amb la partícula d'interès. Com més pròxim estigui, major serà la influència.

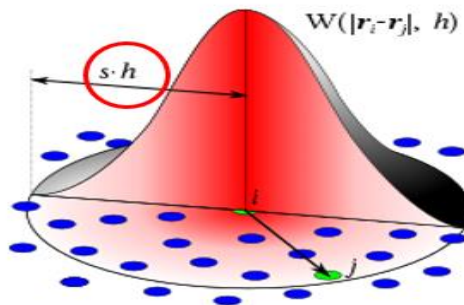


Figura 4-1. Domini d'interacció. Font: WikiCommons

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SPHInterpolationColorsVerbose.svg>

Hi ha una gran varietat de possibles funcions kernel; Gaussiana, quadràtica, cubic-spline i Wendland (i.e. cinquè ordre).

La funció utilitzada en aquest estudi és la Wendland, aquesta funció segueix el mateix comportament que la Quadràtica, on la primera derivada indica que les forces d'interacció entre partícules augmenten a mesura que la distància entre elles es redueix.

A diferència de la quadràtica, la funció Wendland, proporciona un ordre d'interpolació més gran amb el mateix cost computacional (Domínguez et al., 2010). És l'ideal per l'estudi de propagació d'ones no lineals, ja que permet conservar les propietats de les onades a la superfície lliure.

Cada partícula de fluid tindrà certes partícules veïnes dins del rang de la funció de kernel, aquestes variaran en cada pas de temps, per tant, el nombre d'operacions per calcular les interaccions entre totes les parelles de partícules serà elevat, de l'ordre de N^2 , sent N el número de partícules. En el codi utilitzat en aquest treball, es divideix el domini computacional en cel·les quadrades de costat h . Així, per una partícula localitzada dins d'una cel·la, només serà necessari considerar les interaccions amb les partícules de cel·les veïnes. Disminuint així el nombre de càlculs (passant de N^2 a $N \cdot \log N$), comportant un gran estalvi de temps d'execució (Domínguez et al., 2010).

Seguint amb la formulació de SPH, l'equació que governa el moviment del fluid es pot derivar a partir de l'equació de conservació del moment de Navier-Stokes i permet calcular la velocitat a la qual es mou el fluid:

Equació 4-3

$$\frac{Dv}{Dt} = -\nabla \frac{P}{\rho} + g + \nu_0 \nabla^2 v$$

On la P és pressió, la ρ és la densitat, v és la velocitat, g és la gravetat, i $\nu_0 \nabla^2 v$ el terme viscos. L'equació escrita amb el formalisme que SPH llegeix és:

Equació 4-4

$$\frac{dv_a}{dt} = - \sum_b m_b \left(\frac{P_b}{\rho_b^2} + \frac{P_a}{\rho_a^2} + \Pi_{ab} \right) \nabla_a W_{ab} - g$$

Aquesta última equació s'utilitza per calcular la velocitat de la partícula a (V_a) a partir de la suma de les interaccions amb totes les partícules veïnes utilitzant la funció kernel W_{ab} (que es calcula a partir de la distància entre les partícules a i b), en aquest cas Π_{ab} és el terme de la viscositat artificial.

La viscositat juga un paper clau a l'hora de limitar inestabilitats en el moviment del fluid, on partícules aïllades poden arribar a moure's de manera caòtica. Aquestes inestabilitats es poden evitar usant termes viscosos, els quals s'afegeixen a l'equació del moment (Equació 4-6).

Per les característiques del nostre estudi i la simplicitat d'aquesta, s'ha treballat amb la viscositat artificial, que redueix el soroll numèric del camp de densitat i de pressió del model. Amb això s'evita que es generi un error numèric, i que, posteriorment, es propagui, per tant, ajuda a mantenir l'estabilitat numèrica. Per contra, aquest terme viscos és massa dispersiu, afectant la tensió i a la propagació del fluid en algunes ocasions, especialment quan no estan dominades per la component gravitacional (no es el cas d'estudi).

Seguint amb les equacions que utilitza el model, l'equació de continuïtat de Navier-Stokes pel medi continu es descriu de la següent forma:

Equació 4-5

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} + \nabla v = 0$$

I la seva conversió al formalisme que SPH llegeix (discret) utilitzant la funció de kernel és:

Equació 4-6

$$\frac{d\rho_a}{dt} = \sum_b m_b v_{ab} \nabla_a W_{ab} + DDT$$

On v_{ab} es $v_a - v_b$ i ρ_a és la densitat de la partícula que es calcula també com el sumatori de les interaccions amb les partícules veïnes b.

El DDT es l'anomenat Density Diffusion Term, que, aplicat a l'equació de continuïtat, contribueix a reduir el soroll numèric generat al camp de pressió i densitat. S'ha utilitzat la formulació de (Fourtakas et al., 2019), que calcula la pressió hidrostàtica localment, essent més eficient a l'hora de calcular la superfície lliure. És ideal per una generació i propagació d'onatge de llarga durada, i es caracteritza per crear una estabilitat en el flux de superfície lliure i en la interacció amb estructures (Figura 4-2).

En l'estudi realitzat s'ha aplicat el DDT Fourtakas en la interacció del fluid, no a tot el contorn.

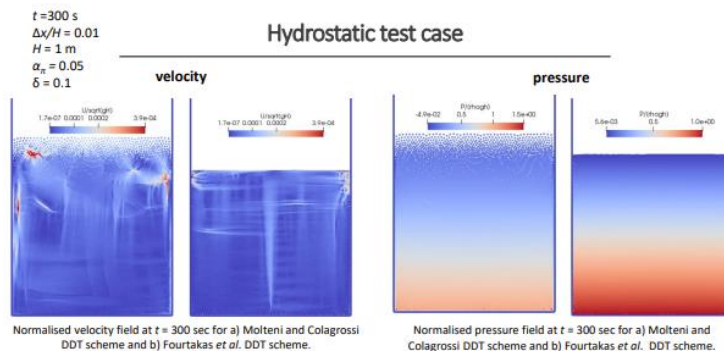


Figura 4-2. Comparació de simulació amb DDT de Fourtakas i sense. Font: (Vacondio, 2021)

És a dir, els valors de dv/dt i $d\rho/dt$ es calculen a partir de les equacions 4-4 i 4-6. Amb aquests valors i el valor del següent pas de temps (Δt) es calculen les velocitats o les densitats de totes les partícules en el pas següent. Els passos de temps s'han calculat a partir de l'algorisme Symplectic. Amb la velocitat es pot calcular la nova posició de les partícules i amb la densitat es calcula la pressió (utilitzant una equació d'estat en l'aproximació dèbilment compressible). Així s'obté l'estat de les partícules (posició, velocitat, densitat i pressió) en cada instant de la simulació.

Seguint el treball de (Monaghan, 1994), el fluid en el formalisme SPH definit a DualSPHysics es tracta com dèbilment compressible i s'utilitza una equació d'estat per determinar la pressió del fluid basada en la densitat de partícules:

Equació 4-7

$$P = b \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right]$$

On $\gamma = 7$, $b = c_0^2 \rho_0 / \gamma$, on $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$ és la densitat de referència i $c_0 = \text{coefsound} \cdot \sqrt{g \cdot h_{swl}}$, on g és la gravetat i h_{swl} la profunditat màxima que hi ha al domini.

La compressibilitat s'ajusta perquè la velocitat del so es pugui reduir artificialment i està restringida per la condició de Courant. Tanmateix, aquest ajust restringeix la velocitat del so a ser almenys deu vegades més ràpida que la velocitat màxima del fluid, mantenint les variacions de densitat a menys de l'1% i, per tant, no introduint desviacions importants d'un enfocament incompressible. Per més detalls, llegir (Monaghan & Kos, 1999) i (Batchelor, 1974).

Per tant, la velocitat del so està configurada per ser prou alta per limitar les variacions de densitat a una petita fracció de la densitat real del fluid. A la pràctica, aquesta limita la mida màxima de pas de temps admissible a través de la restricció de Courant Friedrichs-Lewy (CFL).

La formulació bàsica del mètode SPH es descriu en detall en l'article de (Monaghan, 2005).

4.2 Model DualSPHysics

El grup EPHYSLAB ha desenvolupat el codi SPH anomenat DualSPHysics centrant la investigació en la propagació de les ones i en la interacció amb estructures costaneres (Altomare et al., 2017), i ha demostrat ser un model robust i precís per simular aquests esdeveniments d'onatge. És un codi lliure i es pot descarregar gratuïtament des de la web de www.duap.shphysics.org.

Totes les equacions i aproximacions definides anteriorment estan implementades dins del codi. Aquest està organitzat en tres passos fonamentals; la creació de la llista de partícules veïnes (LV), la computació de les forces d'interacció entre partícules (CF), i el càlcul de les variables de

cada partícula en el següent pas de la simulació (CP). Per tant, DualSPHysics es basa en un procés iteratiu d'aquests tres passos fins a arribar al temps de la simulació determinat (Domínguez et al., 2010)

La precisió i la resolució comporten un alt cost computacional, el qual pot limitar l'ús de DualSPHysics de manera eficient per estudiar problemes reals d'enginyeria. Com s'ha definit en l'apartat anterior, el temps computacional s'incrementa amb el nombre de partícules que componen el sistema, és per això que molts problemes són inviables per la complexitat d'aquests. A més, també hi ha un límit en el nombre de partícules que els processadors poden administrar. Per tant, és imprescindible buscar mètodes de paral·lelització que facin possible l'execució de simulacions com un elevat nombre de partícules.

Un d'aquests mètodes de paral·lelització són les Unitats de Processat Ràpid (GPU). Les GPU apareixen com una alternativa accessible per accelerar mètodes SPH, utilitzant la programació en paral·lel i les targetes gràfiques com dispositiu d'execució. Aquesta és una tecnologia nova desenvolupada per la indústria dels videojocs i que proporciona un alt rendiment amb una despesa econòmica raonable.

Perquè aquestes GPUs puguin llegir les simulacions, DualSPHysics està escrit en els llenguatges de programació C++ i CUDA (Domínguez et al., 2021). Això permet simular milions de partícules quan la geometria complexa de cas requereix una alta resolució, en un temps de computació raonable. Així, DualSPHysics s'ha aplicat a problemes complexos d'enginyeria real (Altomare et al., 2021).

La formulació SPH implementada en DualSPHysics es pot consultar a (A. J. C. Crespo et al., 2015)

Nota: Les simulacions realitzades en aquest treball s'han executat en un clúster de la Universitat de Vigo amb una GPU GeForce RTX 2080 Ti.

4.3 Condicions inicials i condicions de contorn

Generar unes condicions inicials en DualSPHysics significa crear les partícules amb valors inicials de posició, velocitat i densitat. Com ja s'ha explicat, SPH és un model lliure de malla, és a dir, no s'utilitza una malla per dur a terme les interaccions i resoldre les equacions de la dinàmica de fluids. Així i tot, les partícules s'han de configurar en unes determinades posicions i per fer-ho es fa servir una malla, però només per la seva generació inicial, després les partícules es mouen lliurement pel domini.

Per determinar les posicions inicials on es creen les partícules s'utilitza una malla tridimensional cartesiana ("lattice") i les partícules es creen en els nodes d'aquella malla. Els nodes de la malla estan separats a una distància que denominarem dp , i, es pot assimilar a la resolució del model en aquestes condicions. Per representar objectes 3D la malla només s'han de marcar els nodes que s'ajustin a la forma de l'objecte.

La majoria dels models 3D estan formats per polígons que es poden descompondre en triangles, i, per tant, aquests triangles es poden dibuixar com a partícules repetint el procés. Al definir un objecte complex a partir de partícules sempre es produeix una pèrdua de precisió que depèn del gruix de la malla (dp), i, per tant, del nombre de partícules fetes servir. És a dir, en una representació 2D o 3D, s'obté més o menys resolució segons la distància entre partícules i el mateix pel nombre de partícules inicialment creades.

Paral·lelament, les condicions de contorn no apareixen de forma natural en les equacions de SPH. Quan una partícula s'aproxima a una frontera sòlida (murs, sòl, estructures costaneres, pistons, objectes flotants, etc.) en les equacions, només intervenen les partícules situades a l'interior del medi. Aquesta contribució pot generar efectes no realistes, a causa de la diferent naturalesa de les variables a resoldre, ja que algunes, com la velocitat, decauen a l'apropar-se al contorn, i altres, com la densitat, no.

Les diferents solucions per evitar els problemes de contorn es basen en la creació d'una sèrie de partícules virtuals (que poden ser tipus fantasma, repulsives o dinàmiques) que caracteritzin els límits del sistema.

Hi ha diferents condicions de contorn que se li poden aplicar a les partícules:

- *Dynamic Boundary Conditions (DBC)*, per partícules de contorn.
- *Modified Dynamic Boundary Conditions (mDBC)*s, per partícules de contorn.
- *Open boundaries (inlet/outlet conditions)*, per partícules de fluid.

Segons (Crespo et al, 2007) la DBC està representada per partícules fixes amb una densitat computada amb l'equació de continuïtat i l'equació de pressió de l'equació d'estat. Els contorns són més fàcils d'establir i les operacions són relativament més estables i eficients, sent una solució adient per geometries complexes. Aquest mètode s'ha validat correctament amb casos d'enginyeria costanera com flux d'aigua degut a trencaments de preses o canals d'onatge (Li et al., 2021). Així i tot, una esgerda no física, com la que es comentava, entre el fluid i el límit sòlid, encara apareix quan el fluid s'apropa al límit, disminuint la precisió de les pressions mesurades a la frontera.

A diferència de les condicions de contorn DBC, les mDBC inclouen un altre concepte on la densitat de les partícules sòlides s'obté a partir d'unes partícules virtuals fantasma. Les partícules fantasma es consideren projeccions de les partícules contorn, on les seves propietats varien amb el temps (English et al., 2021). Si en un instant determinat una partícula es troba a una distància menor que la distància suavitzada del kernel, es genera una partícula virtual fora del medi, essent així una imatge especular de la partícula incident (Marrone et al., 2013) (Figura 4-3). Ambdues partícules tenen la mateixa densitat i pressió, però velocitat oposada. Amb aquesta visió s'evita l'esquerda, i les pressions de les partícules límit s'adapten a la hidroestàtica (Quartier et al., 2021) el qual permetrà calcular i aconseguir les propietats del fluid a partir d'una aproximació SPH corregida proposada per (Liu & Liu, 2010). És per això que per les simulacions realitzades s'ha utilitzat la *Modified Dynamic Boundary Conditions* (mDBC) i comparat en alguns casos amb DBC.

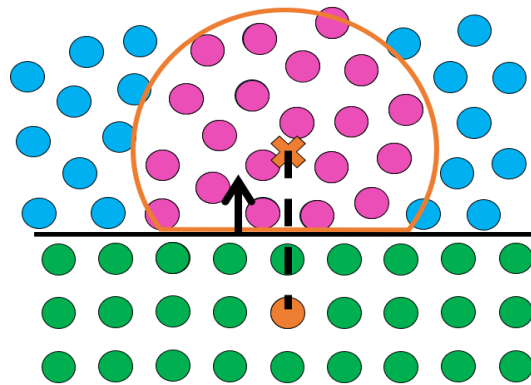


Figura 4-3. Esquema mDBC. Font: (English et al., 2021)

4.4 Configuració de les simulacions

4.4.1 Configuració del domini

El domini utilitzat. El punt de la dreta del fons marí té unes coordenades (0, -1, 0). La z inicial té un valor de -0.2, però se li suma el gruix de la base del fons de 0.2, per tant, queda a 0. És a dir, treballem amb una z=0 al fons del nostre domini (punt de màxima profunditat). S'han **escalat** les dades (distància a costa, profunditat, H, T...) amb una relació 1:4 per obtenir un resultat numèric més acurat.

Per determinar el domini s'han considerat diferents punts. El primer és la distància abans de l'estructura, per evitar errors de propagació, s'han deixat mínim dues longituds d'ona entre el pistó i l'estructura. A més, s'han buscat les profunditats de tancament de les platges estudiades i s'ha configurat una profunditat d'un metre més fondo que aquestes per evitar qualsevol tipus d'alteració del transport de sediment. Als últims 15 m del domini, just després de l'estructura, s'ha creat una zona de *damping* o *Damping Zone*, que actua com una esponja per evitar la reflexió de l'onatge dintre del domini d'estudi. Al final se li ha afegit una paret vertical per evitar que les partícules surtin del domini, i, per tant, és perdem partícules.

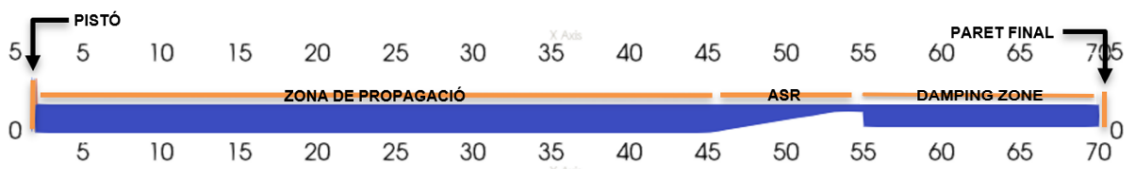


Figura 4-4. Esquema del domini de les simulacions. Font: Elaboració pròpia.

Per a la pendent de l'estructura, inicialment s'ha treballat amb pendents d'1/4 a 1/10, però les simulacions amb les quals es treballa i s'obtenen resultats, presenten un pendent d'1/6, 1/7 i 1/8, representades a les imatges de sota. L'escala en x és la mateixa que l'escala en y.

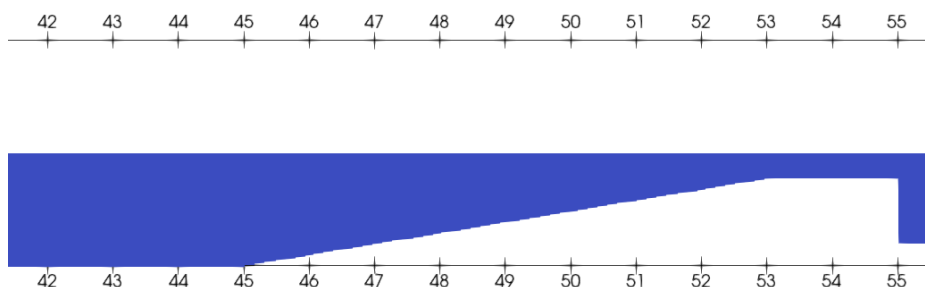


Figura 4-5. Simulació SIM_49_mDBC, pendent 1/6. Font: Elaboració pròpia.

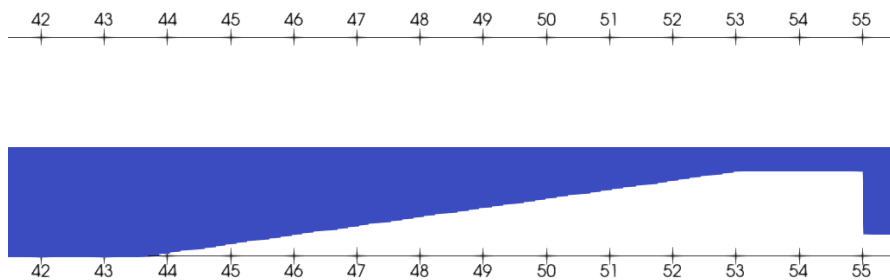


Figura 4-6. Simulació SIM_50_mDBC, pendent 1/7. Font: Elaboració pròpia.

