



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad
frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto
de Alicante.

Presentado por

Navalón Pinto, Sergio

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2019/2020

Fecha: 4 de septiembre de 2020

Tutor: Jose Alberto González-Escrivá



RESUMEN:

El punto de partida para la realización de este estudio es el conocimiento básico de la zona en la que se encuentra nuestro puerto, para ello se realiza un estudio previo en el cual se incluye tanto los antecedentes como las características intrínsecas del propio puerto, como pudieran ser morfología, calado, cota de coronación entre otras. En cuanto al propio estudio se incluye la definición del carácter de la obra, así como las condiciones de parada que tienen las dársenas.

Una vez conocido estos aspectos se procede con la obtención del clima marítimo para poder definir de manera correcta cual es el régimen medio que afecta a nuestro puerto, dicho régimen consta tanto las ondas de gravedad ($1 < T[s] < 30$) como las ondas de infragravedad ($30 < T[s] < 300$). El clima marítimo que afecta a la zona de estudio comprende las direcciones ENE, E, ESE, SE, SSE y S, en donde los oleajes que provienen de la dirección más tendida hacia el Este son los que provocan un mayor oleaje, mientras que los que se generan más hacia al Sur su altura de ola es menor en comparación, esto es debido a la morfología y situación de la zona en la que se encuentra el Puerto de Alicante.

A continuación, se realiza el estudio de agitación en el interior del puerto mediante modelización numérica, en primera instancia se procede con el análisis de las ondas de gravedad en donde se obtiene que los oleajes incidentes que provienen del sur (S, SSE y SE) tienen la característica que la agitación y resonancia que producen son mucho más notorios que en el resto de las direcciones, esto es debido a la forma en la que está construido el puerto, en donde su bocana está diseñada para una dirección del Sur debido a que para esta dirección es la que produce una menor altura de ola y una probabilidad de ocurrencia asociada menor a las del resto. Este diseño de la bocana perjudica a las direcciones cuyos oleajes son mayores y tienen una mayor probabilidad de incidencia, sin embargo, para los oleajes que pueden incidir de manera directa, gracias a la geometría del interior del puerto y a la escasez de elementos antirreflejantes hacen que dichos oleajes se vean incrementados.

A la principal conclusión que se llega en este apartado es que de todos los periodos que afectan al puerto los que mayor coeficiente de agitación introducen son los comprendidos entre 7 segundos a los 9 segundos, debido a que el diseño interior del puerto junto con la distancia entre los distintos muelles cumple que para estos periodos las ondas de dichos oleajes se acoplan entre si generando los problemas de resonancia con especial importancia en la dársena central. Tal y como se puede ver en la siguiente figura donde se muestra un ejemplo de los coeficientes de agitación para la dirección Sur con periodo de 6.54 segundos.

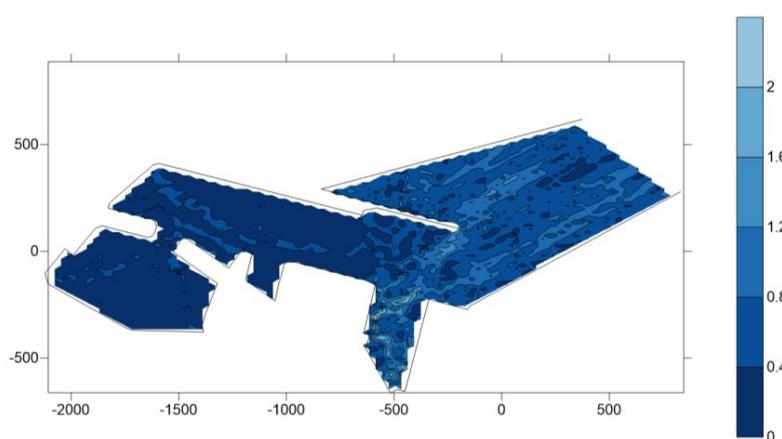


Figura 1. Coeficientes de agitación para el oleaje S. Fuente: SURFER

Esto produce que en la dársena central como exterior se produzca una merma de operatividad la cual sobrepasa a la que recomienda como limite la ROM, y por ello es necesario aportar una solución que permita su reducción.

Otro de los análisis que se realizan mediante la modelización numérica es el estudio para las ondas de infragravedad, estos oleajes no están recogidos por ninguna de las boyas y la información al respecto de estas es escasa, por ello se elaboraron varias hipótesis tanto de cómo se generan y como afectan a la operación, basados tanto en la tesis doctoras de González-Escrivá (2017) como en la norma japonesa “Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan”.