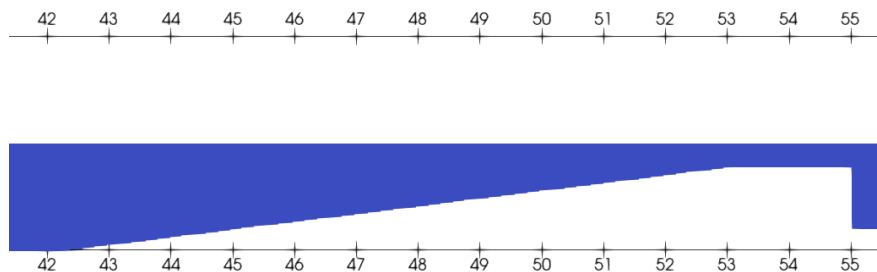


Figura 4-7. Simulació SIM_51_mDBC, pendent 1/8. Font: Elaboració pròpia.

4.4.2 Configuració de DualSPHysics

La generació d'onatge s'ha fet a partir de la configuració de 2n ordre descrita a (Altomare et al., 2017) on un pistó es mou creant una oscil·lació regular al fluid de la simulació. El pistó consisteix en una columna de partícules contorn que interaccionen amb les partícules del fluid veïnes, per tant, l'única configuració necessària és la del moviment del pistó.

A l'hora de definir al domini, per eliminar la reflexió, s'ha creat una *Damping Zone* (esponja), i s'ha activat la funció *AWAS* (Active Wave Absorption System).

La *Damping Zone* és una funció que actua d'esponja, absorbint tota l'energia que arriba a la zona definida, que en aquest cas, correspon als últims 15 m. Podem veure en el cas de validació (Figura 4-11), que ha partit de la posició $x = 55$ m (on comença la *Damping Zone*) l'alçada d'ona comença a decreixer fins a ser mínima.

En canvi, la funció *AWAS* corregeix la reflexió que pugui quedar variant l'oscil·lació del pistó de la següent onada en funció al que li arriba, generant així l'oscil·lació real que es programa. Es pot observar la correcció de la funció *AWAS* a la següent figura;

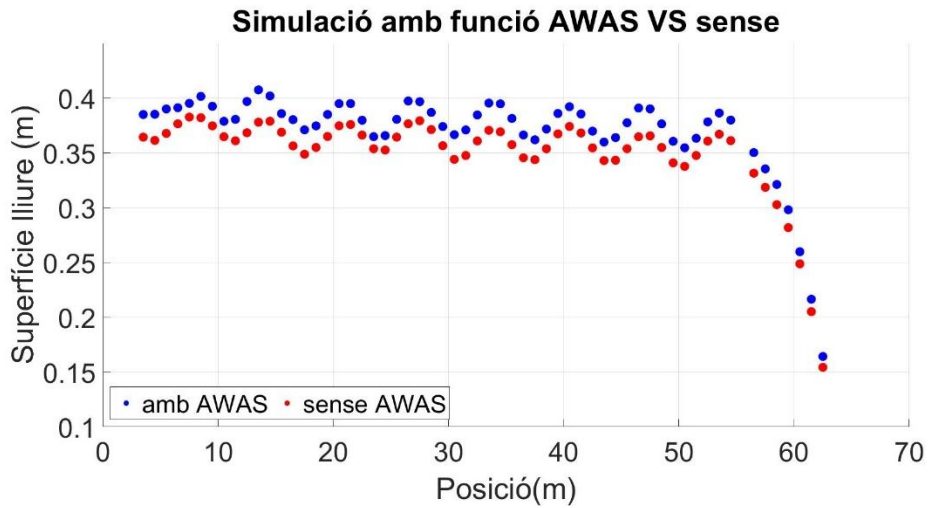


Figura 4-8. Exemple de la simulació de validació amb i sense funció AWAS. Font: Elaboració pròpia.

Per la configuració del fons i el pendent, s’ha utilitzat la funció *setshapemode*, que ens permet dissenyar el fons de la simulació a partir de coordenades.

Per poder fer el postprocessat, s’han configurat 65 sensors (Figura 4-9) que funcionen com a sensors resistius, aquests sensors mesuren la distància fins on trobar aigua a partir d’un radi d’interacció (2h) i calculant-hi la massa, si aquesta és igual a 0.4 el sensor, para. Pot generar problemes en la zona de trencament, on trobarà primer el pic de l’ona trencant, però és una de les millors eines que actualment té aquest codi.

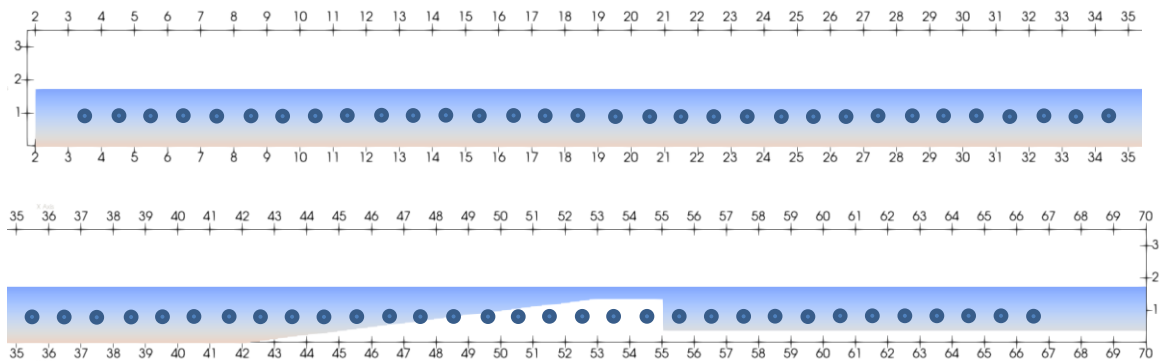


Figura 4-9. Punts on es troben els sensors de la simulació. Font: Elaboració pròpia.

A més hi ha hagut uns valors per defecte que s’han emprat al model (Taula 4-1), que poden influir en els resultats, per tant, seria convenient elaborar un anàlisi de sensibilitat amb aquests, tot i que aquesta feina queda fora de les possibilitats d’aquest TFG.

Els valors de dp , $coefh$ i $coefsound$, s’han determinat amb els suggeriments de Rota Roselli et al., (2018).

Valors per defecte utilitzats al model		
	Valor	Comentaris
dp	$1/10 \cdot H$	dp ha variat en funció l'alçada d'ona.
coefh	1.5	Valor que determina la distància d'interacció ($h = \text{coefh} \cdot \sqrt{3 \cdot dp^2}$)
coefsound	16	Coeficient per multiplicar el <i>speedsystem</i>
Visco Treatment	Artificial	Definit a l'apartat 4.1 o Altomare et al., (2021) i Meringolo et al., (2019)
DDT	Fourtakas	Density Diffusion Term, definit a l'apartat 4.1
Kernel	Wendland	Default, definit a l'apartat 4.1

Taula 4-1. Valors per defecte de la simulació. Font: Elaboració pròpia.

Un cop el domini i la simulació s'ha configurat, s'ha realitzat una simulació de validació del comportament del model per tal de verificar que l'onatge es propaga com s'ha de propagar i que s'ha eliminat tota la possible reflexió de l'onatge.

Per fer-ho s'ha executat una simulació sense estructura, i amb el postprocessat corresponent s'ha estudiat quina ha estat la reflexió d'aquest onatge (Figura 4-10). S'ha fet amb l'anàlisi de resultats de MATLAB que s'explica a continuació, comparant l'elevació de la superfície lliure del mar teòrica, és a dir, la que genera el pistó, amb les dades dels sensors abans d'entrar a la *Damping Zone* (esponja) i calculant l'alçada d'ona mitjana que mostren els sensors amb l'alçada d'ona teòrica.

S'ha observat que el desfasi que hi ha és mínim comparat amb els 70 m en els quals estan repartits (Figura 4-11). Amb el codi de MATLAB per fer l'anàlisi de les dades s'ha calculat la H mitjana per comprar-la amb la programada, i disten de 0.009 m, un valor que també indica una bona propagació. Altrament, com s'ha comentat en el seu respectiu apartat, s'hi pot veure com l'alçada d'ona (0.4 m) comença a reduir-se a la posició $x = 55$ m (imatge de l'esquerra de la Figura 4-11), indicador de que la *Damping Zone* compleix amb el seu objectiu de dissipar l'energia que li arriba.

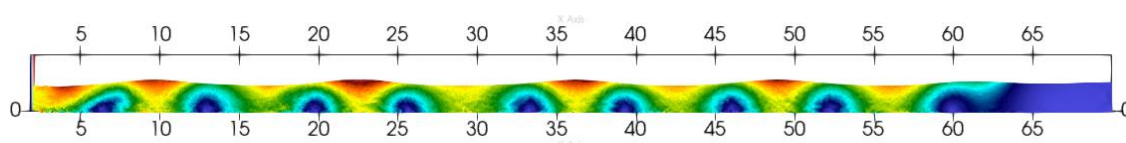


Figura 4-10. Visualització de la propagació d'ones en la simulació SIM_00_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

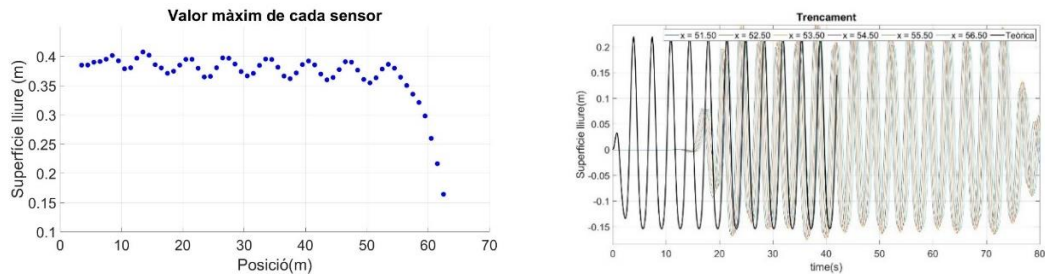


Figura 4-11. Postprocessat de la simulació SIM_00_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

A l'ANNEX 2, es troba un codi base de SPH amb condicions de contorn mDBC, correspon al codi de la SIM_60_mDBC.

5 ANÀLISI DE LES DADES

A partir de les simulacions realitzades s'obindrà l'evolució de l'onatge en el temps en cada punt del domini. Per tal de poder arribar al nostre objectiu de determinar quin clima d'onatge i pendent provocaran un tipus de trencament més adient pel surf, es farà un anàlisi del punt i distància on trenca i com varia la dissipació d'energia.

Per fer-ho s'ha treballat amb dos arxius que ens proporciona DualSPHysics, el de les dades teòriques que genera el pistó i el de les dades que recullen els sensors que trobem al llarg de la simulació, a més d'imatges extretes de la simulació amb ParaView.

Per la lectura de les dades s'han eliminat les primeres files dels arxius que descriuen la simulació i no ens interessien, i s'han seleccionat els sensors que volem llegir.

Un cop netejades, s'han representat les dades en funció del temps (Punt 2. del codi. ANNEX 1), a l'haver molts sensors s'ha dividit en un gràfic anomenat *shoaling*, que correspon a la zona de la pendent, i en un gràfic anomenat trencament, que correspon a la zona final de l'estructura. Cal comentar que no té perquè observar-se el trencament en el segon gràfic, però en un inici s'espera que sí, és per això que presenta aquest nom.

Després de la representació de la superfície lliure, s'ha realitzat un càlcul d'alçades d'ona màximes per als sensors que es troben més a prop al punt de trencament esperat (Punt 3. del codi. ANNEX 1), que inclouen els sensors del final del pendent de l'estructura amb el principi de la base (Figura 5-1), per tal de trobar el punt de trencament.

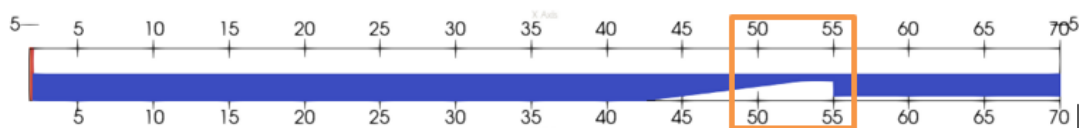


Figura 5-1. Zona de trencament esperat. Font: Elaboració pròpia.

Per fer-ho s'han eliminat les 8 primeres onades de tots els sensors i simulacions (imatge de la dreta de Figura 5-2), per evitar errors del model, i de cada sensor, s'ha calculat l'alçada d'ona màxima. Amb això es pot representar les altures màximes en la zona de trencament, observant el pic corresponent al moment previ al trencament (imatge de la esquerra de Figura 5-2).

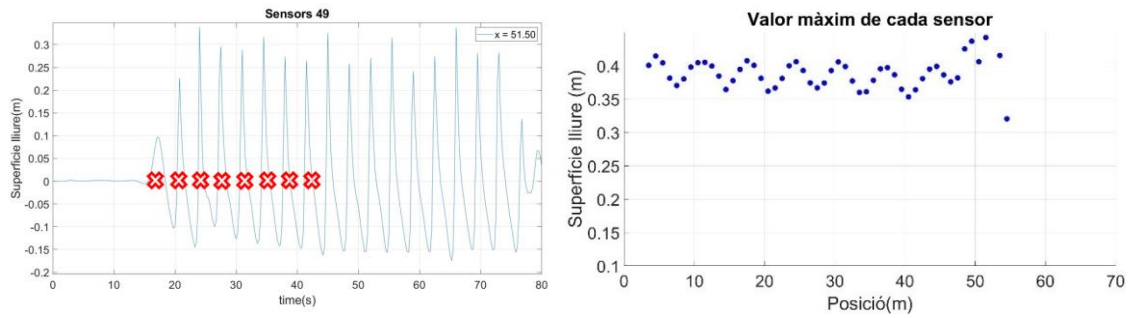


Figura 5-2. Ones que no utilitzem per al càlcul (esquerra) i pic del trencament a la posició $x = 52.5$ m (dreta). Font: Elaboració pròpia.

Per al cas de validació ja mencionat, s'ha realitzat un càlcul de l'alçada d'ona mitjana (Punt 4. del codi. ANNEX 1), per validar que continua sent un valor similar o igual al del valor teòric, i que per tant, la simulació no genera cap fenomen que modifiqui els nostres resultats.

Un cop tenint les alçades d'ona s'ha calculat el gradient que hi ha entre la màxima i la mínima després del trencament, per tenir un valor quantifiqui l'energia dissipada durant aquest (Punt 6. del codi. ANNEX 1). A la Figura 5-3, podem veure representat, en taronja per sobre la línia negra, aquest gradient.

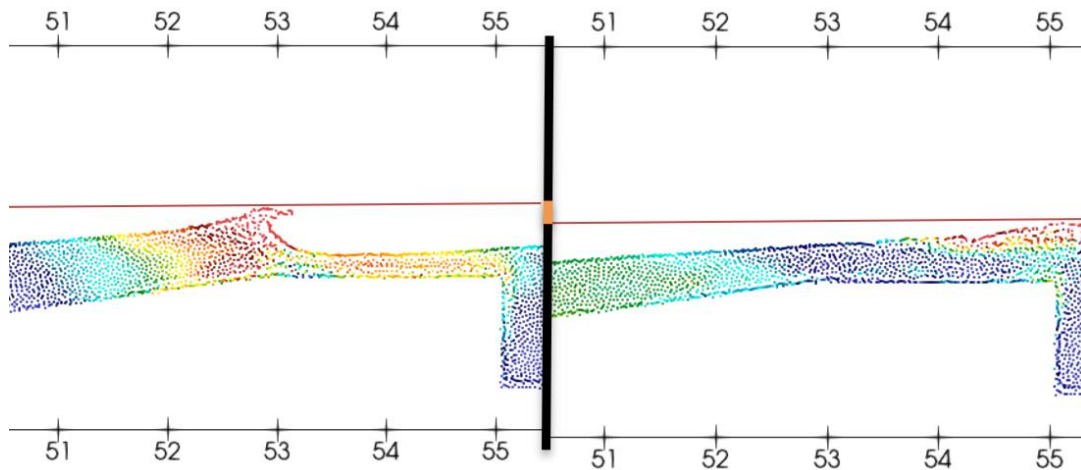


Figura 5-3. Representació del gradient d'una onada. Font: Elaboració pròpia.

A l'equació, de l'energia d'ona, que hi ha a continuació podem veure com l'energia es directament proporcional a l'alçada d'ona.

$$E_{onatge} = \frac{1}{8} \rho g H_s^2$$

Per mirar quina perillositat comporta cada pendent amb el clima d'onatge escollit, també s'ha calculat la cota mínima del cantó de l'estructura (Figura 5-4) de totes les simulacions en el Punt 7. del codi (ANNEX 1).

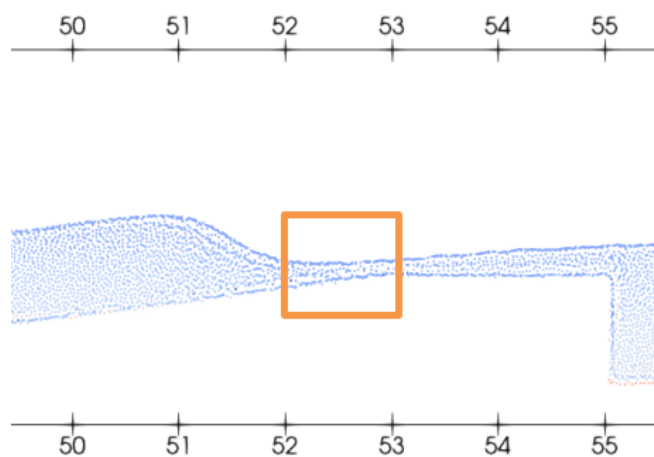


Figura 5-4. Punt de cota mínima, generalment al cantó del final del pendent. Font: Elaboració pròpia.

Finalment, s'ha fet un scatter plot dels punts i alçades de trencament de totes les simulacions (Punt 8. del codi. ANNEX 1).

6 CAS D'ESTUDI

6.1 Dades d'estudi

L'estudi s'ha basat, fonamentalment, en tres paràmetres no constants. El pendent, el període i l'alçada d'ona. Els tres són paràmetres que es configuren a la simulació.

L'alçada d'ona significant mitja per a les platges escollida és de 0.74 m amb un període de 6 s. No interessa agafar aquest valor i que les onades, de mitja, trenquin sempre, es considera més eficient agafar un valor de H major per tal d'optimitzar l'estructura i que funcioni millor, però menys dies. Donat aquest raonament s'ha decidit agafar un valor corresponent al 10% de les onades anuals, prioritzant una millor qualitat de les onades surfejables i no a una major quantitat. Els valors escalats que s'han estudiat han estat de 0.25 i 0.375 m, que corresponen, respectivament, a 1 i 1.5 m en valors reals.

Per al període s'han utilitzat valors que tinguessin una elevada freqüència a la costa catalana i amb un valor prou alt per resultar en onades surfejables. En aquest cas, inicialment s'han fet simulacions amb valors de 5, 6 i 7 s, que escalats són 2.5, 3 i 3.5s respectivament i corresponen, aproximadament, entre el 50 i el 60% dels períodes anuals (vist a 3.2). En les simulacions finals estudiades només es faran simulacions amb els períodes 3 i 3.5, que corresponen al 30-40% de l'onatge anual.

Per als valors del pendent, s'han agafat valors de 1/9 a 1/4, però a mesura que s'han anat realitzant simulacions, el rang s'ha reduït de 1/8 a 1/6.

A continuació tenim una taula amb el trencament teòric de cada simulació en funció del número d'Irribarren.

Pendent	Hs (m)	T (s)	L(λ)	Irribarren	Trencament teòric
1/6	0.25	3	10.8046	1.10	Plunging
1/6	0.25	3.5	13.1062	1.21	Plunging
1/6	0.375	3	10.8046	0.89	Plunging
1/6	0.375	3.5	13.1062	0.99	Plunging
1/7	0.25	3	10.8046	0.94	Plunging
1/7	0.25	3.5	13.1062	1.03	Plunging
1/7	0.375	3	10.8046	0.77	Plunging
1/7	0.375	3.5	13.1062	0.84	Plunging
1/8	0.25	3	10.8046	0.82	Plunging
1/8	0.25	3.5	13.1062	0.91	Plunging
1/8	0.375	3	10.8046	0.67	Plunging
1/8	0.375	3.5	13.1062	0.74	Plunging

Taula 6-1. Trencament teòric. Font: Elaboració pròpia.

Per al francbord (Rc), que és la cota que hi ha entre la superfície lliure i la part més alta de l'estructura, el valor s'ha anat variant a mesura que s'han obtingut resultats de les simulacions. S'ha de vigilar de no posar cotes molt petites amb altures d'ona molta gran, ja que aquesta pot deixar al descobert la base de l'estructura i suposar un perill pels surfistes. S'han estudiat valors de 0.15 a 0.40 per trobar la cota mínima que pot haver-hi sense que sigui perillós.

Per evitar problemes de *scouring* i de variacions en el comportament del transport de sediments de la platja, l'estructura s'ha dissenyat passada la profunditat de tancament. S'ha buscat al llibre verd de la costa catalana quina és la profunditat de tancament a les platges estudiades i després amb la web de batimetries Navionics s'ha mirat a quina distància de la costa estan aquelles profunditats aproximadament (Figura 6-1).

Platja de la Paella → Tarragona (Perfil Dissipatiu): Profunditat de tancament a 6,98 m, posem l'estructura a 7.5/8 m de profunditat per assegurar. La distància aproximada a costa per a una profunditat de 7.5 o 8 m és de 350 m.

Platja del parc del Litoral → Barcelona (Perfil Reflectint): Profunditat de tancament a 6.35 m, posem l'estructura a 6.5 m de profunditat per assegurar. La distància aproximada a costa per a aquesta profunditat és de 210 m.

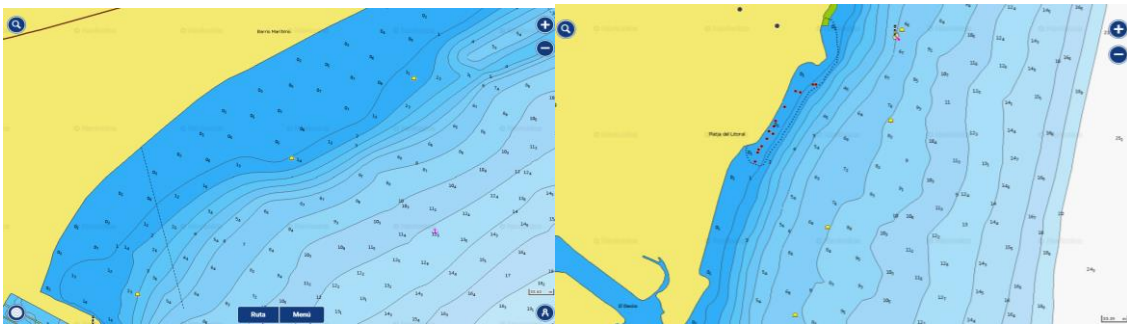


Figura 6-1. Línies de batimetria de la Platja de la Paella (esquerra) i la platja del Parc del Litoral (dreta). Font: Navionics

6.2 Resultats

En total s'han realitzat més de 200 simulacions, però només s'han estudiat de forma seriosa els resultats de les últimes 60 (SIM_00 a SIM_60). Les primeres simulacions van ser per aprendre com funcionava el model, per canviar paràmetres, el nombre de nodes i els passos de temps, per determinar el domini, l'escala i diferents funcions utilitzades. És per això que no es presenten com a resultats.

D'aquestes 60 simulacions que sí que s'han usat per concloure com afecta el pendent a les condicions de surf, s'han analitzat en profunditat les últimes 12. Les 48 anteriors han servit per determinar i fixar els paràmetres de disseny (francbord i període de l'onatge a simular). L'estructura ha de tenir un francbord mínim de 0.4 m, i el període ha de ser major a 2.5 s, ja que períodes iguals o menors a aquest no presenten resultats òptims de condicions de surf. Les últimes 12 simulacions són simulacions ja fetes però amb les condicions de contorn mDBC. Es presenta una taula resum de les últimes 60 simulacions:

Taula 6-2. Taula resum dels paràmetres (en blau) de les simulacions que han aportat resultats.

	Altura d'ona		Període			Francbord			Pendent			mDBC	
	Hs = 0.25m*	Hs = 0.375m*	T = 2.5*	T = 3s*	T = 3.5s*	Rc = 0.15m	Rc = 0.2m	Rc = 0.3m	Rc = 0.6m	1/6	1/7		1/8 Sl
SIM_00													
SIM_01													
SIM_02													
SIM_03													
SIM_04													
SIM_05													
SIM_06													
SIM_07													
SIM_08													
SIM_09													
SIM_10													
SIM_11													
SIM_12													
SIM_13													
SIM_14													
SIM_15													
SIM_16													
SIM_17													
SIM_18													
SIM_19													
SIM_20													
SIM_21													
SIM_22													
SIM_23													
SIM_24													
SIM_25													
SIM_26													
SIM_27													
SIM_28													
SIM_29													
SIM_30													
SIM_31													
SIM_32													
SIM_33													
SIM_34													
SIM_35													
SIM_36													
SIM_37													
SIM_38													
SIM_39													
SIM_40													
SIM_41													
SIM_42													
SIM_43													
SIM_44													
SIM_45													
SIM_46													
SIM_47													
SIM_48													
SIM_49_mDBC													
SIM_50_mDBC													
SIM_51_mDBC													
SIM_52_mDBC													
SIM_53_mDBC													
SIM_54_mDBC													
SIM_55_mDBC													
SIM_56_mDBC													
SIM_57_mDBC													
SIM_58_mDBC													
SIM_59_mDBC													
SIM_60_mDBC													
SIM_00_mDBC													

Cada taula de resultats (Taula 6-3, Taula 6-4, Taula 6-5, Taula 6-6, Taula 6-7, Taula 6-9, Taula 6-10, Taula 6-11, Taula 6-12, Taula 6-13) presenta tres imatges de la simulació que representen el trencament mitjà, un gràfic del punt de màxima alçada d'ona que trobem als sensors vora el trencament i valors rellevants per poder discutir quin trencament és l'òptim per al surf. La primera taula (Taula 6-3) correspon a la simulació de validació del model, que ens justifica que la simulació no crea fenòmens físics que s'allunyin de la realitat.

Les imatges s'han extret del programa ParaView, que s'ha utilitzat per visualitzar-les. Són trencaments representatius de la simulació corresponent que es troben entre l'interval de 200 i 220 dels passos de la simulació, així que si el time-out o freqüència de mostreig és de 0.02 Hz i els períodes són de 3 s o 3.5 s, aquestes es troben entre el segon 40 i 44 de la simulació.

Per obtenir un paràmetre d'escala, les dimensions en x de la imatge són les mateixes que les de y. Sent la y màxima de 3.5 m (alçada del pistó).

La llegenda del fluid és la que es presenta a continuació (Figura 6-2):

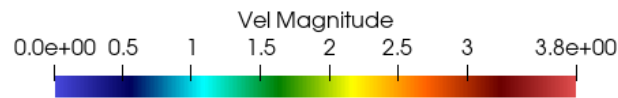


Figura 6-2. Colorbar de les velocitats del fluid. Font: DualSPHysics con visor Paraview.

En la següent figura podem observar el punt i alçada d'ona en el trencament de les diferents simulacions on s'hi ha aplicat les condicions de contorn.

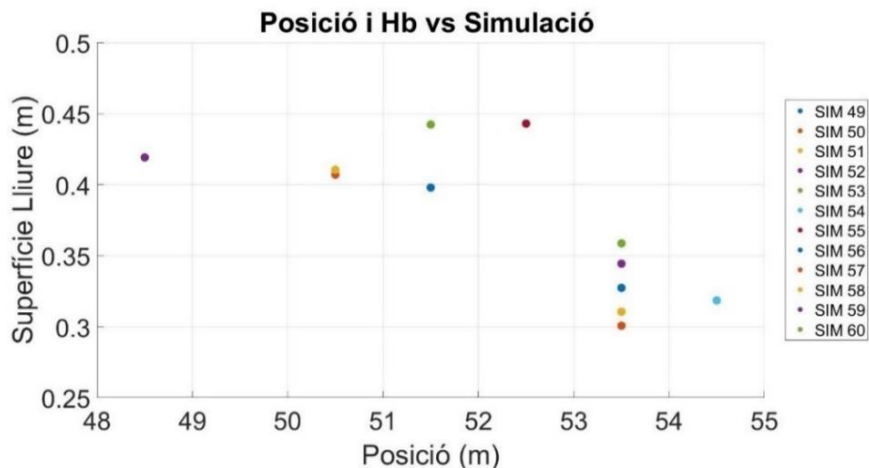
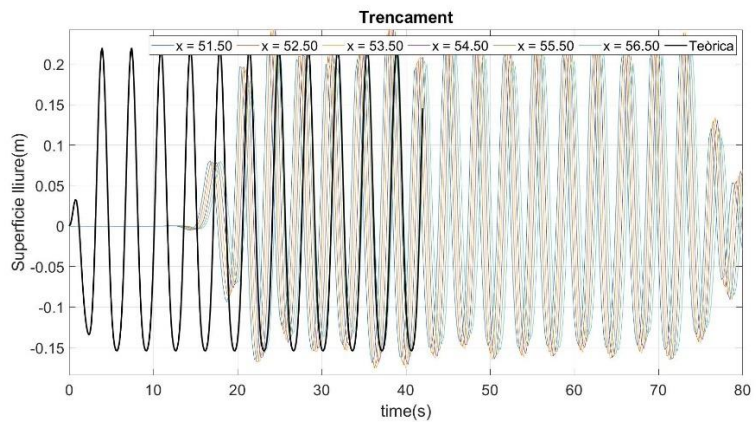
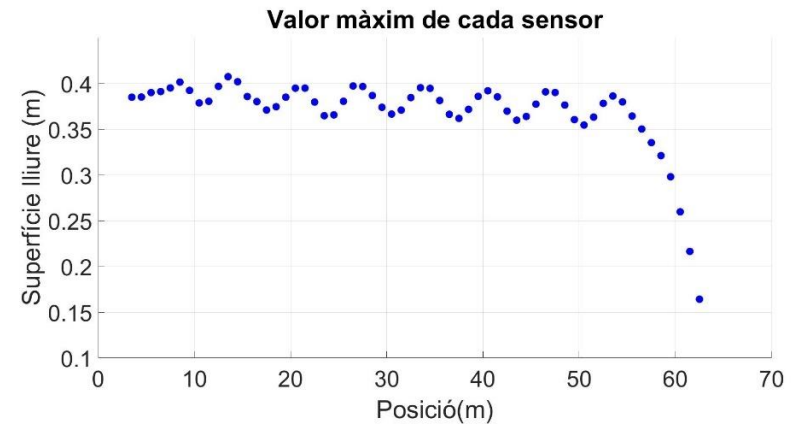
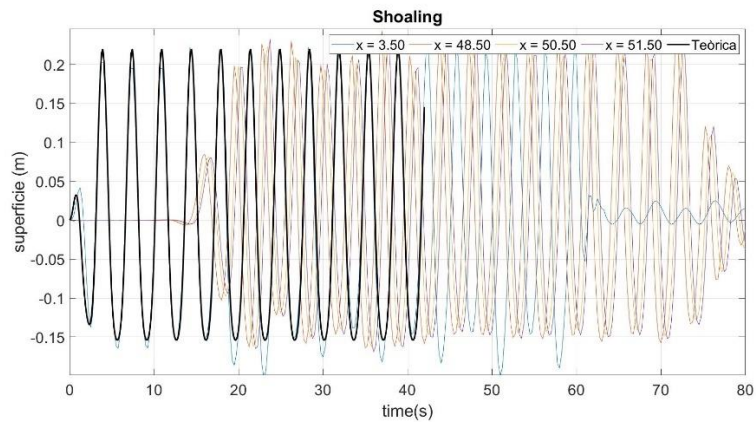


Figura 6-3. Superfície lliure i posició en la que ha trencat cada simulació. Font: Elaboració pròpia.

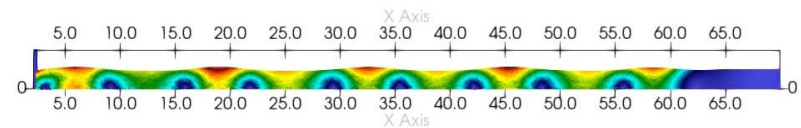
Taula 6-3. Taula de resultats per a la SIM_00_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_00_mDBC | H = 0.375 m | T = 3.5 s | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 83352



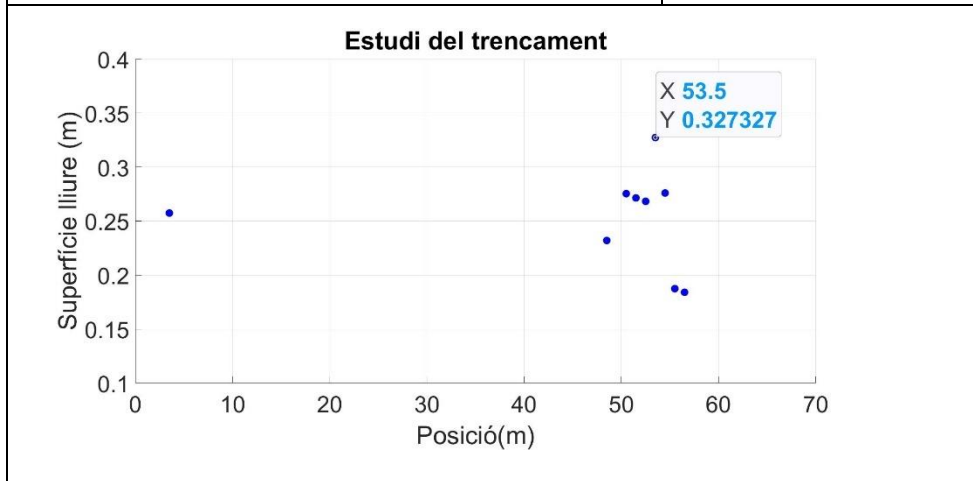
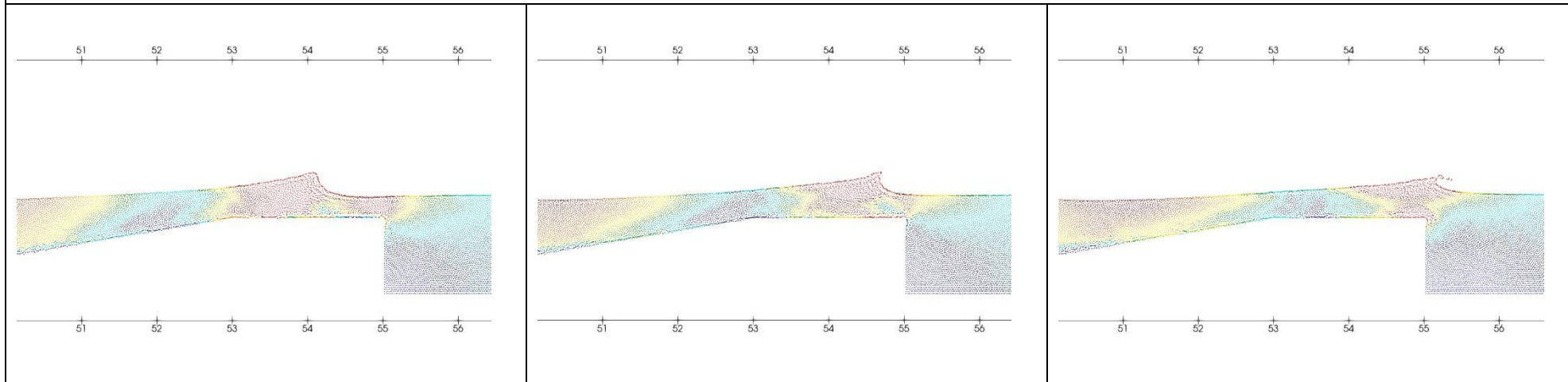
La H de validació (mesurada pels 53 primers sensors) marca que és 0.38 m amb una H teòrica és de 0.375 m. S'observa certa reflexió, però es considera mínima tenint en compte, els 70 m respectius, on estan repartits els sensors.

La variabilitat en l'alçada d'ona es pot donar pel conflicte, ja comentat en l'apartat XX, en la forma de calcular l'alçada d'ona pels diferents resistius.