Una de las principales características de estos oleajes es que no se ven limitados por la dirección de entrada de la bocana, es decir, en este caso y a diferencia de las ondas de gravedad, los oleajes que más afectan al puerto son los que provienen de las direcciones del E debido a que la altura de ola es mayor y tienen una mayor probabilidad de ocurrencia.

Tras el análisis de agitación de para los oleajes de infragravedad se concluyó que los periodos que producen unos mayores coeficientes de agitación son para periodos de 60s, 120s y 240s, esto es debido a la geometría del puerto al igual que pasaba con las ondas de gravedad, un aspecto que se puede remarcar es que los periodos son múltiplos de sí mismos. Para poder visualizar la diferencia entre la agitación que se produce por el oleaje y el producido por las ondas de infragravedad se expone uno de los resultados obtenidos, en este caso se trata de la dirección E para un periodo de 120 segundos.

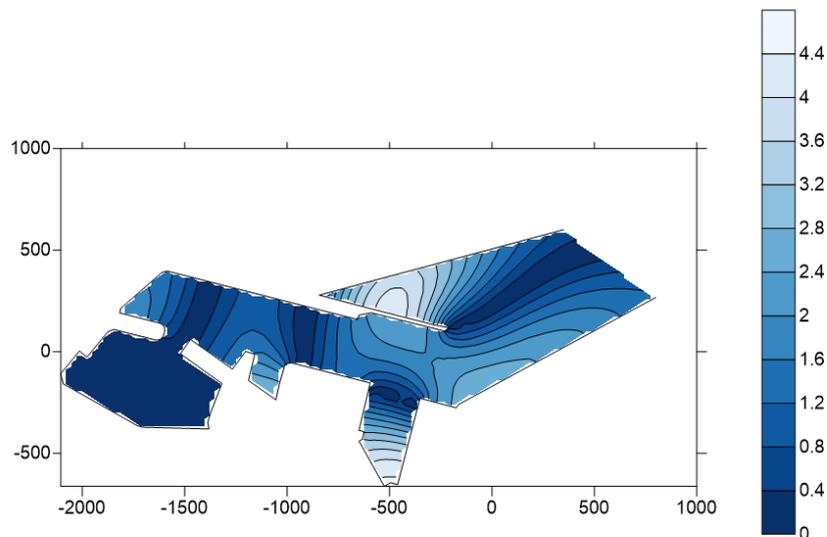


Figura 2. Coeficientes de agitación para la dirección E. Fuente: SURFER 10

Tal y como se aprecia en los distintos resultados obtenidos la dársena central es la más afectada debido a que la distancia entre los distintos muelles se acopla perfectamente para estos periodos produciendo los efectos de resonancia y obteniendo coeficientes de agitación altos, lo cual produce que exista una merma de operatividad en la zona sumándose a la que ya existía por causas del oleaje. Sin embargo, el puerto deportivo a duras penas se ve afectado, esto es debido a que, en la entrada del propio puerto, junto con la disposición geométrica del mismo, hacen que los coeficientes de agitación sean mínimos para el oleaje de infragravedad.

Para poder resolver la problemática generada por ambos tipos de olas se llega a la solución de resolver la problemática mediante la introducción de elementos antirreflejantes para disminuir los coeficientes de agitación a valores que, multiplicados por la altura de ola incidente, den valores que puedan cumplir con la norma de la ROM. Para ello nos basamos en las recientes soluciones de muelles ARJ-R basadas en la creación de circuitos disipativos largos en cajones antirreflejantes de tipología Jarlan donde se plantean soluciones viables para la atenuación de la resonancia portuaria para los periodos más problemáticos.

Dichos diseños se han basado en los estudios realizados tanto por González-Escrivá (2017) Martínez et al, (2010) en donde se nos indica como realizar los diseños y cuáles serían los coeficientes de absorción de los mismos. Es pues que será este método el empleado para dotar al puerto de una alternativa para resolver la problemática de la merma de la operatividad.

Para dotar de una solución al Puerto de Alicante, se proponen 3 alternativas distintas, todas ellas con el empleo de muelles ARJ-R. La diferencia entre las distintas alternativas es la ubicación de los muelles y el número de cajones empleados. La alternativa 1 palia la problemática de la agitación para el oleaje de corto periodo, no obstante, para las ondas largas no se consigue eliminar totalmente el número de horas de excedencia para la operatividad. La principal apuesta de la alternativa 1 es el bajo número de cajones necesarios para poder conseguir la reducción, por ello su estrategia de la colocación de los mismos de la manera más efectiva posible.

Para las alternativas 2 y 3 se ha buscado lo que sería una solución teórica, es decir, ver donde puede reflejarse la energía y colocar de manera masiva un gran número de cajones. Sin embargo, para el oleaje de corto periodo, en la dársena central sería necesario colocar cajones en la parte más orientada hacia el norte del muelle 11 para poder cumplir con los valores de agitación.