Taula 6-4. Taula de resultats per a la SIM_49_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_49_mDBC | H = 0.25 m | T = 3 s | Pendent = 1/6 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 166225 | N^o Imatges = 205, 206, 207



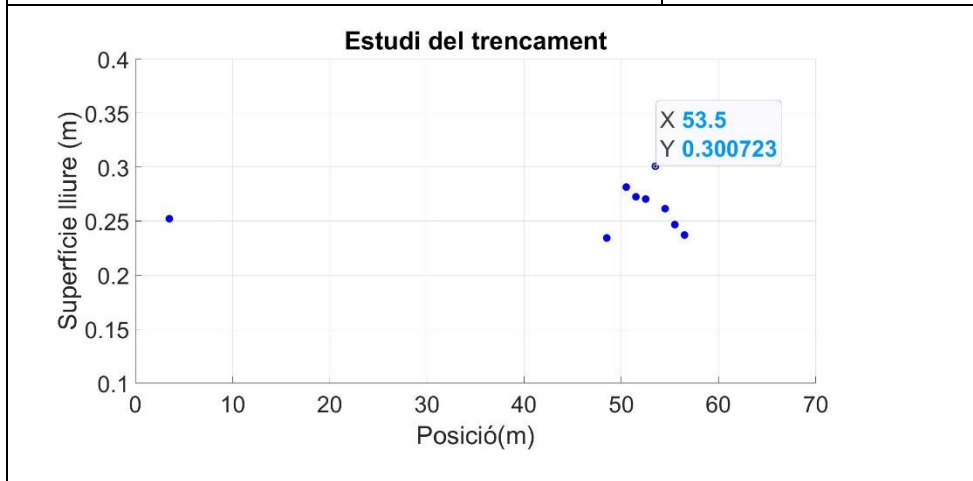
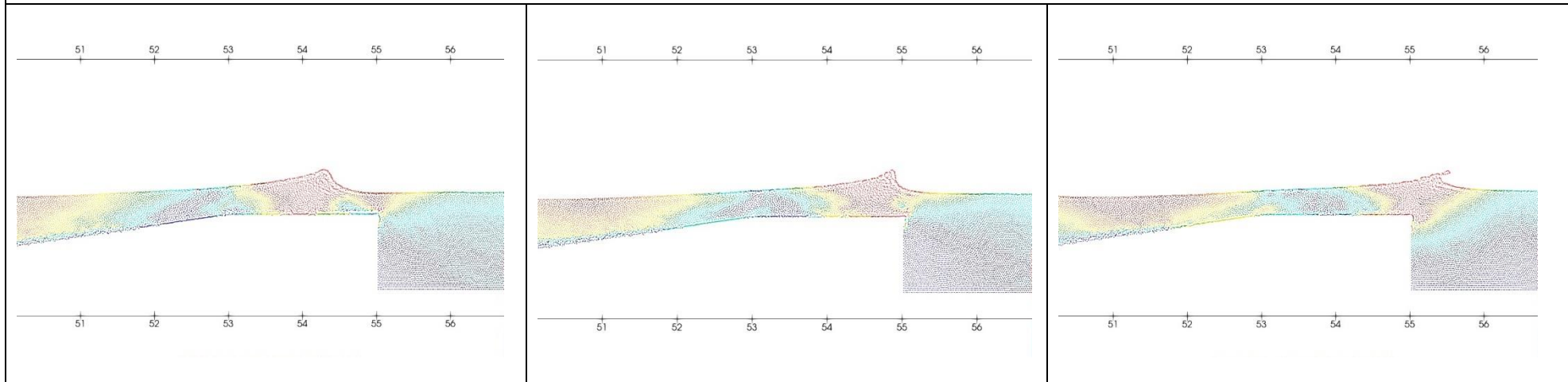
L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.327 m (1.309 m reals) a mig metre del final del pendent de l'estructura. El gradient que genera el trencament és de 0.143 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.268 (1.072 m reals).

L'onada trenca tipus spilling.

Taula 6-5. Taula de resultats per a la SIM_50_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_50_mDBC | H = 0.25 m | T = 3 s | Pendent = 1/7 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 164792 | N^o Imatges = 205, 206, 207

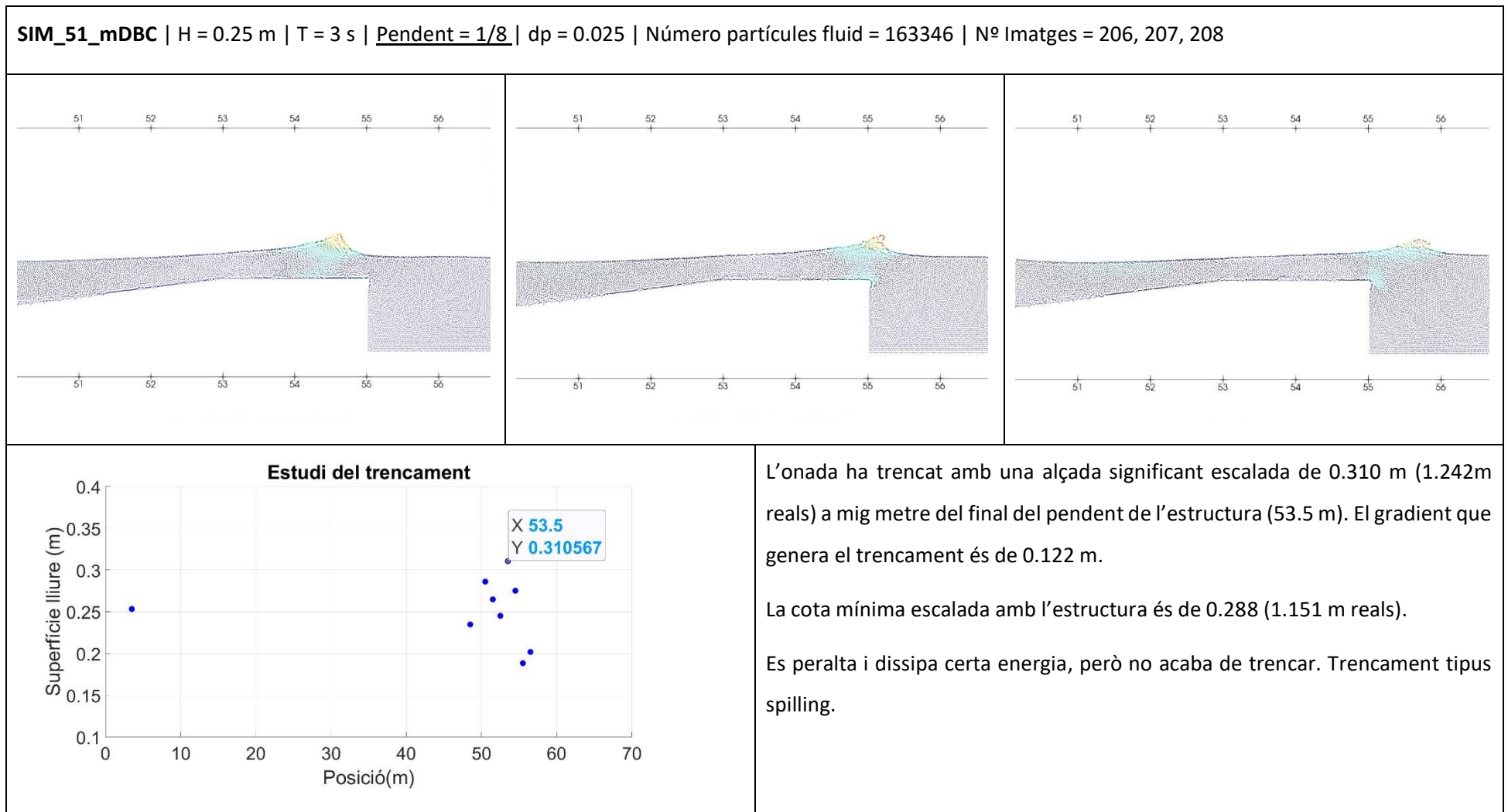


L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.301 m (1.203m reals) a mig metre del final del pendent de l'estructura (53.5 m). El gradient que genera el trencament és de 0.063 m.

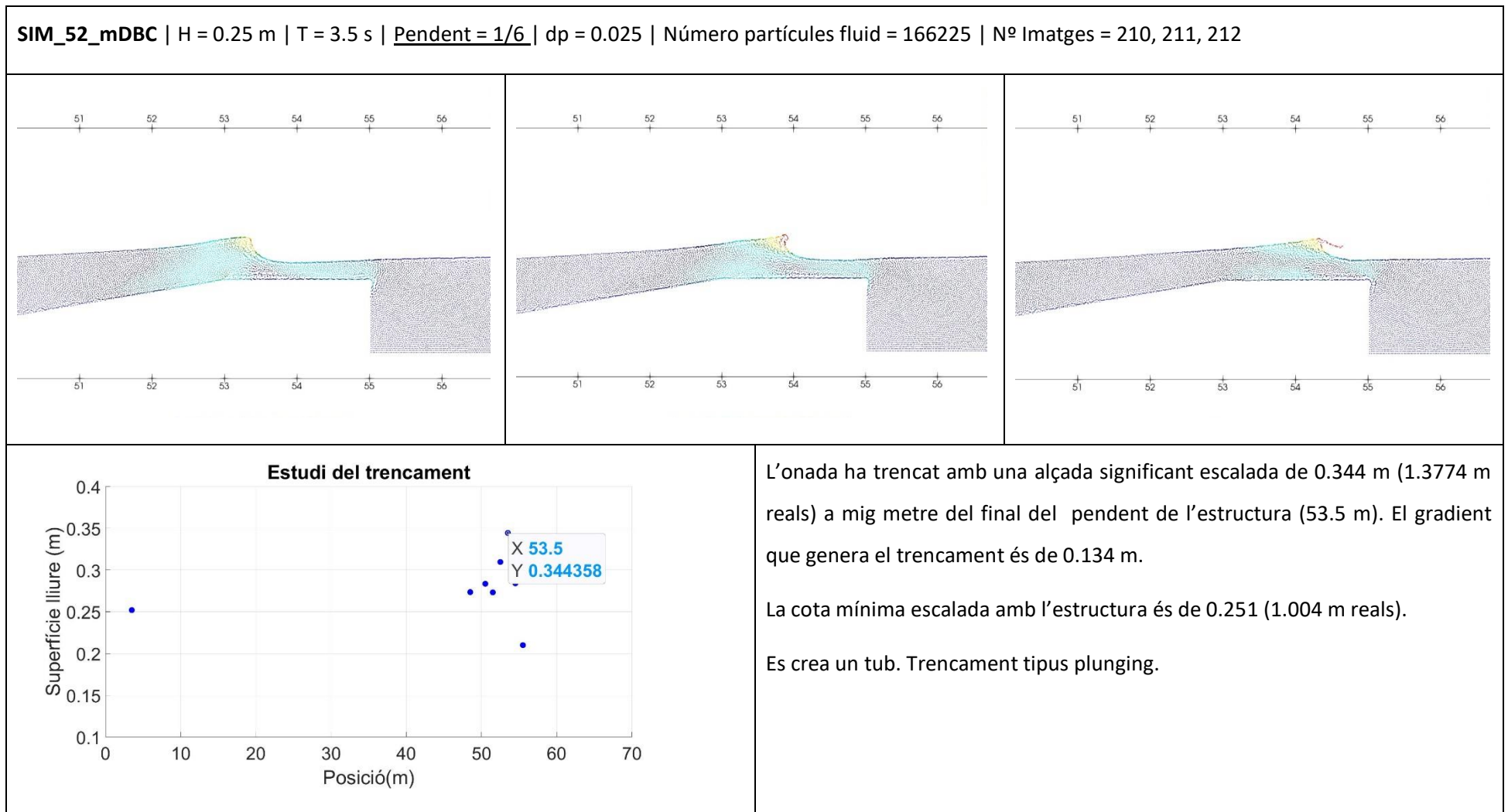
La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0. 0.276 (1.104 m reals).

Crea un cert tub, característic del trencament tipus plunging, no trenca en totes les simulacions, algunes només es peralta i dissipa certa energia.

Taula 6-6. Taula de resultats per a la SIM_51_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

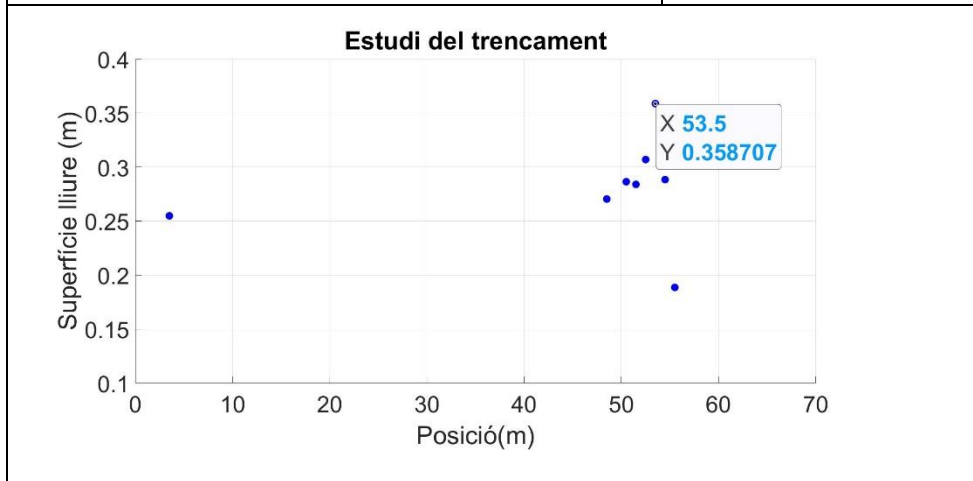
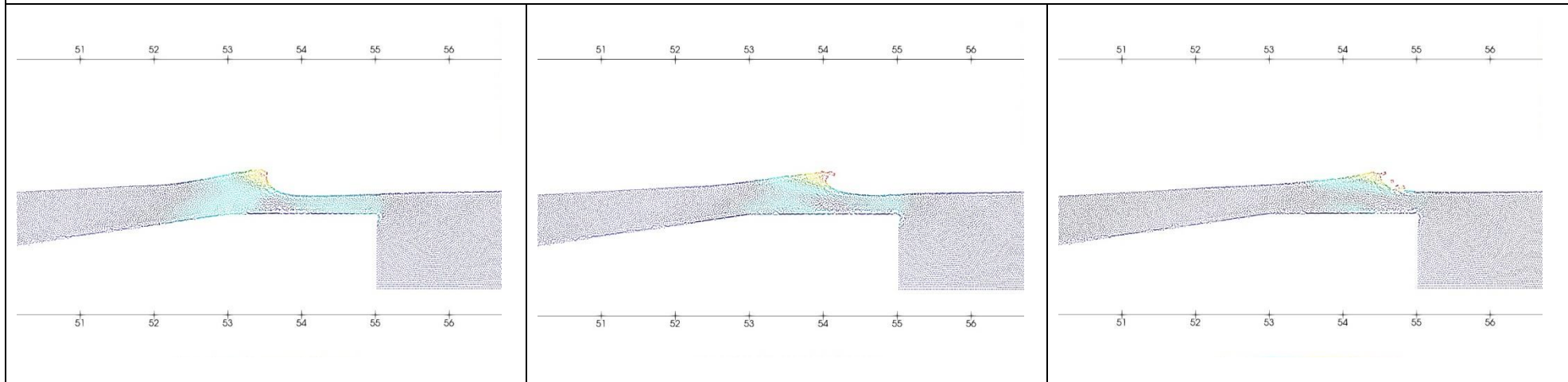


Taula 6-7. Taula de resultats per a la SIM_52_mDBC. Font: Elaboració pròpia.



Taula 6-8. Taula de resultats per a la SIM_53_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_53_mDBC | H = 0.25 m | T = 3.5 s | Pendent = 1/7 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 164792 | Nº Imatges = 211, 212, 213



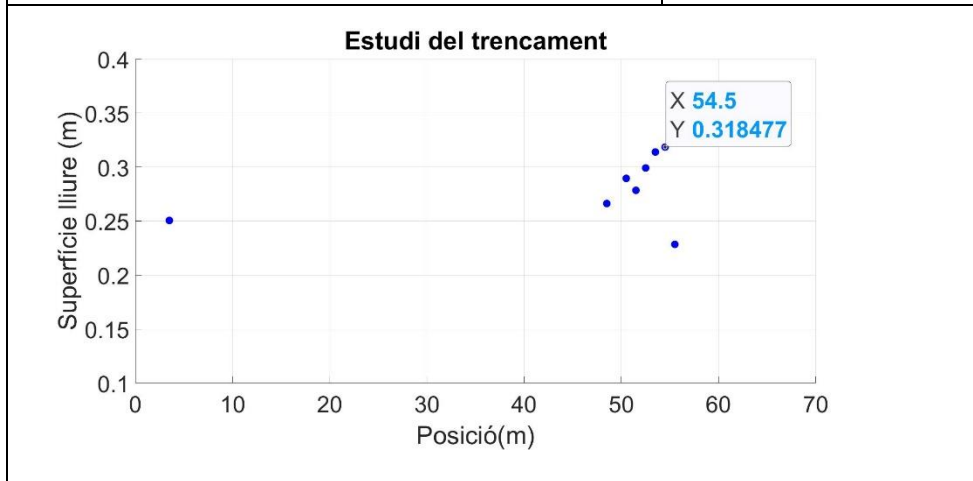
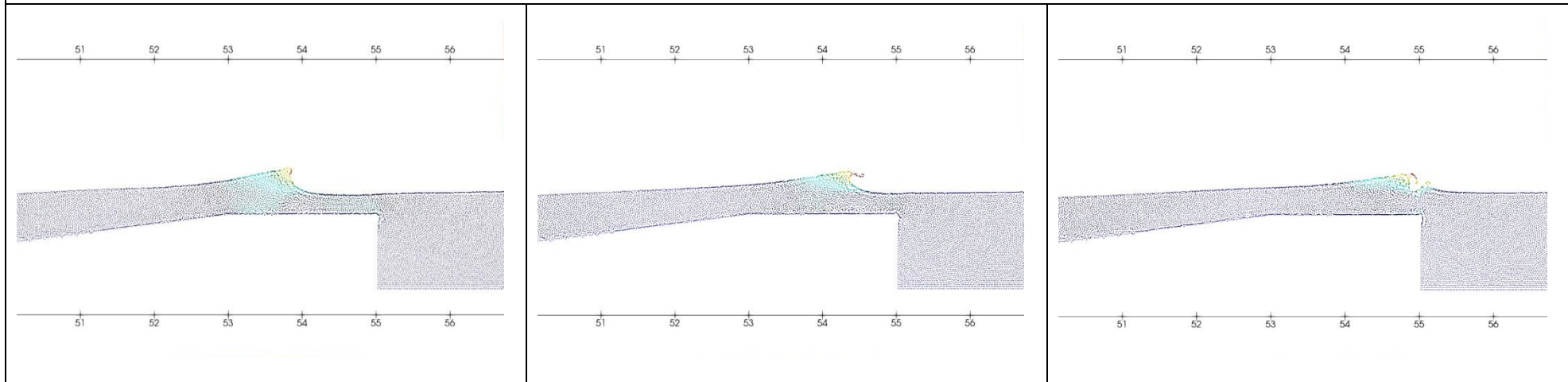
L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.359 m (1.435 m reals) a mig metre del final del pendent de l'estructura (53.5 m). El gradient que genera el trencament és de 0.170 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.254 (1.015 m reals).

Es crea un tub. Trencament tipus plunging/collapsing, té molta empenta.

Taula 6-9. Taula de resultats per a la SIM_54_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_54_mDBC | H = 0.25 m | T = 3.5 s | Pendent = 1/8 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 163346 | Nº Imatges = 211, 212, 213



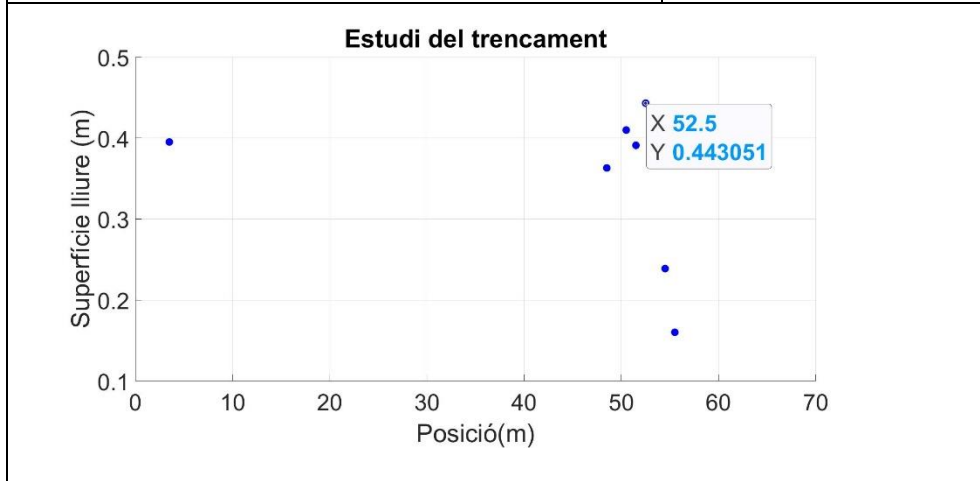
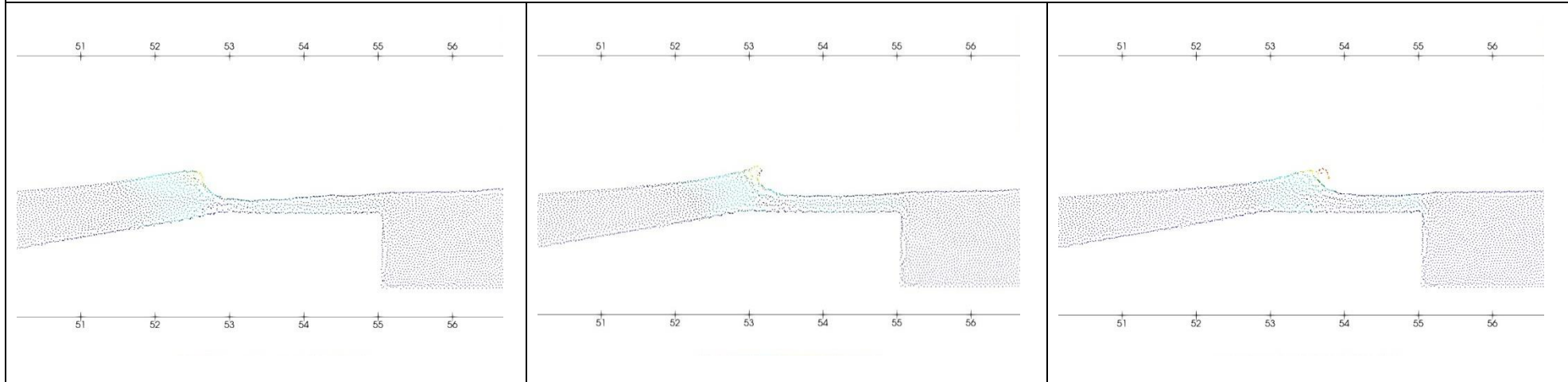
L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.318 m (1.274 m reals) a un metre i mig del final del pendent de l'estructura, és a dir, a 54.5 m del pistó. El gradient que genera el trencament és de 0.090 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.270 (1.082 m reals).

Es crea un tub. Trencament tipus plunging/collapsing, té molta empenta.

Taula 6-10. Taula de resultats per a la SIM_55_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_55_mDBC | H = 0.375 m | T = 3 s | Pendent = 1/6 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 166225 | N^o Imatges = 213, 214, 215



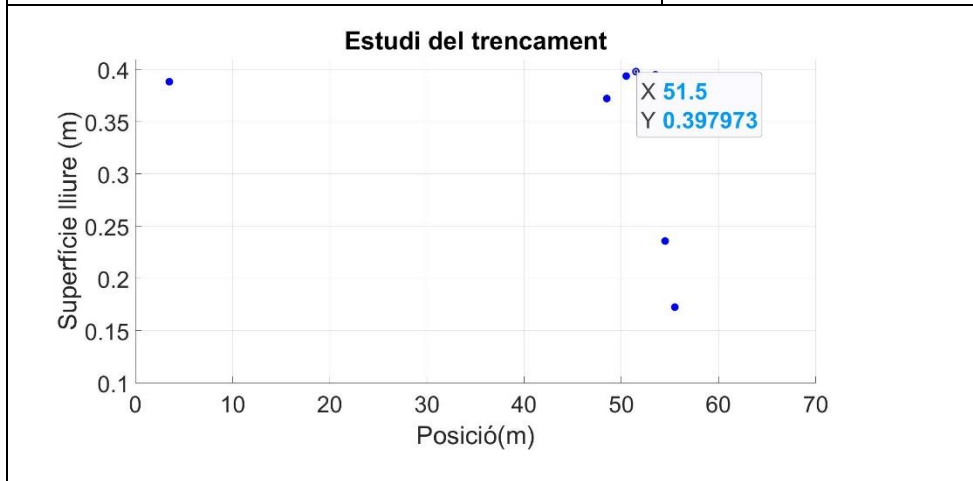
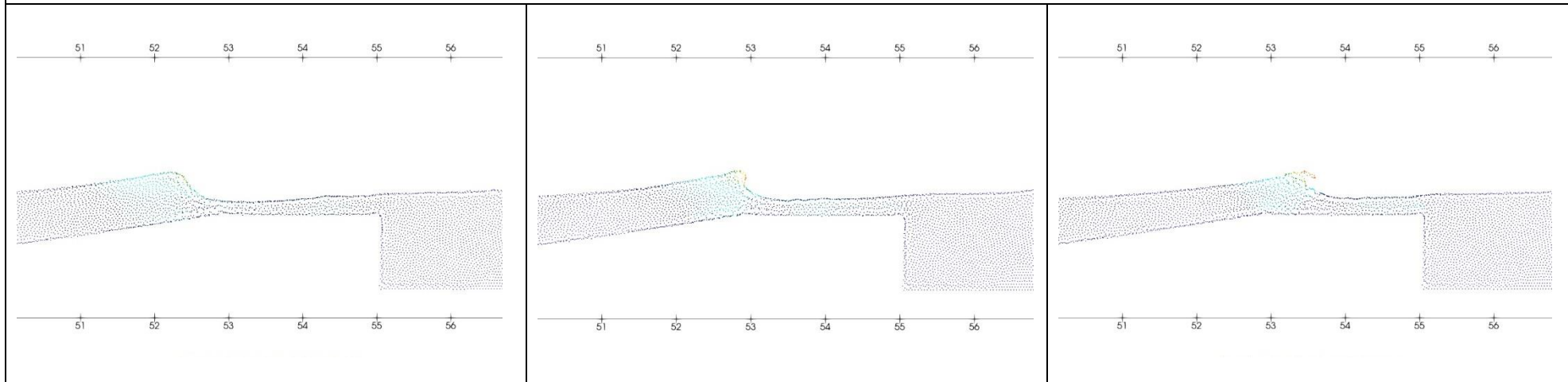
L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.443 m (1.7722 m reals) mig metre abans de final del pendent de l'estructura, és a dir, a 52.5 m del pistó. El gradient que genera el trencament és de 0.283 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.204 (0.816 m reals).

Al principi del trencament, crea un cert tub o té tendència a fer-ho, però acaba trencant en spilling.

Taula 6-11. Taula de resultats per a la SIM_56_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_56_mDBC | H = 0.375 m | T = 3 s | Pendent = 1/7 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 164792 | N^o Imatges = 213, 214, 215

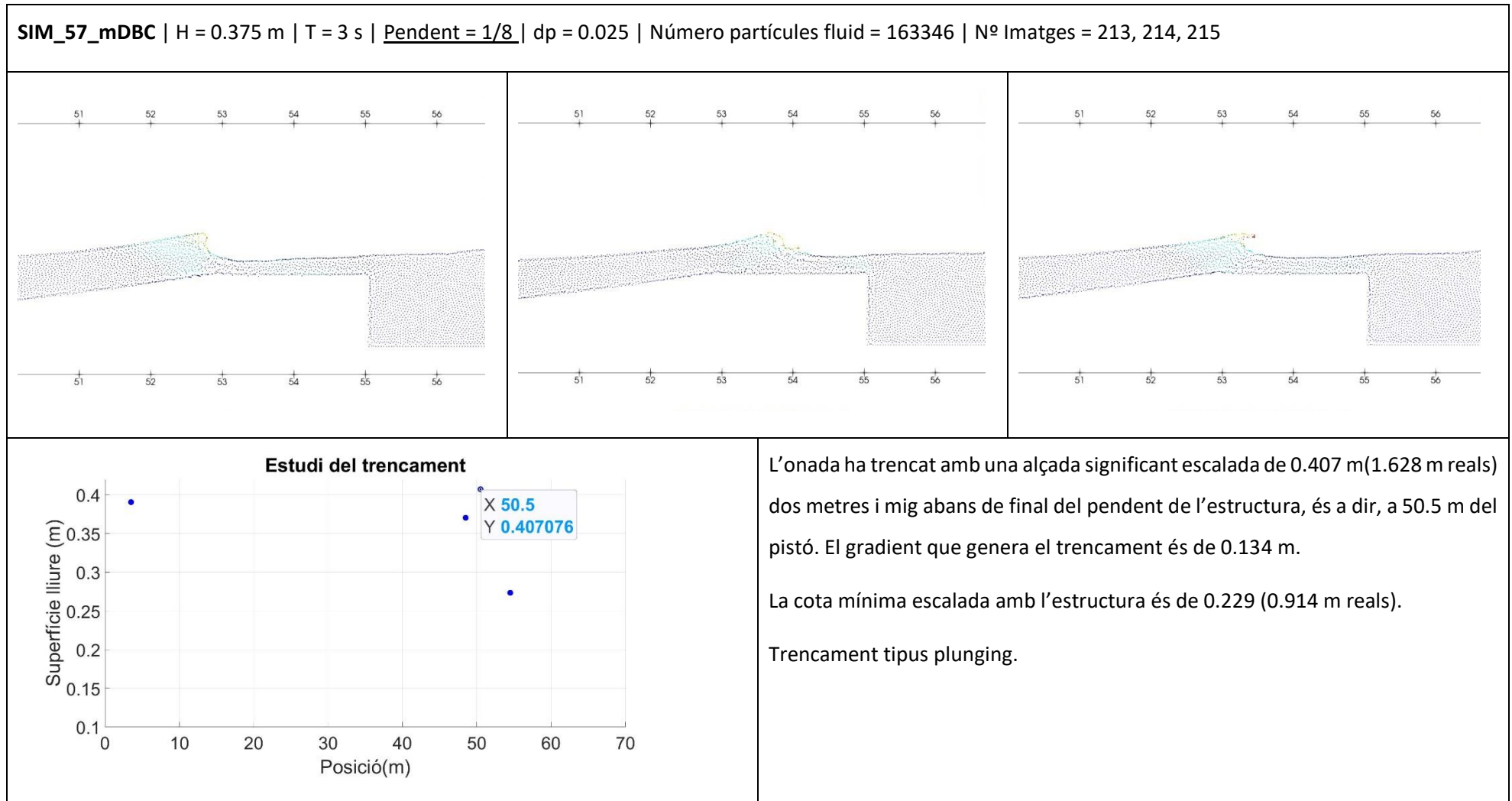


L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.398 m (1.592 m reals) a un metre i mig metre abans de final del pendent de l'estructura, és a dir, a 51.5 m del pistó. El gradient que genera el trencament és de 0.225 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.215 que corresponen a 0.859 m reals.

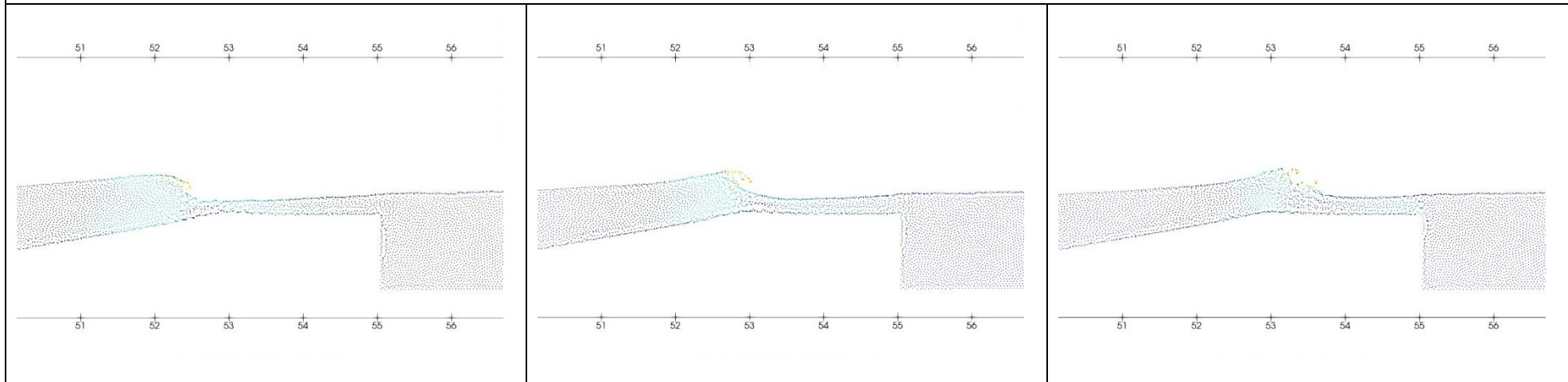
Crea un petit tub. Trencament plunging.

Taula 6-12. Taula de resultats per a la SIM_57_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

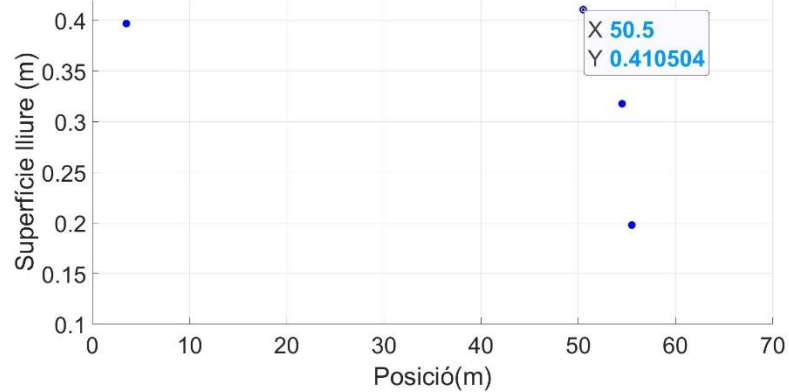


Taula 6-13. Taula de resultats per a la SIM_58_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_58_mDBC | H = 0.375 m | T = 3.5 s | Pendent = 1/6 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 166225 | Nº Imatges = 213, 214, 215



Estudi del trencament



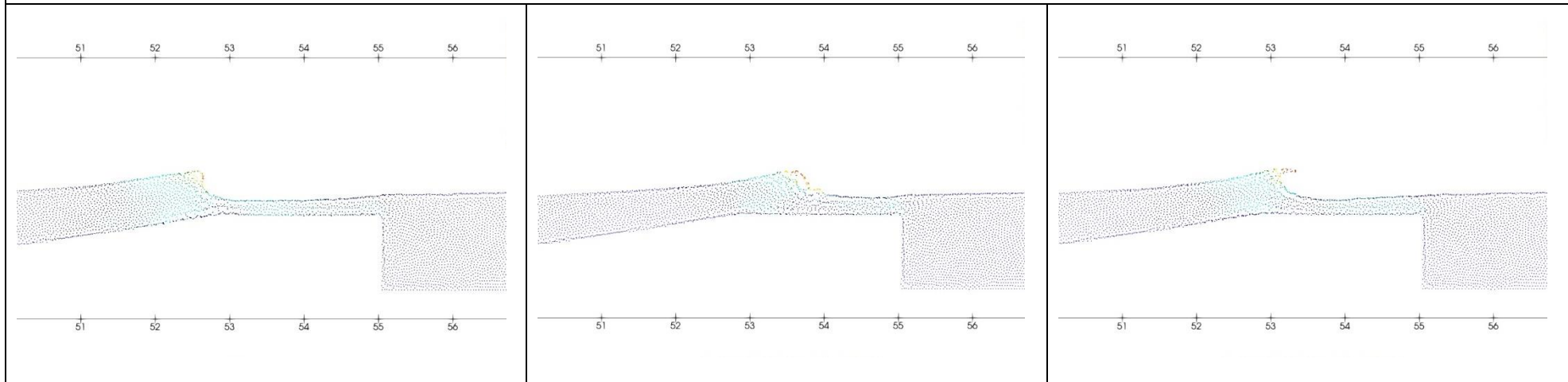
L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.411 m (1.642 m reals) dos metres i mig abans de final del pendent de l'estructura, és a dir, a 50.5 m del pistó. El gradient que genera el trencament és de 0.258 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.190 (0.762 m reals).

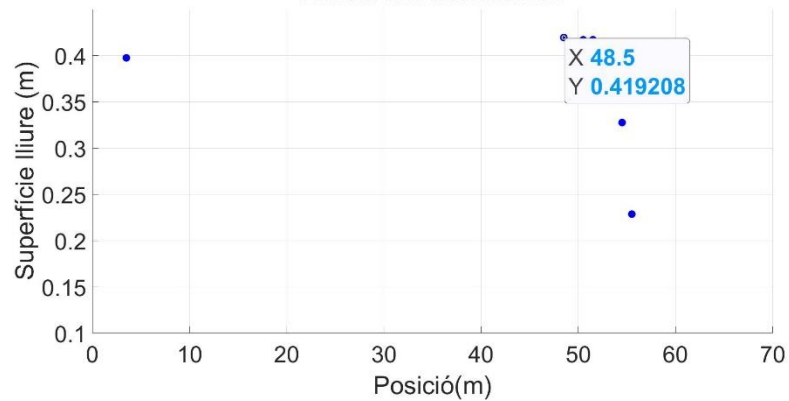
Crea un clar tub, trencament tipus plunging. L'onada es menja part del tub.

Taula 6-14. Taula de resultats per a la SIM_59_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_59_mDBC | H = 0.375 m | T = 3.5 s | Pendent = 1/7 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 164792 | Nº Imatges = 209, 210, 211



Estudi del trencament



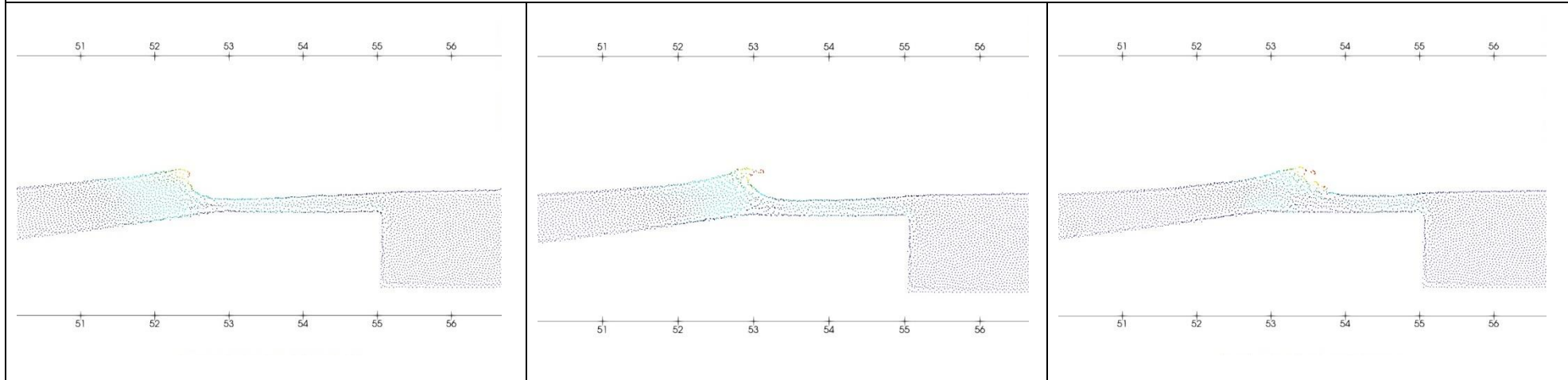
L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.420 m (1.677 m reals) a 48.5 m del pistó. El gradient que genera el trencament és de 0.239 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.215 (0.861 m reals).