Por ello la alternativa propuesta es la 1 la cual es la combinación de varios cajones para el oleaje los cuales tienen un coeficiente de absorción de 0.5 y cajones para las ondas de infragravedad los cuales tienen una absorción de 0.2. Con esta disposición se logra disminuir los coeficientes de agitación en gran medida logrando que el tiempo de parada operativa cumpla con los valores estipulados en la ROM. La valoración de los cajones antirreflejantes obtenida es aproximadamente de 500000 € por cajón, sin incluir los precios de demolición de los cajones existentes. Actualmente existe una nueva dársena (Dársena Sur) en la cual están destinando la mayor parte del tráfico de contenedores, dejando a la dársena central simplemente con el tráfico de graneles. No obstante, se pretende que la dársena central vaya cobrando mayor importancia en los próximos años pues desean ampliar la zona de almacenamiento para dotar a los muelles 13,15,17 de una mayor capacidad para el tráfico de líneas regulares, es por ello que es necesario realizar estas mejoras de operatividad para reducir los costes que se producirían por las pérdidas económicas ante la imposibilidad de realizar las operaciones necesarias debido al mal estado del oleaje.

PALABRAS CLAVE: AGITACIÓN, RESONANCIA, PUERTO DE ALICANTE, OLEAJE, ONDAS LARGAS, OPERATIVIDAD

ABSTRACT

The starting point for carrying out this study is the basic knowledge of the area in which our port is located, for this a preliminary study is carried out in which both the antecedents and the intrinsic characteristics of the port itself are included, as they could be morphology, draft, coronation level among others. As for the study itself, the definition of the nature of the work is included, as well as the shutdown conditions of the docks.

Once these aspects are known, we proceed to obtain the maritime climate to be able to correctly define the average regime that affects our port, said regime consists of both gravity waves ($1 < T [s] < 30$) and infragravity waves ($30 < T [s] < 300$). The maritime climate that affects the study area comprises the directions ENE, E, ESE, SE, SSE and S, where the swells that come from the direction more tended towards the East are those that cause a greater swell, while the that are generated further south, their wave height is lower in comparison, this is due to the morphology and situation of the area in which the Port of Alicante is located.

Next, the agitation study is carried out inside the port by means of numerical modelling, in the first instance we proceed with the analysis of the gravity waves where it is obtained that the incident waves that come from the south (S, SSE and SE) have the characteristic that the agitation and resonance they produce are much more noticeable than in the rest of the directions, this is due to the way in which the port is built, where its mouth is designed for a south direction because for this direction, it is the one that produces a lower wave height and a lower probability of associated occurrence than the rest. This design of the entrance is detrimental to the directions whose waves are greater and have a greater probability of incidence, however, for the waves that can affect directly, thanks to the geometry of the interior of the port and the scarcity of anti-reflective elements make these waves are increased.

The main conclusion reached in this section is that of all the periods that affect the port, the ones that introduce the highest coefficient of agitation are those between 7 seconds and 9 seconds, due to the fact that the interior design of the port together with the distance Between the different docks it fulfils that for these periods the waves of said swells are coupled together, generating resonance problems with special importance in the central basin. As can be seen in the following figure where an example of the stirring coefficients for the South direction with a period of 6.54 seconds is shown.

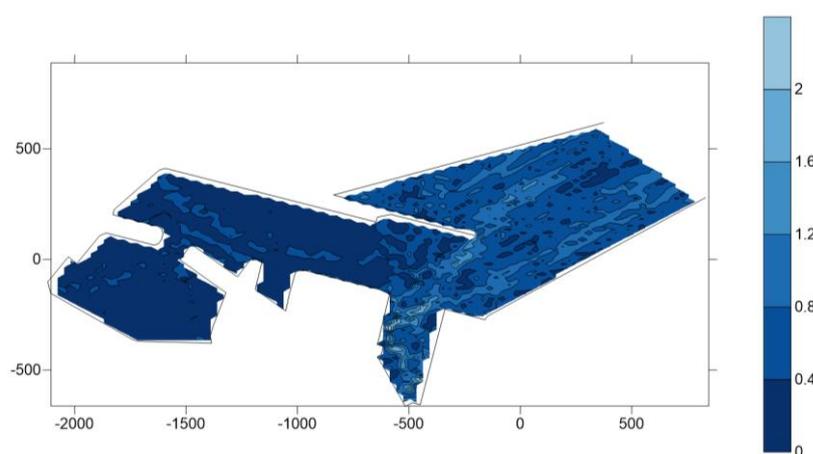


Figura 3. Agitation coefficients for wave S. Source: SURFER

This causes that in the central dock as well as outside there is a decrease in operability which exceeds the one recommended as a limit by ROM, and therefore it is necessary to provide a solution that allows its reduction.