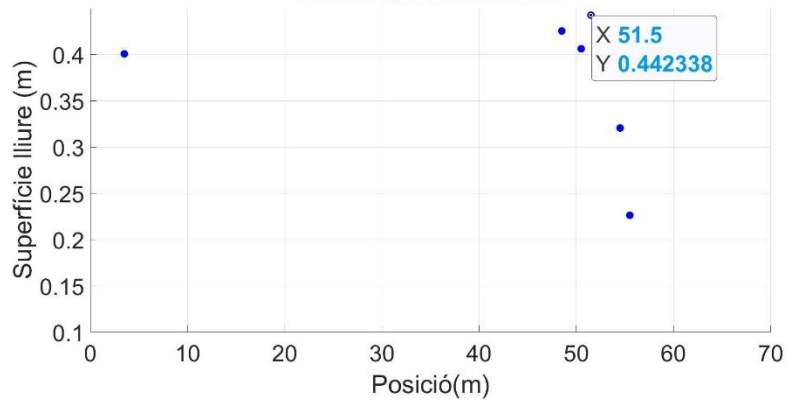
Crea un clar tub. Trencament tipus plunging.

Taula 6-15. Taula de resultats per a la SIM_60_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

SIM_60_mDBC | H = 0.375 m | T = 3.5 s | Pendent = 1/8 | dp = 0.025 | Número partícules fluid = 163346



Estudi del trencament



L'onada ha trencat amb una alçada significant escalada de 0.442 m (1.781 m reals) a 51.5 m del pistó. El gradient que genera el trencament és de 0.230 m.

La cota mínima escalada amb l'estructura és de 0.226 (0.903 m reals).

Crea un clar tub. Trencament tipus plunging.

7 DISCUSSIÓ

Durant les simulacions inicials - que no incorporen les condicions de contorn mDBC - les millors pendents han mostrat estar entre 1/6 a 1/8.

També s'ha vist que un període menor a 3 s, que correspon aproximadament al 50% de períodes anuals, no permet un bon trencament de l'onatge sota aquestes condicions de disseny.

Es descarten també les simulacions amb grans pendents i petits períodes, com és el cas de la simulació SIM_48, que té un pendent d'1/8 i un període de 2.5 s, on es crea un trencament que t'impulsa cap al fons i et fa caure de la taula.

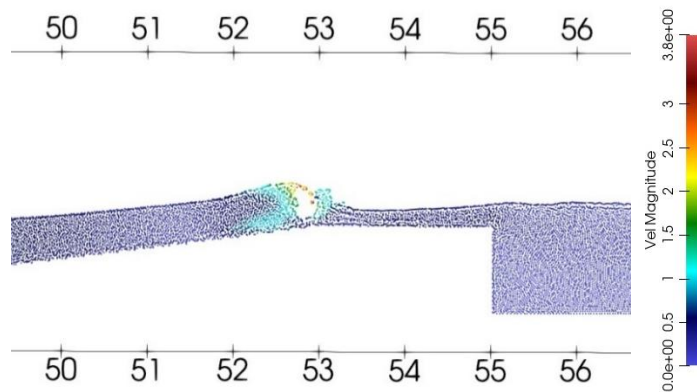


Figura 7-1. Imatge de la simulació SIM_48_mDBC. Font: Elaboració pròpia.

A la simulació SIM_13, s'ha pogut observar un clar exemple de com els valors del francbord menors a 0.3 m poden arribar a ser perillosos, ja que en trencar l'onada aquesta deixa al descobert l'estructura. Així i tot, depèn de l'alçada d'ona per la qual està destinada fonamentalment l'estructura, per tant, depèn del ventall de clima d'onatge que es vulgui abastar.

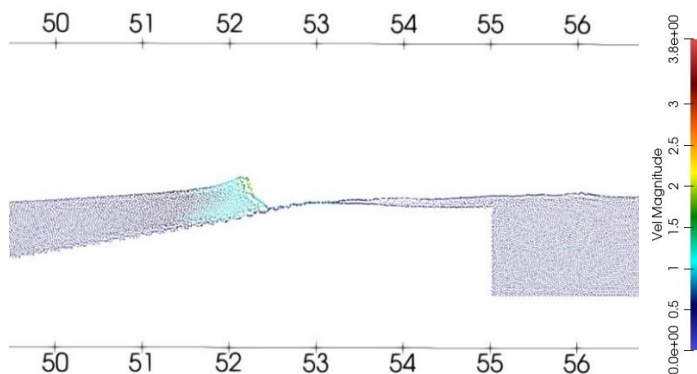


Figura 7-2. Exemple de cas on el francbord és massa petit pel clima d'onatge que hi ha (SIM_13_mDBC). Font: Elaboració pròpia.

Es interessant discutir el fet d'haver agafat dos tipus de platja diferents (reflectant i dissipativa) per fer l'estudi. Està clar, que és imprescindible conèixer la zona i el clima d'onatge d'una platja abans de construir i durant el disseny de qualsevol estructura artificial, i que segons el tipus de platja on es treballi, el mar es comportarà d'una manera o d'un altre. Així i tot, a l'estar fora la profunditat de tancament i a una distància on l'onada no toca el fons, en l'estudi no ha estat rellevant ni influenciant el tipus de pendent que hi ha, ja que se li afegirà una nova pendent amb l'estructura. Però si que es necessari a l'hora de fer futurs estudis de corrents o transport de sediments, objectius que no formen part d'aquesta tesina.

Per altra banda, s'ha vist com no totes les formes predites de trencament segons Irribarren han coincidit amb el trencament modelat (discrepen significativament), per tant, tant el trencament teòric com el modelat, serveixen per donar un valor orientatiu, és per aquest motiu que seria bo comparar els dos trencaments (modelat i Irribarren) amb un modelat físic.

Pendent	Hs (m)	T (s)	L(λ)	Irribarren	Trencament teoric	Trencament model
1/6	0.25	3	10.8046	1.10	Plunging	Spilling
1/6	0.25	3.5	13.1062	1.21	Plunging	Surging
1/6	0.375	3	10.8046	0.89	Plunging	Spilling
1/6	0.375	3.5	13.1062	0.99	Plunging	Plunging
1/7	0.25	3	10.8046	0.94	Plunging	Es peralta
1/7	0.25	3.5	13.1062	1.03	Plunging	Plunging
1/7	0.375	3	10.8046	0.77	Plunging	Plunging
1/7	0.375	3.5	13.1062	0.84	Plunging	Plunging
1/8	0.25	3	10.8046	0.82	Plunging	Spilling
1/8	0.25	3.5	13.1062	0.91	Plunging	Collapsing
1/8	0.375	3	10.8046	0.67	Plunging	Plunging
1/8	0.375	3.5	13.1062	0.74	Plunging	Plunging

Figura 7-3. Comparació trencament teòric amb trencament modelat. Font: Elaboració pròpia.

En les següents figures es pot observar, primerament, la diferencia en la densitat, per un mateix punt en el temps d'una mateixa simulació, però una amb condicions de contorn (mDBC) i l'altre sense (DBC) (Figura 7-5). I després les diferents alçades d'ona que hi ha en diferents sensors per una simulació (amb mDBC) i un altre (DBC) (Taula 7-1).

S'observa com les alçades varien, com la forma es genera millor i hi ha menys soroll numèric, per últim, també s'observa (en les alçades d'ona en els casos de condició de contorn DBC (Taula 7-1), en comparació al cas amb mDBC), certa dissipació d'energia.

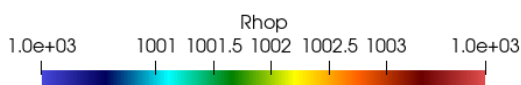


Figura 7-4. Llegenda (colobar) de les simulacions, densitat (kg/m3). Font: DualSPHysics con visor ParaView.

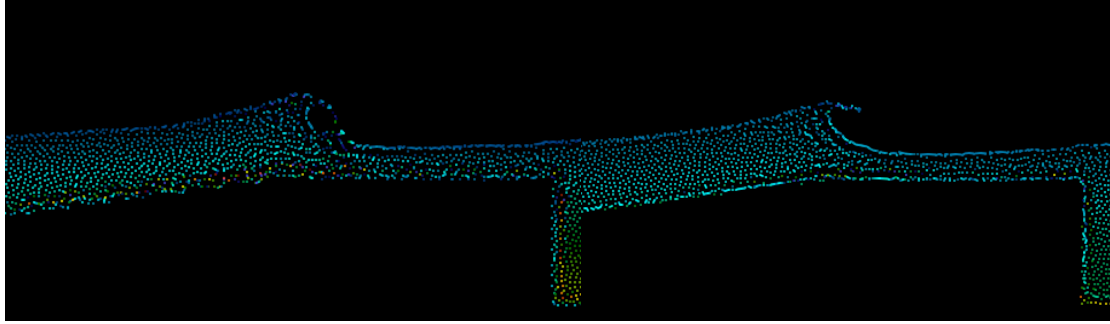


Figura 7-5. Densitat de la SIM_24 a l'esquerra (DBC) i de la SIM_60_mDBC a la dreta (mDBC).
Corresponen a l' instant 196. Font: Elaboració pròpia.

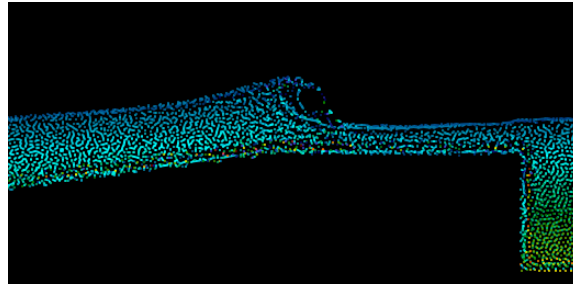


Figura 7-6. Superposició de la SIM_24 i la SIM_60_mDBC (densitat). Instant 196. Font:
Elaboració pròpia.

Alçada d'ona escalada (m)						
	Sensor 47	Sensor 48	Sensor 49	Sensor 50	Sensor 51	Sensor 52
SIM_24	0.4382	0.4435	0.4738	0.452	0.3703	0.2708
SIM_60_mDBC	0.4367	0.406	0.4423	0.4561	0.4154	0.3204

Taula 7-1. Comparació de l'alçada d'ona escalada per una simulació amb condicions de contorn mDBC i l'altre amb DBC. Font: Elaboració pròpia.

No tots els trencaments d'una mateixa simulació són iguals. Existeix certa reflexió deguda a la rampa de l'estructura.

En la Taula 7-1, s'han resumit els resultats a grans trets, el color vermell indica unes males condicions pel surf o baixes condicions, en canvi, el color verd indica condicions pel surf òptimes. A partir dels resultats, s'ha arribat a certes conclusions i hipòtesis.

- [1]. Les simulacions amb una alçada d'ona de 0.375 m ha trencat abans que les simulacions d'una alçada de 0.25 m.
- [2]. Les simulacions amb una alçada d'ona de 0.375 m han obtingut, durant el trencament, un gradient d'alçada d'ona (diferència entre l'alçada ona màxima amb la mínima) major que les simulacions d'una alçada de 0.25 m.

- [3]. En general, les simulacions amb menor període, generen més gradient d'energia.
- [4]. Per les tres pendents, una alçada de $H = 0.25$ m i $T = 3$ s, les onades trenquen tipus spilling o no acaben de trencar. Així i tot, pel pendent 1/7, també es crea el tub característic del trencament plunging.
- [5]. Les condicions d'onatge $H = 0.25$ m i $T = 3.5$ s, creen molta empenta a l'onada cosa que no permet un bon trencament. En el cas del pendent 1/6, sembla que la mateixa onada es mengi el trencament (tipo surging) i 1/8 sembla que acabi de trencar tipo collapsing. En canvi, el pendent 1/7 crea una onada amb tub i surfejable.
- [6]. Les condicions de surf milloren a mesura que augmentem l'alçada i el període de l'onada.
- [7]. Es descarta el pendent 1/6, ja que tot i crear tub en algunes ocasions, normalment se'l menja l'onada inferior, no acaba de trencar o trenca tipus surging.

	Hs (m)		T (s)		Trencament
	0.25*	0.375*	3*	3.5*	
SIM_49	■	■	■	■	1.309 53.5 0.5728 1.0722 Spilling
SIM_52	■	■	■	■	1.377 53.5 0.5376 1.0037 Es crea un tub. Però l'onada es menja el trencament, tipo surging.
SIM_55	■	■	■	■	1.772 52.5 1.1312 0.8156 Al principi del trencament, crea un cert tub o te tendència a fer-ho, però acaba trencant en spilling.
SIM_58	■	■	■	■	1.642 50.5 1.0324 0.7616 Crea un clar tub, trencament tipo plunging. L'onada es menja part del tub.
SIM_50	■	■	■	■	1.203 53.5 0.2544 1.1042 Crea un cert tub, característic del trencament tipo plunging, no trenca en totes les simulacions, algunes només es peralta
SIM_53	■	■	■	■	1.435 53.5 0.6808 1.0145 Es crea un tub. Trencamen tipo plunging.
SIM_56	■	■	■	■	1.592 51.5 0.9012 0.8587 Crea un petit tub. Trencament plunging.
SIM_59	■	■	■	■	1.677 48.5 0.9576 0.8606 Crea un clar tub. Trencament tipo plunging.
SIM_51	■	■	■	■	1.242 53.5 0.4884 1.1514 Es peralta i dissipa certa energia però no acaba de trencar. Trencament tipo spilling.
SIM_54	■	■	■	■	1.274 54.5 0.3604 1.0815 Es crea un tub. Trencamen tipo plunging/collapsing, te molta empenta.
SIM_57	■	■	■	■	1.628 50.5 0.5348 0.9139 Trencament tipo plunging.
SIM_60	■	■	■	■	1.781 51.5 0.9196 0.9028 Crea un clar tub. Trencament tipo plunging.

Taula 7-2. Taula resum dels resultats. H (m), Posició (m), Gradient (m) i Cota (m), les dades no estan escalades. Font: Elaboració pròpia.

8 CONCLUSIONS

8.1 Conclusions

S'ha vist, per tant, que el tipus de trencament no només varia amb el pendent sinó que també amb les condicions d'onatge (H_s i T_p), uns paràmetres que no podem controlar. En conseqüència, l'elecció ja no és tan objectiva i clara, sinó que depèn dels interessos de cadascú. S'ha vist que el millor trencament es dona amb un pendent d' $1/8$, una H de 0.375 m i un T de 3.5 (SIM_60_mDBC), però no totes les simulacions amb $1/8$ són surfejables, en canvi, el pendent $1/7$ ha donat bons resultats surfejables per les quatre simulacions. Per tant, si el que es busca es el pendent amb el millor trencament, aquesta és la SIM_60_mDBC, que té una freqüència anual del 1.5% (apartat 3.2). En canvi, si el que es busca és el pendent amb més resultats surfejables, el resultat òptim és el pendent $1/7$ (SIM_50_mDBC, SIM_53_mDBC, SIM_56_mDBC, SIM_59_mDBC), les condicions d'onatge estudiades que trenquen de forma òptima per aquesta simulació corresponen a un 15% anual (apartat 3.2).

De les 12 simulacions finals que s'han mostrat els resultats (pendents $1/6$, $1/7$, $1/8$), 9 tenen trencaments tipus spilling o tipus plunging, que, amb més o menys qualitat, s'ha considerat que són surfejables. Per tant, el 75% d'ones generades per aquests pendents són condicions de surf. Per tant, dels 7 pendents estudiats ($1/4$, $1/5$, $1/6$, $1/7$, $1/8$, $1/9$, $1/10$), ens hem quedat amb tres ($1/6$, $1/7$ i $1/8$) i d'aquestes tres hem vist que les millors són dues, la $1/7$ que genera més resultats surfejables i la $1/8$ que genera el millor trencament.

Així i tot, després d'haver investigat els diferents Artificial Surf Reef que hi ha en el món, s'ha observat que existeix certa tendència a construir aquests esculls en zones amb un onatge molt energètic, però amb mala batimetria. Aquest no és el cas de la costa catalana. La costa catalana, a causa de la reduïda (comparada amb les altres) zona de fetch que té, no genera l'energia d'onatge ni el swell d'altres països. L'objectiu per tant, ha estat el de trobar amb unes condicions d'onatge limitades, la viabilitat del reef i les diferències amb altres esculls amb climes d'onatge més energètics. Per altra banda, el fet de tenir un onatge micromareal, juga a favor nostre ja que no farà variar els paràmetres de francbord ni dels corrents.

S'ha de tenir en compte que es tracta d'un estudi on els resultats són causats per decisions que s'han hagut de prendre en base els resultats previs (per exemple, el francbord) i que hi ha molts altres paràmetres a estudiar (com per exemple, la forma parabòlica, la distància plana horitzontal amb mínima cota de coronació, la cota mínima de profunditat que variarà en funció dels dos paràmetres anterior esmentats...) i que poden haver creat certs graus d'incertesa. A més, en el modelatge numèric no s'ha tingut en compte els corrents perillosos, la interacció de corrents amb l'onatge ni el transport de sediment, ja que s'ha considerat que l'estructura es troba a profunditats inactives.

Com s'ha vist no tots els pendents produeixen onatges perfectes per a la pràctica del surf, per tant, ha d'existir un equilibri entre el percentatge d'incertesa i la freqüència anual d'onades surfejables.

8.2 Treball futur

Realitzant l'estudi, han sorgit molts dubtes i idees per possibles nous estudis, que considero rellevants per complementar i millorar l'estudi ja fet, que deixo oberts per a un futur.

Anàlisi de sensibilitat

És fonamental fer una anàlisi de sensibilitat per verificar que la configuració de valors per defecte d'aquest, com podrien ser el dp o resolució, el coefh i la viscositat artificial, no han influït als resultats.

Model físic

Amb el resultat que s'ha obtingut, seria interessant fer un estudi similar, però amb un model físic, construir una maqueta a escala i verificar el disseny obtingut amb el modelatge numèric al laboratori.

Clima d'onatge extremal

S'han realitzat molts Artificial Surf Reef, amb la doble funció de protegir la platja, crec que seria de gran interès estudiar la influència de l'estructura, en la circulació i transport de sediments en situacions de clima d'onatge extremals i quina energia es dissiparia abans d'arribar a la costa per solucionar problemes d'erosió de la platja, transport de sediments (erosió o acreció) o problemes d'overtopping o overwashing.

Estudi de la corba parabòlica

Les estructures existents destinades a millorar les condicions de surf, solent tenir una forma parabòlica. És per això, que crec que un estudi i comparació dels pendents, però amb forma parabòlica per a la costa catalana, seria de gran interès.

Estudi 3D tenint en compte el peel angle i la distància del ride generada

També seria d'interès afegir la component y al estudi ja fet (3D), per jugar amb el *peel angle*, la distància de *ride* generada (distància que es pot surfejar) i la velocitat de trencament de l'onada.

Estudi sobre el tipus d'onatge que interessa als surfistes

Per acabar, també trobo imprescindible abans de un projecte de construcció com aquest, un estudi paral·lel sobre que te més interès; una ASR per onades més grans però durant menys temps i generalment més desfasades, o onades menors però més temps i més en fase.