Another of the analyses carried out by means of numerical modelling is the study for infragravity waves, these waves are not collected by any of the buoys and the information regarding these is scarce, for that reason several hypotheses were elaborated both on how they are generate and how they affect the operation, based on both González-Escrivá's doctoral thesis (2017) and the Japanese standard "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan".

One of the main characteristics of these waves is that they are not limited by the direction of entry of the mouth, that is, in this case and unlike gravity waves, the waves that most affect the port are those that come from the E directions because the wave height is higher and have a higher probability of occurrence.

After the agitation analysis for infragravity waves, it was concluded that the periods that produce higher agitation coefficients are for periods of 60s, 120s and 240s, this is due to the geometry of the port, as happened with gravity waves. , an aspect that can be highlighted is that the periods are multiples of themselves. In order to visualize the difference between the agitation produced by the waves and that produced by the infragravity waves, one of the results obtained is shown, in this case it is the E direction for a period of 120 seconds.

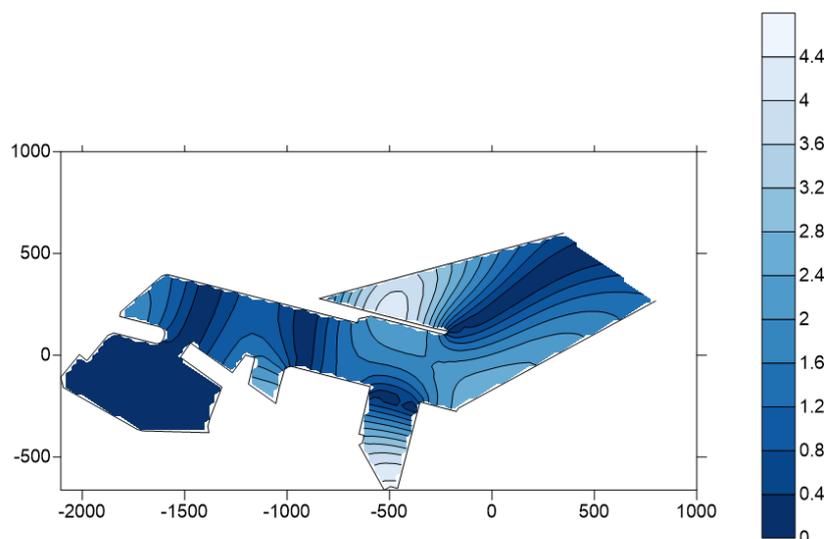


Figura 4. Agitation coefficients for wave E. Source: SURFER

As can be seen in the different results obtained, the central basin is the most affected due to the fact that the distance between the different docks is perfectly coupled for these periods, producing resonance effects and obtaining high agitation coefficients, which produces a decrease in operability in the area, adding to the one that already existed due to the waves. However, the marina is hardly affected, this is due to the fact that, at the entrance to the port itself, together with its geometric arrangement, they make the agitation coefficients minimal for infragravity waves.

In order to solve the problem generated by both types of waves, the solution is reached to solve the problem by introducing anti-reflective elements to reduce the agitation coefficients to values that, multiplied by the height of the incident wave, give values that can comply with the ROM standard. For this, we rely on the recent ARJ-R quays solutions based on the creation of long dissipative circuits in anti-reflective quays of the Jarlan typology, where viable solutions are proposed for the attenuation of port resonance for the most problematic periods.

These designs have been based on the studies carried out by González-Escrivá (2017) Martínez et al, (2010), where they indicate how to make the designs and what their absorption coefficients would be. It is therefore that this method will be used to provide the port with an alternative to solve the problem of reduced operability.

To provide a solution to the Port of Alicante, 3 different alternatives are proposed, all of them with the use of ARJ-R docks. The difference between the different alternatives is the location of the springs and the number of drawers used. Alternative 1 alleviates the problem of agitation for short-term waves, however, for long waves it is not possible to completely eliminate the number of hours of exceedance for operation. The main bet of alternative 1 is the low number of drawers necessary to achieve the reduction, therefore its strategy of placing them in the most effective way possible.

For alternatives 2 and 3, what would be a theoretical solution has been sought, that is, to see where the energy can be reflected and place a large number of drawers on a massive scale. However, for short period swells, in the central basin it would be necessary to place caissons in the part most oriented towards the north of the pier 11 in order to comply with the agitation values.