9 BIBLIOGRAFIA

- Alomar, M. (2012). Improving Wave Forecasting In Variable Wind Conditions. The effect of resolution and Growth Rate For the Catalan Coastt. *PhD Thesis - Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Altomare, C., Domínguez, J. M., Crespo, A. J. C., González-Cao, J., Suzuki, T., Gómez-Gesteira, M., & Troch, P. (2017). Long-crested wave generation and absorption for SPH-based DualSPHysics model. *Coastal Engineering*, 127, 37–54. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.06.004>
- Altomare, C., Gironella, X., & Crespo, A. J. C. (2021). Simulation of random wave overtopping by a WCSPH model. *Applied Ocean Research*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102888>
- Antoci, C., Gallati, M., & Sibilla, S. (2007). Numerical simulation of fluid-structure interaction by SPH. *Computers and Structures*, 85(11–14), 879–890. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2007.01.002>
- Antunes do Carmo, J. S., Neves, M. G., & Voorde, M. ten. (2011). Designing a multifunctional artificial reef: Studies on the influence of parameters with most influence in the vertical plane. *Journal of Coastal Conservation*, 15(1), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0124-1>
- Battles, J. A. (n.d.). *SURF SIMILARITY*.
- Black, S. M. K. (1999). A Multipurpose, Artificial Reef at Mount Maunganui Beach, New Zealand. *Coastal Management*, 27(4), 355–365. <https://doi.org/10.1080/089207599263767>
- Bowen, A. J. (1969). Rip currents: 1. Theoretical investigations. *Journal of Geophysical Research*, 74(23), 5467–5478. <https://doi.org/10.1029/JC074i023p05467>
- Button, M. (1991). *Laboratory study of artificial surfing reefs*. University of Western Australia.
- Crespo, A. J. C., G.-G. M., & D. R. A. (2007). Boundary conditions generated by dynamic particles in SPH methods. *Computers, Materials and Continua*, 5(3), 173–184.
- Crespo, A. J. C., Domínguez, J. M., Rogers, B. D., Gómez-Gesteira, M., Longshaw, S., Canelas, R., Vacondio, R., Barreiro, A., & García-Feal, O. (2015). DualSPHysics: Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). *Computer Physics Communications*, 187, 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.10.004>
- Domínguez, J. M., Crespo, A. J. C., Barreiro, A., & Gómez-Gesteira, M. (2010). Implementación (CPU-GPU) del modelo SPH para la protección de costas. In *ACT* (Vol. 1). www.sphysics.org
- Domínguez, J. M., Fourtakas, G., Altomare, C., Canelas, R. B., Tafuni, A., García-Feal, O., Martínez-Estévez, I., Mokos, A., Vacondio, R., Crespo, A. J. C., Rogers, B. D., Stansby, P. K., & Gómez-Gesteira, M. (2021a). DualSPHysics: from fluid dynamics to multiphysics problems. *Computational Particle Mechanics*. <https://doi.org/10.1007/s40571-021-00404-2>

- Domínguez, J. M., Fourtakas, G., Altomare, C., Canelas, R. B., Tafuni, A., García-Feal, O., Martínez-Estévez, I., Mokos, A., Vacondio, R., Crespo, A. J. C., Rogers, B. D., Stansby, P. K., & Gómez-Gesteira, M. (2021b). DualSPHysics: from fluid dynamics to multiphysics problems. *Computational Particle Mechanics*. <https://doi.org/10.1007/s40571-021-00404-2>
- English, A., Domínguez, J. M., Vacondio, R., Crespo, A. J. C., Stansby, P. K., Lind, S. J., Chiapponi, L., & Gómez-Gesteira, M. (2021). Modified dynamic boundary conditions (mDBC) for general-purpose smoothed particle hydrodynamics (SPH): application to tank sloshing, dam break and fish pass problems. *Computational Particle Mechanics*. <https://doi.org/10.1007/s40571-021-00403-3>
- Fourtakas, G., Dominguez, J. M., Vacondio, R., & Rogers, B. D. (2019). Local uniform stencil (LUST) boundary condition for arbitrary 3-D boundaries in parallel smoothed particle hydrodynamics (SPH) models. *Computers and Fluids*, *190*, 346–361. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2019.06.009>
- Galvin, C. J. (1968). Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of Geophysical Research*, *73*(12), 3651–3659. <https://doi.org/10.1029/JB073i012p03651>
- GK Batchelor. (1974). Introduction to fluid dynamics . *Cambridge University Press*.
- Henriquez, M. (2005). *Artificial Surf Reefs* [TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Hydraulic Engineering]. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:75b15cd7-08a1-48e5-8fc9-337f184ae318>
- Hutt, J. A., Black, K. P., & Mead, S. T. (2001). Classification of Surf Breaks in Relation to Surfing Skill. In *Source: Journal of Coastal Research*. <https://www.jstor.org/stable/25736206>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2010). *Llibre Verd de l'Estat de la zona costanera de Catalunya*.
- Li, X., Zhang, H., & Yuan, D. (2021). AN IMPROVED DYNAMIC BOUNDARY CONDITION IN SPH METHOD. *Mechanika*, *27*(6), 465–474. <https://doi.org/10.5755/J02.MECH.28674>
- Liu, M. B., & Liu, G. R. (2010). Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH): an Overview and Recent Developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *17*(1), 25–76. <https://doi.org/10.1007/s11831-010-9040-7>
- López, I., Tinoco, H., Aragonés, L., & García-Barba, J. (2016). The multifunctional artificial reef and its role in the defence of the Mediterranean coast. *Science of the Total Environment*, *550*, 910–923. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.180>
- Lucy, L. B. (1997). A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. *The Astronomical Journal*, *82*, 1013-1024.
- Marrone, S., Colagrossi, A., Antuono, M., Colicchio, G., & Graziani, G. (2013). An accurate SPH modeling of viscous flows around bodies at low and moderate Reynolds numbers. *Journal of Computational Physics*, *245*, 456–475. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2013.03.011>

- Mead, S. T., & Black, K. P. (1999). Configuration of large-scale reef components at a world-class surfing break: Bingin Reef, Bali, Indonesia. *Proceedings of the 1999 Coasts and Ports Conference*, 438–443.
- Mendonça, A., Fortes, C. J., Capitão, R., Neves, M. G., Antunes do Carmo, J. S., & Moura, T. (2012). Hydrodynamics around an Artificial Surfing Reef at Leirosa, Portugal. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 138(3), 226–235. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ww.1943-5460.0000128](https://doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000128)
- Meringolo, D. D., Marrone, S., Colagrossi, A., & Liu, Y. (2019). A dynamic δ -SPH model: How to get rid of diffusive parameter tuning. *Computers and Fluids*, 179, 334–355. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2018.11.012>
- Monaghan, J. J. (1994). Simulating Free Surface Flows with SPH. *Journal of Computational Physics*, 110(2), 399–406. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/jcph.1994.1034>
- Monaghan, J. J. (2005). Smoothed particle hydrodynamics. In *Reports on Progress in Physics* (Vol. 68, Issue 8, pp. 1703–1759). <https://doi.org/10.1088/0034-4885/68/8/R01>
- Monaghan, J. J., & Kos, A. (1999). Solitary Waves on a Cretan Beach. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 125(3), 145–155. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-950x\(1999\)125:3\(145\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-950x(1999)125:3(145))
- Mortensen, S. B., Hibberd, W. J., Kaersgaard, K., Kristen-sen, S. E., Deigaard, R., & Hunt, S. (2015). Concept design of a multipurpose submerged control structure for Palm Beach, Gold Coast Australia. . In *Australasian Coast and Ports Conference, Auckland*.
- Pattiaratchi, C. (1999). *Design Studies for an Artificial Surfing Reef: Cable Station, Western Australia*.
- Quartier, N., Roper-Giralda, P., Domínguez, J. M., Stratigaki, V., & Troch, P. (2021). Influence of the drag force on the average absorbed power of heaving wave energy converters using smoothed particle hydrodynamics. *Water (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/w13030384>
- R.A. Gingold, & J.J. Monaghan. (1997). Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars. *Mon. Not. R. Ast. Soc*, 181, 375–389.
- Recomendaciones Obras Marítimas (ROM 0_3-91). (1992). *Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)*.
- Rendle, E. J., & Rodwell, L. D. (2014). Artificial surf reefs: A preliminary assessment of the potential to enhance a coastal economy. *Marine Policy*, 45, 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.004>
- Rota Roselli, R. A., Vernengo, G., Altomare, C., Brizzolara, S., Bonfiglio, L., & Guercio, R. (2018). Ensuring numerical stability of wave propagation by tuning model parameters using genetic algorithms and response surface methods. *Environmental Modelling and Software*, 103, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.02.003>

- Sánchez-Arcilla, A., González-Marco, D., & Bolã Nos, R. (2008). A review of wave climate and prediction along the Spanish Mediterranean coast. In *Hazards Earth Syst. Sci* (Vol. 8). www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/1217/2008/
- Slotkin, M. H., Chambliss, K., Vamosi, A. R., Lindo, C., Hronszky, I., & Nelson, G. L. (2009). Surf Tourism, Artificial Surfing Reefs, and Environmental Sustainability. *AIP Conference Proceedings*, 207–220. <https://doi.org/10.1063/1.3208024>
- Vacondio, R. (2021). *New density diffusion term*.
- Valencia, L., García, M. O., & del Carmen Serrano Barquín, R. (2020). Surf tourism: a review of new lines and topics of research (2012-2018). *Investigaciones Turísticas*, 20, 215–238. <https://doi.org/10.14198/INTURI2020.20.10>

ANNEX 1. CODI MATLAB – ANÀLISI DE DADES

```
% Scrip per llegir i graficar els diferents sensors col.locats a SPH      ||      IC i CC 2022
%% Punt 1. Lectura dades
root = pwd;
filename = strcat(root,'/SIM_50_mDBC/measures/WG_Elevation.asc');
filenameT = strcat(root,'/SIM_50_mDBC/WavePaddle_mkb0000.txt');

fid_11 = fopen(filename,'r');

line_1 = fgetl(fid_11);
number_columns = length(strsplit(line_1));  number_columns = number_columns-1;
% el fitxer asci comença amb 2 espais en blanc que strsplit els detecta com un valor

frewind(fid_11)
data = fscanf(fid_11,'%f',[number_columns,inf]);

data = data';

x_positions = data(1,2:end);
x = data(1,:);
time = data(3:end,1);
wg = data(3:end,2:end)- data(3,2);

nwg_2_use = 9; % Número de sensors que utilitzem
lp_use = length(x_positions)-4; % esponja aprox 10 m
if nwg_2_use == 1;   wg_2_use = 1;
elseif nwg_2_use == 2;  wg_2_use = [1 lp_use];
elseif nwg_2_use == 3;  wg_2_use = [1 round(lp_use/2) lp_use];
elseif nwg_2_use == 7;  wg_2_use = [1 46 49 51 52 54 56];
elseif nwg_2_use == 9;  wg_2_use = [1 46 48 49 50 51 52 53 54];
end

% Lectura dades moviment teoric de la pala
fid_T = fopen(filenameT,'r'); % Llegeix dades

for i=1:19
    line_1 = fgetl(fid_T);    % "Eliminem" files que no ens interessen
end

dataT = fscanf(fid_T,'%f',[8,inf]);
wgT_1st = dataT(3,:);  wgT_2nd = dataT(4,:);  timeT = dataT(1,:);

%% Punt 2. Grafiquem resultats dels sensors
x1_legend = [];  x2_legend = [];

figure
for i_wg = wg_2_use(1:4)
    plot(time,wg(:,i_wg)), hold on
    x1_legend = [x1_legend; {[ 'x = ',num2str(x_positions(i_wg),'%4.2f')}]];
end
plot(timeT,wgT_2nd,'-k','Linewidth',2)
x1_legend = [x1_legend; {'Teòrica'}];
title('Shoaling','FontSize',30)
set(gca,'FontSize',30)

xlabel('time(s)','FontSize',30); ylabel('superficie (m)','FontSize',30);
xlim([0 80]); ylim([-abs(min(wg(:,i_wg))-0.03) (max(wg(:,i_wg))+0.01))]);
h1 = legend('String',x1_legend, 'Orientation', 'horizontal');
set(gca,'FontSize',20)
grid on, zoom on

figure
for i_wg = wg_2_use(4:end)
    plot(time,wg(:,i_wg)), hold on
    x2_legend = [x2_legend; {[ 'x = ',num2str(x_positions(i_wg),'%4.2f')}]];
end
plot(timeT,wgT_2nd,'-k','Linewidth',2)
x2_legend = [x2_legend; {'Teòrica'}];
title('Trencament','FontSize',30)
set(gca,'FontSize',30)
```

```

xlabel('time(s)', 'FontSize', 30); ylabel('Superfície lliure(m)', 'FontSize', 30);
xlim([0 80]); ylim([-abs(min(wg(:,i_wg))-0.03)) (max(wg(:,i_wg))+0.01)]);
h1 = legend('String', x2_legend, 'Orientation', 'horizontal');
set(gca, 'FontSize', 20);
grid on, zoom on

%% Punt 3. Calcular pics d'alçada d'ona
ignorem_p = 8; % ignorem les primeres onades
hs_wg(1:length(x_positions)) = NaN;
for i_wg = wg_2_use
    threshold_peaks = 0.03;
    clear max_peak min_peak ind_max ind_min
    [max_peak min_peak ind_max ind_min] = peakdet_2(wg(:,i_wg), threshold_peaks);
    while length(max_peak) > length(min_peak)+2
        threshold_peaks = threshold_peaks/2;
        clear max_peak min_peak ind_max ind_min
        [max_peak min_peak ind_max ind_min] = peakdet_2(wg(:,i_wg), threshold_peaks);
    end
    if threshold_peaks < 0.03/4
        break
    end
    disp(strcat('WG = ', num2str(i_wg), ', N onades = ', num2str(length(max_peak)), ' de les que ignorem = ', num2str(ignorem_p+3)))
    if ind_max(1) < ind_min(1)
        length_max_i = length(max_peak(ignorem_p:end-3))-1; max_i = ignorem_p + length_max_i;
        hs_wg(i_wg) = nanmean(max_peak(ignorem_p:max_i)-min_peak(ignorem_p:max_i));
    else
        length_max_i = length(max_peak(ignorem_p:end-3))-1; max_i = ignorem_p + length_max_i;
        hs_wg(i_wg) = nanmean(max_peak(ignorem_p:max_i)-min_peak(ignorem_p+1:max_i+1));
    end
end

%% Punt 4. Hs mitja per el cas de validació
ind_max = ind_max([4:end]); % Eliminem els valors de la Ramp Value
ind_min = ind_min([4:end]); % Eliminem els valors de la Ramp Value

max_peak = max_peak([4:end]); % Eliminem els valors de la Ramp Value
min_peak = min_peak([4:end]); % Eliminem els valors de la Ramp Value

meanmax = mean(max_peak);
meanmin = mean(min_peak);

Hs_validacio = meanmax-meanmin

stdmax = std(max_peak);
stdmin = std(min_peak);

varmax = var(max_peak);
varmin = var(min_peak);

%% Punt 5. Scatter plot de l'alçada d'ona màxima a cada sensor
figure
scatter(x_positions(wg_2_use), hs_wg(wg_2_use), 100, 'b', 'filled')
xlim([0 70]); ylim([0.1 0.45])
grid on, zoom on
xlabel('Posició(m)', 'FontSize', 30)
ylabel('Superfície lliure (m)', 'FontSize', 30)
title('Estudi del trencament', 'FontSize', 30)
set(gca, 'FontSize', 30)
grid on, zoom on

%% Punt 6. Càlcul gradient del trencament
% S'ha buscat la H mes alta i la H mes baixa després del trencament.

[val_max i_max] = max(hs_wg(wg_2_use)); % De les dades totals de hs_wg, agafo els sensors que jo vull (els de la rampa)
[val_min i_min] = min(hs_wg(wg_2_use(i_max:end)));

Gradient = val_max - val_min

%% Punt 7. Buscar la cota mínima de cada simulació
% L'estructura es troba entre els sensors 49 i 50 (Corresponen a la posició 42.5 i 43.5)

```

```

[val_min i_min] = min(wg(:,49:50));
val_min = min(val_min);

cota_escalada = 1.75 + val_min(1,1) - 1.35
cota_real = 4*cota_escalada

%% Punt 8. Scatter de tots els trencaments
SIM_49 = [53.5 0.327327];
SIM_50 = [53.5 0.300723];
SIM_51 = [53.5 0.310567];
SIM_52 = [53.5 0.344358];
SIM_53 = [53.5 0.358707];
SIM_54 = [54.5 0.318477];
SIM_55 = [52.5 0.443051];
SIM_56 = [51.5 0.397973];
SIM_57 = [50.5 0.407076];
SIM_58 = [50.5 0.410504];
SIM_59 = [48.5 0.419208];
SIM_60 = [51.5 0.442338];
figure
hold on
scatter(SIM_49(:,1),SIM_49(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_50(:,1),SIM_50(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_51(:,1),SIM_51(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_52(:,1),SIM_52(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_53(:,1),SIM_53(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_54(:,1),SIM_54(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_55(:,1),SIM_55(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_56(:,1),SIM_56(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_57(:,1),SIM_57(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_58(:,1),SIM_58(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_59(:,1),SIM_59(:,2), 100,'filled')
scatter(SIM_60(:,1),SIM_60(:,2), 100,'filled')
hold off
xlim([48 55]); ylim([0.25 0.5])
lgd = legend;
lgd.NumColumns = 2;
set(gca,'FontSize',20)
xlabel('Posició (m)')
ylabel('Superfície Lliure(m)')
title('Punt de trencament en les 12 simulacions', 'FontSize', 30)
set(gca,'FontSize',30)
grid on, zoom on

```


ANNEX 2. CONFIGURACIÓ BASICA SPH (CAS SIM_60_mDBC)

```

<!-- Case name: SIM07 -->
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<case app="DesignSPHysics v0.6.1.2109-23-08" date="11-04-2022 09:52:25">
  <casedef>
    <constantsdef>
      <lattice bound="1" fluid="1" />
      <gravity x="0" y="0" z="-9.81" comment="Gravitational acceleration" units_comment="m/s^2" />
      <rho0 value="1000" comment="Reference density of the fluid" units_comment="kg/m^3" />
      <hswl value="0" auto="true" comment="Maximum still water level to calculate speedofsound
using coefsound" units_comment="metres (m)" />
      <gamma value="7" comment="Polytropic constant for water used in the state equation" />
      <speedsystem value="0" auto="true" comment="Maximum system speed (by default the dam-
break propagation is used)" />
      <coefsound value="16" comment="Coefficient to multiply speedsystem" />
      <speedsound value="0" auto="true" comment="Speed of sound to use in the simulation (by
default speedofsound=coefsound*speedsystem)" />
      <coefh value="1.5" comment="Coefficient to calculate the smoothing length
(h=coefh*sqrt(3*dp^2) in 3D)" />
      <cflnumber value="0.2" comment="Coefficient to multiply dt" />
    </constantsdef>
    <mkconfig boundcount="241" fluidcount="9">
    </mkconfig>
    <geometry>
      <definition dp="0.0375" comment="Initial inter-particle distance" units_comment="metres (m)">
        <pointmin x="0.0" y="0.0" z="-1" />
        <pointmax x="100" y="0.0" z="5" />
      </definition>
      <commands>
        <mainlist>
          <setshapemode>actual | dp | bound</setshapemode>
          <newvar Dpm="Dp/2" y="PosMin_y" sy="0.2" y0="y-sy/2"
_ cte="true" />
          <newvar x0="0" z0="0" _cte="true" />
          <newvar x1="42.2" z1="0" _cte="true" />
          <newvar x2="53" z2="1.35" _cte="true" />
          <newvar x3="55" z3="1.35" _cte="true" />
          <newvar x4="55" z4="0.35" _cte="true" />
          <newvar x5="70" z5="0.35" _cte="true" />
          <newvar x6="70" z6="3.5" _cte="true" />
          <newvar x7="2" z7="3.5" _cte="true" />
        <!-- Creates actual geometry at dp/2 from boundary particles -->
          <setshapemode>real | bound</setshapemode>
          <setmkbound mk="1" />
          <drawextrude closed="false">
            <point x="#x0" y="#y0" z="#z0-Dpm" />
            <point x="#x1" y="#y0" z="#z1-Dpm" />
            <point x="#x2" y="#y0" z="#z2-Dpm" />
            <point x="#x3" y="#y0" z="#z3-Dpm" />
            <point x="#x4" y="#y0" z="#z4-Dpm" />
            <point x="#x5" y="#y0" z="#z5-Dpm" />
            <point x="#x6" y="#y0" z="#z6-Dpm" />
            <extrude x="0" y="#sy" z="0" />
            <layers vdp="0.5" />
          </drawextrude>
        <shapeout file="hdp" />
      </mainlist>
    </commands>
  </geometry>
</mkconfig>
</casedef>
</case>