Therefore, the proposed alternative is 1, which is the combination of several quays for waves which have an absorption coefficient of 0.5 and quay for infragravity waves which have an absorption of 0.2. With this arrangement, it is possible to reduce the agitation coefficients to a great extent, ensuring that the operating stop time complies with the values stipulated in the ROM. The valuation of the anti-reflective quays obtained is approximately € 500,000 per quay, not including demolition prices for existing quays. Currently there is a new dock (South Dock) in which they are allocating most of the container traffic, leaving the central dock simply with bulk traffic. However, it is intended that the central dock will become more important in the coming years as they want to expand the storage area to provide docks 13,15,17 with a greater capacity for regular line traffic, which is why it is necessary to carry out these operational improvements to reduce the costs that would result from economic losses due to the impossibility of carrying out the necessary operations due to the bad state of the waves.

KEY WORDS: AGITATION, RESONANCE, PUERTO DE ALICANTE, SURF, LONG WAVES, OPERATIVITY

RESUM:

El punt de partida per a la realització d'aquest estudi és el coneixement bàsic de la zona en la qual es troba el nostre port, per a això es realitza un estudi previ en el qual s'inclou tant els antecedents com les característiques intrínseques del propi port, com pogueren ser morfologia, calat, cota de coronació entre altres. Quant al propi estudi s'inclou la definició del caràcter de l'obra, així com les condicions de parada que tenen les dàrsenes.

Una vegada conegut aquests aspectes es procedeix amb l'obtenció del clima marítim per a poder definir de manera correcta com és el règim mitjà que afecta el nostre port, aquest règim consta tant les ones de gravetat ($1 < T[s] < 30$) com les ones de infragravetat ($30 < T[s] < 300$). El clima marítim que afecta la zona d'estudi comprén les adreces ENE, E, ESE, SE, SSE i S, on els onatges que provenen de la direcció més tendida cap a l'Est són els que provoquen un major onatge, mentre que els que es generen més cap al Sud la seua altura d'ona és menor en comparació, això és degut a la morfologia i situació de la zona en la qual es troba el Port d'Alacant.

A continuació, es realitza l'estudi d'agitació a l'interior del port mitjançant modelització numèrica, en primera instància es procedeix amb l'anàlisi de les ones de gravetat on s'obté que els onatges incidents que provenen del Sud (S, SSE i ES) tenen la característica que l'agitació i ressonància que produeixen són molt més notoris que en la resta de les direccions, això és degut a la forma en la qual està construït el port, on el seu bocana està dissenyada per a una direcció del Sud pel fet que per a aquesta direcció és la que produeix una menor altura d'ona i una probabilitat d'ocurrència associada menor a les de la resta. Aquest disseny de la bocana perjudica les direccions els onatges de les quals són majors i tenen una major probabilitat d'incidència, no obstant això, per als onatges que poden incidir de manera directa, gràcies a la geometria de l'interior del port i a l'escassetat d'elements antireflectants fan que aquests onatges es vegem incrementats.

A la principal conclusió que s'arriba en aquest apartat és que de tots els períodes que afecten el port els que major coeficient d'agitació introdueixen són els compresos entre 7 segons als 9 segons, pel fet que el disseny interior del port juntament amb la distància entre els diferents molls compleix que per a aquests períodes les ones d'aquests onatges s'acoblen entre si generant els problemes de ressonància amb especial importància en la dàrsena central. Tal com es pot veure en la següent figura on es mostra un exemple dels coeficients d'agitació per a la direcció Sud amb període de 6.54 segons.

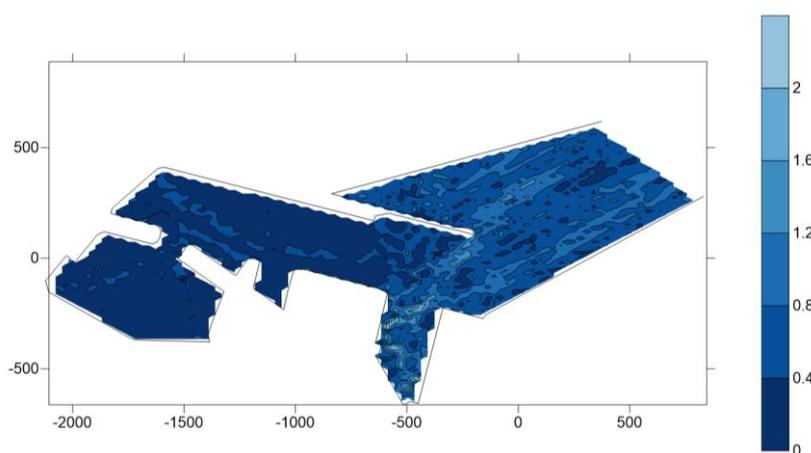


Figura 5. Coeficients d'agitació per l'onatge S. Font: SURFER

Això produeix que en la dàrsena central com a exterior es produísca un minvament d'operativitat la qual sobrepassa a la que recomana com limite la ROM, i per això és necessari aportar una solució que permeta la seua reducció.

Un altre de les anàlisis que es realitzen mitjançant la modelització numèrica és l'estudi per a les ones de infragravetat, aquests onatges no estan recollits per cap de les boies i la informació referent a aquestes és escassa, per això es van elaborar diverses hipòtesis tant de com es generen i com afecten l'operació, basats tant en la tesi doctores de González-Escrivá (2017) com en la norma japonesa "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan".

Una de les principals característiques d'aquests onatges és que no es veuen limitats per la direcció d'entrada de la bocana, és a dir, en aquest cas i a diferència de les ones de gravetat, els onatges que més afecten el port són els que provenen de les direccions de l'E pel fet que l'altura d'ona és major i tenen una major probabilitat d'ocurrència.

Després de l'anàlisi d'agitació de per als onatges de infragravetat es va concloure que els períodes que produeixen uns majors coeficients d'agitació són per a períodes de 60s, 120s i 240s, això és degut a la geometria del port igual que passava amb les ones de gravetat, un aspecte que es pot remarcar és que els períodes són múltiples de si mateixos. Per a poder visualitzar la diferència entre l'agitació que es produeix per l'onatge i el produït per les ones de infragravetat s'exposa un dels resultats obtinguts, en aquest cas es tracta de la direcció E per a un període de 120 segons.

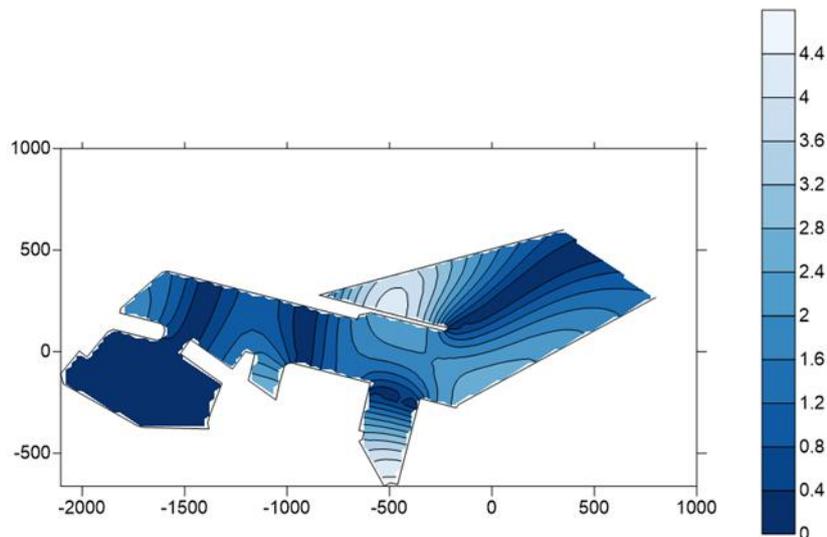


Figura 6 Coeficients d'agitació per l'onatge E. Font: SURFER

Tal com s'aprecia en els diferents resultats obtinguts la dàrsena central és la més afectada pel fet que la distància entre els diferents molls s'acobla perfectament per a aquests períodes produint els efectes de ressonància i obtenint coeficients d'agitació alts, la qual cosa produeix que existisca un minvament d'operativitat en la zona sumant-se a la qual ja existia per causes de l'onatge. No obstant això, el port esportiu amb prou faenes es veu afectat, això és pel fet que, en l'entrada del propi port, juntament amb la disposició geomètrica d'aquest, fan que els coeficients d'agitació siguin mínims per a l'onatge de infragravetat.

Per a poder resoldre la problemàtica generada per tots dos tipus d'ones s'arriba a la solució de resoldre la problemàtica mitjançant la introducció d'elements antireflectants per a disminuir els coeficients d'agitació a valors que, multiplicats per l'altura d'ona incident, donen valors que puguen complir amb la norma de la ROM. Per a això ens basem les recents solucions de molls ARJ-R basades en la creació de circuits dissipatius llargs en calaixos antireflectants de tipologia Jarlan on es plantegen solucions viables per a l'atenuació de la ressonància portuària per als períodes més problemàtics.

Aquests dissenys s'han basat en els estudis realitzats tant per González-Escrivá (2017) Martínez et al, (2010) on se'ns indica com realitzar els dissenys i quins serien els coeficients d'absorció d'aquests. És doncs que serà aquest mètode l'empleat per a dotar al port d'una alternativa per a resoldre la problemàtica del minvament de l'operativitat.