```

```

<!-- Clear everything -->
<matrixreset />

<setmkvoid />
<redraw />

<!-- Creates particles for SPH simulation -->
<setshapemode>actual | dp | bound</setshapemode>

<setmkbound mk="0" />
<setdrawmode mode="full" />
<drawbox objname="Piston">
  <boxfill>solid</boxfill>
  <point x="#x7-0.2" y="#y0" z="#0.0-Dpm" />
  <size x="0.2" y="#sy" z="#z7" />
</drawbox>

  <setfrdrawmode auto="true" />

  <setmkbound mk="1" />
  <drawextrude closed="false">
    <point x="#x0" y="#y0" z="#z0-Dpm" />
    <point x="#x1" y="#y0" z="#z1-Dpm" />
    <point x="#x2" y="#y0" z="#z2-Dpm" />
    <point x="#x3" y="#y0" z="#z3-Dpm" />
    <point x="#x4" y="#y0" z="#z4-Dpm" />
    <point x="#x5" y="#y0" z="#z5-Dpm" />
    <point x="#x6" y="#y0" z="#z6-Dpm" />
    <extrude x="0" y="#sy" z="0" />
    <layers vdp="0*,-1,-2,-3,-4" />

  </drawextrude>
  <setfrdrawmode auto="false" />
  <!-- Water -->
  <setmkfluid mk="0" />
  <fillbox x="3.0" y="0" z="0.7">
    <modefill>void</modefill>
    <point x="-2" y="-2" z="-0.1" />
    <size x="72.0" y="4" z="1.85" />
  </fillbox>
  <shapeout file="" />
</mainlist>
</commands>
</geometry>
  <normals>
    <distanceh value="2.0" comment="Smooth factor, it uses H*distanceh (default=2)" />
    <geometryfile file="[CaseName]_hdp_Actual.vtk" comment="Name of file with boundary
geometry" />
    <svnormaldata value="1" comment="Saves normal data in VTK file (default=0)" />
    <computenormals value="0" comment="Normals type 0:None, 1:Mean, 2:Marrone (default=0)"
/>
    <svnormals value="0" comment="Saves particle normals in VTK file (default=0)" />
    <!-- <dg_svshapes value="1" comment="Saves VTK with triangles and quads with normals
(default=0)" /> -->
  </normals>
</motion>
  <objreal ref="0">
    <begin mov="1" start="0" />
    <mnull id="1" />
  </objreal>

```

```

</motion>
</casedef>
<execution>
  <special>
    <initialize>
      <boundnormal_plane mkbound="0">
        <point x="#x7+Dpm" y="0" z="0" comment="x=Tankx0+Dpm" />
        <normal x="1" y="0" z="0" />
      </boundnormal_plane>
    </initialize>
    <damping>
      <dampingzone>
        <limitmin x="55.0" y="0.0" z="0.0" />
        <limitmax x="70.0" y="0.0" z="0.0" />
        <overlimit value="12.0" />
        <redumax value="10.0" />
      </dampingzone>
    </damping>
    <wavepaddles>
      <piston>
        <mkbound value="0" comment="Mk-Bound of selected particles" />
        <start value="0" comment="Start time (default=0)" />
        <duration value="60.0" comment="Movement duration, Zero is the end of simulation
(default=0)" />
        <depth value="1.75" comment="Water depth (default=0)" />
        <pistondir x="1.0" y="0.0" z="0.0" comment="Movement direction (default=(1,0,0))" />
        <waveorder value="2" comment="Order wave generation 1:1st order, 2:2nd order
(default=1)" />
        <waveheight value="0.375" comment="Wave height" />
        <waveperiod value="3.5" comment="Wave period" />
        <gainstroke value="1.0" comment="Gain factor to amplify/reduce the paddle stroke
(default=1)" />
        <phase value="0.0" comment="Initial wave phase in function of PI (default=0)" />
        <ramp value="1.0" comment="Periods of ramp (default=0)" />
        <savemotion periods="12" periodsteps="24" xpos="1.5" zpos="-0.45" comment="Saves
motion data. xpos and zpos are optional. zpos=-depth of the measuring point" />
      <awas_zsurf>
        <startawas value="12" comment="Time to start AWAS correction
(default=start+ramp*waveperiod)" />
        <swl value="1.75" comment="Still water level (free-surface water)"
/>
        <elevation value="2" comment="Order wave to calculate elevation
1:1st order, 2:2nd order (default=2)" />
        <_gaugex value="0.05" comment="Position in X from piston to
measure free-surface water (default=5*Dp)" />
        <_gaugex value="3" comment="Position in X from piston to
measure free-surface water (according H value)" />
        <gaugex valuedp="5" comment="Position in X from piston to
measure free-surface water (according Dp value)" />
        <gaugey value="0" comment="Position in Y to measure free-surface
water" />
        <gaugezmin value="0.5" comment="Minimum position in Z to
measure free-surface water, it must be in water (default=domain limits)" />
        <gaugezmax value="3.0" comment="Maximum position in Z to
measure free-surface water (default=domain limits)" />
        <gaugedp value="0.25" comment="Resolution to measure free-
surface water, it uses Dp*gaugedp (default=0.1)" />

```


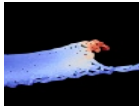
```


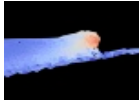
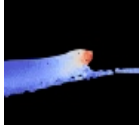

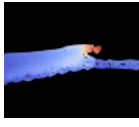
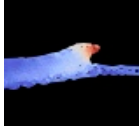
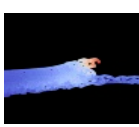



        <_coefmasslimit value="0.4" comment="Coefficient to calculate mass
of free-surface (default=0.5 on 3D and 0.4 on 2D)" />
        <savedata value="1" comment="Saves CSV with information 1:by
part, 2:more information, 3:by step (default=0)" />
        <limitace value="2" comment="Factor to limit maximum value of
acceleration, with 0 disabled (default=2)" />
        <correction coefstroke="1.8" coefperiod="1" powerfunc="3"
comment="Drift correction configuration (default=no applied)" />
        </awas_zsurf>
        </piston>
    </wavepaddles>
</special>
<parameters>
    <parameter key="SavePosDouble" value="0" comment="Saves particle position using double
precision (default=0)" />
    <parameter key="Boundary" value="2" comment="Boundary method 1:DBC, 2:mDBC
(default=1)" />
    <parameter key="StepAlgorithm" value="2" comment="Step Algorithm 1:Verlet, 2:Symplectic
(default=1)" />
    <parameter key="VerletSteps" value="40" comment="Verlet only: Number of steps to apply Euler
timestepping (default=40)" />
    <parameter key="Kernel" value="2" comment="Interaction Kernel 1:Cubic Spline, 2:Wendland
(default=2)" />
    <parameter key="ViscoTreatment" value="1" comment="Viscosity formulation 1:Artificial,
2:Laminar+SPS (default=1)" />
    <parameter key="Visco" value="0.01" comment="Viscosity value" /> % Note alpha can depend on
the resolution. A value of 0.01 is recommended for near irrotational flows.
    <parameter key="ViscoBoundFactor" value="0" comment="Multiply viscosity value with
boundary (default=1)" />
    <parameter key="DensityDT" value="2" comment="Density Diffusion Term 0:None, 1:Molteni,
2:Fourtakas, 3:Fourtakas(full) (default=0)" />
    <parameter key="DensityDTvalue" value="0.1" comment="DDT value (default=0.1)" />
    <parameter key="Shifting" value="0" comment="Shifting mode 0:None, 1:Ignore bound, 2:Ignore
fixed, 3:Full (default=0)" />
    <parameter key="ShiftCoef" value="-2" comment="Coefficient for shifting computation (default=-
2)" />
    <parameter key="ShiftTFS" value="0" comment="Threshold to detect free surface. Typically 1.5
for 2D and 2.75 for 3D (default=0)" />
    <parameter key="RigidAlgorithm" value="1" comment="Rigid Algorithm 1:SPH, 2:DEM,
3:CHRONO (default=1)" />
    <parameter key="FtPause" value="0.0" comment="Time to freeze the floatings at simulation start
(warmup) (default=0)" units_comment="seconds" />
    <parameter key="CoefDtMin" value="0.05" comment="Coefficient to calculate minimum time
step dtmin=coefdtmin*h/speedsound (default=0.05)" />
    <parameter key="#DtIni" value="0.0001" comment="Initial time step (default=h/speedsound)"
units_comment="seconds" />
    <parameter key="#DtMin" value="1e-05" comment="Minimum time step
(default=coefdtmin*h/speedsound)" units_comment="seconds" />
    <parameter key="DtAllParticles" value="0" comment="Velocity of particles used to calculate DT.
1:All, 0:Only fluid/floating (default=0)" />
    <parameter key="TimeMax" value="80" comment="Time of simulation"
units_comment="seconds" />
    <parameter key="TimeOut" value="0.25" comment="Time out data" units_comment="seconds"
/>
    <parameter key="PartsOutMax" value="1" comment="%/100 of fluid particles allowed to be
excluded from domain (default=1)" units_comment="decimal" />



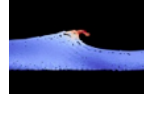


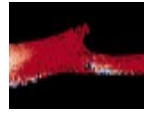


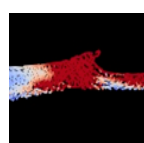
```

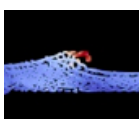

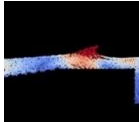
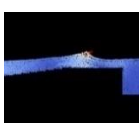
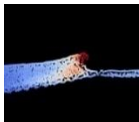

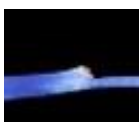
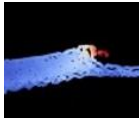

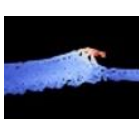
```
<parameter key="RhopOutMin" value="700" comment="Minimum rhop valid (default=700)"
units_comment="kg/m^3" />
<parameter key="RhopOutMax" value="1300" comment="Maximum rhop valid (default=1300)"
units_comment="kg/m^3" />
</parameters>
</execution>
</case>
```

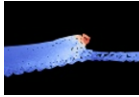
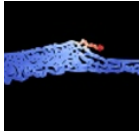
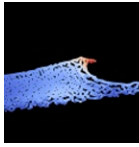

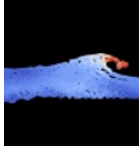
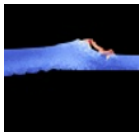
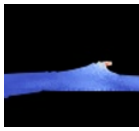
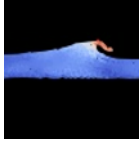
ANNEX 3. NOTES DE SIMULACIONS



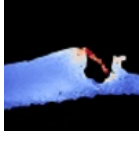
SIMULACIÓ	CONFIGURACIÓ	TRENCAMEN T	COMENTARIS
SIM01 – SIM 08	Simulacions de prova, Dumping Zone, funcions, dimensions, platja, disseny estructura...	X	X
SIM 09	Simulació plana de validació de la simulació	X	X
SIM 08 – SIM 15	Simulacions del pendent 1/9 al pendent 1/4, respectivament.	X	X
SIM 16 – SIM 18	Simulació escalada.	X	X
SIM 19	Pla → verificar que el model no genera ones (NO ESCALAT)	X	X
SIM 20 – SIM 22	Pendent 1/8 però pistó es mou. Error en la funció AWAS.	X	X
<p>Dades generals:</p> <p>h = 7.5 m, Wave order: 2nd, Time out = 0.20, Dp = 0,025, Duració generació = 60s, Duració simulació = 80s, H = 1 m</p>			
SIM_00	Escalat sense estructura. Període de 3s.	X	X
SIM_01	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3s i he de 0,2. (repetides)	X	X
SIM_02	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3s i he de 0,2. (repetides)	X	X
SIM_03	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3s i he de 0,2. (repetides)	X	X
SIM_04	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3,5s i he de 0,2.		Trenca just al cantó de l'estructura, toca el fons (no és viable), trencament tipus surging/plunging.
SIM_05	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3,5s i he de 0,2.		Trenca just al cantó de l'estructura, trencament tipus plunging.

SIM_06	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3,5s i he de 0,2.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament tipus colapsing/surging</u>
SIM_07	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3,5s i he de 0,15.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament surging</u>
SIM_08	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3,5s i he de 0,15.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament surging</u>
SIM_09	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3,5s i he de 0,15.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament surging/plunging</u>
SIM_10	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3 s i he de 0,2.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament surging</u>
SIM_11	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3 s i he de 0,2.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament surging/spilling</u>
SIM_12	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3 s i he de 0,2.		Trenca just al cantó de l'estructura, <u>trencament surging/spilling</u>
SIM_13	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3 s i he de 0,15.		Trenca just al cantó de l'estructura, toca el fons (no és viable), <u>trencament tipus surging/plunging.</u>
SIM_14	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3 s i he de 0,15.		Trenca just al cantó de l'estructura, toca el fons (no és viable), <u>trencament tipus surging/plunging.</u>
SIM_15	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3 s i he de 0,15.		Trenca just al cantó de l'estructura, toca el fons (no és viable), <u>trencament tipus surging/plunging.</u>

SIM_16	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3,5s i he de 0,4.		Trenca al final de l'estructura. Trencament tipus <u>surging/plunging</u> .
SIM_17	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3,5s i he de 0,4.		Trenca a meitat de la base superior de l'estructura. Trencament tipus plunging .
SIM_18	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3,5s i he de 0,4.		Trenca a meitat de la base superior de l'estructura. Trencament tipus spilling.
SIM_19	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3 s i he de 0,4.		No acaba de trencar. És peralta una mica.
SIM_20	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3 s i he de 0,4.		Es peralta. Trencament tipus spilling.
SIM_21	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3 s i he de 0,4.	X	*Hi ha hagut un error en la simulació. S'ha de repetir.
Repetició de les simulacions amb H = 0.375 m.			
SIM_22	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3.5 s i he de 0,4.		Trenca just al cantó de l'estructura. Poca profunditat amb el fons a la vall del trencament. Trencament tipus plunging .
SIM_23	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3.5 s i he de 0,4.		No toca tant el fons. Trencament tipus plunging. De moment la millor forma.
SIM_24	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3.5 s i he de 0,4.		<u>Trencament tipus surging</u> .
SIM_25	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3 s i he de 0,4.		Cantó de l'estructura. Trencament tipus plunging/spilling (és peralta una mica).

SIM_26	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3 s i he de 0,4.		Cantó de l'estructura. Trencament tipus spilling.
SIM_27	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3 s i he de 0,4.	X	*Hi ha hagut un error en la simulació. S'ha de repetir.
SIM_28	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 2.5 s i he de 0,4.		
SIM_29	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 2.5 s i he de 0,4.		
SIM_30	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 2.5 s i he de 0,4.		
SIM_31	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3.5 s i he de 0,3.		
SIM_32	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3.5 s i he de 0,3.		
SIM_33	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3.5 s i he de 0,3.		
SIM_34	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3 s i he de 0,3.		
SIM_35	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3 s i he de 0,3.		
SIM_36	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3 s i he de 0,3.		

SIM_37	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 2,5 s i he de 0,3.		
SIM_38	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 2,5 s i he de 0,3.		
SIM_39	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 2,5 s i he de 0,3.		Trencament de tipus plunging abans d'arribar al cantó de l'estructura.
- H = 0,25 m			
SIM_40	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3.5 s i he de 0,3.		Trencament tipus plunging, passat el cantó de l'estructura
SIM_41	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3.5 s i he de 0,3.		
SIM_42	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3.5 s i he de 0,3.		Trencament de tipus plunigna/spilling
SIM_43	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 3 s i he de 0,3.	X	X
SIM_44	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 3 s i he de 0,3.		Trencament plunging a la part central de l'estructura
SIM_45	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 3 s i he de 0,3.		

SIM_46	Escalat i amb pendent 1/6. Període de 2,5 s i he de 0,3.		Trencament de tipus spilling.
SIM_47	Escalat i amb pendent 1/7. Període de 2,5 s i he de 0,3.		Trencament de tipus spilling.
SIM_48	Escalat i amb pendent 1/8. Període de 2,5 s i he de 0,3.		Trenca de cop produint una gran zona de turbulència. L'onada empeny al surfista cap a dins (eix z). No es pot surfejar.
Repetir les simulacions de he=0,4 amb períodes de 3 i 3.5 amb CC mDBC . Escalades.			
SIM_49_mDB C	Pendent 1/6. Període de 3 s, he de 0,4 i H = 0,25m.	X	X
SIM_50_mDB C	Pendent 1/7. Període de 3 s, he de 0,4 i H = 0,25m.	X	X
SIM_51_mDB C	Pendent 1/8. Període de 3 s, he de 0,4 i H = 0,25m.	X	X
SIM_52_mDB C	Pendent 1/6. Període de 3,5 s, he de 0,4 i H = 0,25m.	X	X
SIM_53_mDB C	Pendent 1/7. Període de 3,5 s, he de 0,4 i H = 0,25m.	X	X
SIM_54_mDB C	Pendent 1/8. Període de 3,5 s, he de 0,4 i H = 0,25m.	X	X
SIM_55_mDB C	Pendent 1/6. Període de 3 s, he de 0,4 i H = 0,375m.	X	X
SIM_56_mDB C	Pendent 1/7. Període de 3 s, he de 0,4 i H = 0,375m.	X	X
SIM_57_mDB C	Pendent 1/8. Període de 3 s, he de 0,4 i H = 0,375m.	X	X

SIM_58_mDB C	Pendent 1/6. Període de 3,5 s, he de 0,4 i H = 0,375m.	X	X
SIM_59_mDB C	Pendent 1/7. Període de 3,5 s, he de 0,4 i H = 0,375m.	X	X
SIM_60_mDB C	Pendent 1/8. Període de 3,5 s, he de 0,4 i H = 0,375m.	X	X