Per a dotar d'una solució al Port d'Alacant, es proposen 3 alternatives diferents, totes elles amb l'ús de molls ARJ-R. La diferència entre les diferents alternatives és la ubicació dels molls i el nombre de calaixos emprats. L'alternativa 1 pal·lia la problemàtica de l'agitació per a l'onatge de curt període, no obstant això, per a les ones llargues no s'aconsegueix eliminar totalment el nombre d'hores d'excedència per a l'operativitat. La principal aposta de l'alternativa 1 és el baix nombre de calaixos necessaris per a poder aconseguir la reducció, per això la seua estratègia de la col·locació dels mateixos de la manera més efectiva possible.

Per a les alternatives 2 i 3 s'ha buscat el que seria una solució teòrica, és a dir, veure on pot reflectir-se l'energia i col·locar de manera massiva un gran nombre de calaixos. No obstant això, per a l'onatge de curt període, en la dàrsena central seria necessari col·locar calaixos en la part més orientada cap al nord del moll 11 per a poder complir amb els valors d'agitació.

Per això l'alternativa proposada és la 1 la qual és la combinació de diversos calaixos per a l'onatge els quals tenen un coeficient d'absorció de 0.5 i calaixos per a les ones de infragravetat els quals tenen una absorció de 0.2. Amb aquesta disposició s'aconsegueix disminuir els coeficients d'agitació en gran manera aconseguint que el temps de parada operativa complisca amb els valors estipulats en la ROM. La valoració dels calaixos antireflectants obtinguda és aproximadament de 500000 € per calaix, sense incloure els preus de demolició dels calaixos existents. Actualment existeix una nova dàrsena (Dàrsena Sud) en la qual estan destinant la major part del trànsit de contenidors, deixant a la dàrsena central simplement amb el trànsit de granel. No obstant això, es pretén que la dàrsena central vaja cobrant major importància en els pròxims anys perquè desitgen ampliar la zona d'emmagatzematge per a dotar als molls 13,15,17 d'una major capacitat per al trànsit de línies regulars, és per això que és necessari realitzar aquestes millores d'operativitat per a reduir els costos que es produirien per les pèrdues econòmiques davant la impossibilitat de realitzar les operacions necessàries a causa del mal estat de l'onatge.

PARAULES CLAU: AGITACIÓ, RESSONÀNCIA, PORT D'ALACANT, ONATGE, ONES LLARGUES, OPERATIVITAT

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	23
CAPÍTULO II: CLIMA MARÍTIMO	41
CAPÍTULO III: ESTUDIO DE AGITACIÓN	69
CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	92
CAPÍTULO V: SOLUCIÓN ADOPTADA	109
ANEXO I	131
ANEXO II	183
ANEXO III	252
PLANOS.....	290

MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 GENERALIDADES Y ANTECEDENTES.....	5
1.2 BASES PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO.....	6
1.3 CARÁCTER DE LA OBRA, CONDICIONES DE PARADA OPERATIVA EN LOS PUERTOS.....	6
2. CLIMA MARÍTIMO	7
2.1 Caracterización del régimen medio	7
2.2 Propagación.....	8
2.3 Oleaje de infragravedad	9
3. ESTUDIO DE AGITACIÓN	10
4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	14
4.1 Criterios para la propuesta de alternativas.....	14
4.2 Alternativas	15
4.3 Excedencias.....	18
5. SOLUCIÓN ADOPTADA.....	18
5.1 Diseño y geometría	18
5.2 Cálculos justificativos	21
5.3 Valoración económica	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de actuación del estudio. Fuente: Google Earth Pro con modificación propia.....	5
Figura 2. Ubicación de las boyas de referencia. Fuente: Puertos del Estado.	7
Figura 3. Esquema de la zona de estudio en el GID, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID.....	10
Figura 4. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	10
Figura 5. Esquema de la zona de estudio en el GID, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	11
Figura 6. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	11
Figura 7. Zonificación de la zona de estudio. Fuente: Propia	12
Figura 8. Mallado de la zona de estudio, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID..	12
Figura 9. Mallado de la zona de estudio, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	13
Figura 10. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	13
Figura 11. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	14
Figura 12. Número de horas de excedencia para el oleaje del régimen medio y el de infragravedad. Fuente: Propia	14
Figura 13. Coeficientes de absorción para el régimen medio en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	15
Figura 14. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID.....	15
Figura 15. Coeficientes de absorción para el régimen medio en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	16
Figura 16. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID.....	16
Figura 17. Coeficientes de absorción para el régimen medio en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	17
Figura 18. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 3. Fuente: Elaboración propia con uso del GID.....	17
Figura 19. Geometría del cajón antirreflejante en planta. Fuente: Propia.....	19
Figura 20. Geometría del cajón antirreflejante en perfil. Fuente: Propia.....	19
Figura 21. Diseño del circuito antirreflejante para el régimen medio. Fuente: Propia	20
Figura 22. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para el régimen medio. Fuente: Propia	20
Figura 23. Diseño del circuito antirreflejante para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia	20
Figura 24. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de la vida útil, periodo de retorno y probabilidad de fallo por zonas. Fuente: Propia	7
Tabla 2. Resumen de la probabilidad de fallo, número de paradas y duraciones máximas de las paradas. Fuente: Propia	7
Tabla 3. Resumen régimen medio. Fuente: Propia	8
Tabla 4. Resumen régimen medio. Fuente: Propia	8
Tabla 5. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ENE. Fuente: Propia.....	8
Tabla 6. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección E. Fuente: Propia	8
Tabla 7. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ESE. Fuente: Propia	9
Tabla 8. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SE. Fuente: Propia	9
Tabla 9. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SSE. Fuente: Propia	9
Tabla 10. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección S. Fuente: Propia	9
Tabla 11. Resumen de los oleajes de infragravedad. Fuente: Propia	9
Tabla 12. Número de horas de excedencia según alternativas. Fuente: Propia	18
Tabla 13. Número de horas de excedencia para ondas de infragravedad según alternativas. Fuente: Propia	18
Tabla 14. Combinación de acciones más desfavorable para el vuelco y su factor de seguridad. Fuente: Propia	21
Tabla 15. Combinación de acciones más desfavorable para el deslizamiento y su factor de seguridad. Fuente: Propia	21
Tabla 16. Tabla resumen de los precios de demolición. Fuente: Propia.....	21
Tabla 17. Tabla resumen de los precios para el cajón del régimen medio. Fuente: Propia	22
Tabla 18. Tabla resumen de los precios para el cajón de infragravedad. Fuente: Propia	22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES Y ANTECEDENTES

El objeto del presente Estudio es el análisis mediante modelización numérica, diagnóstico y la selección de la solución óptima de una serie de propuestas para resolver la potencial problemática de agitación / resonancia optimizando la operatividad del Puerto de Alicante. Complementariamente, se definirá la solución adoptada, efectuándose las verificaciones necesarias para asegurar la viabilidad de dicha solución y evaluándose los beneficios en términos de mejora de operatividad conseguidos.

En el presente Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante se analizará la respuesta de las dársenas del Puerto de Alicante al oleaje y a las ondas de infragravedad, efectuándose las hipótesis que permitan estimar la pérdida de operatividad asociada en el caso de ondas de infragravedad (sin mediciones y por lo tanto sin datos estadísticos). Asimismo, se propondrán soluciones mixtas (onda corta u oleaje y onda de infragravedad mediante estructuras antirreflejantes ARJ-R), evaluándose la mejora obtenida en la operatividad del Puerto de Alicante.

En el año 2010 el Puerto de Alicante encargó al CEDEX la realización de un estudio denominado “Estudio de agitación para el proyecto de remodelación de las instalaciones del Puerto de Alicante” para poder conocer cuál es la situación actual y futura del interior del puerto si se realizaran una serie de modificaciones en la misma. Tras la elaboración de este estudio se llegó a la conclusión de que la operatividad en la zona de estudio no cumplía con los valores mínimos recomendados en la ROM. Proporcionando unas soluciones por las cuales aconsejaban la utilización de elementos antirreflejantes. En dicho informe solo se consideraron el régimen medio que incidía de manera directa en la bocana, sin considerar los oleajes de infragravedad y con una geometría desfasada de la actual.

Por ello nuestra zona de estudio se limita la siguiente Figura:



Figura 1. Zona de actuación del estudio. Fuente: Google Earth Pro con modificación propia

1.2 BASES PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO

En primer lugar, la información que se recoge es la siguiente:

- Topografía y geotecnia
- Calado
- Cota de coronación
- Oleajes
- Nivel del mar
- Efecto sísmico

Topografía y la geotecnia.

Para la realización de este estudio se ha utilizado la batimetría proporcionada por la dirección general de costas, dicha batimetría es referente a un levantamiento que se realizó en 2006, el cual va desde la línea de costa hasta la batimetría 40 m.

La información con la cual se ha trabajado corresponde a un sistema ETRS89 HUSO 30, con el cual quedan definidas las líneas de nivel cada metro. Del mismo modo se han empleado informes geotécnicos y topográficos recogidos en proyectos previos realizados en el Puerto de Alicante.

Calado

El calado varía según la zona en la que se encuentre dentro del muelle, siendo una variación entre el calado máximo de 13 metros respecto el cero del Puerto de Alicante, mientras que el mínimo puede rondar los 8 metros de profundidad respecto el cero del Puerto de Alicante.

Cota de coronación

La cota de coronación de los nuevos muelles se mantendrá a los +2.6 metros respecto el cero del puerto de alicante, tal como están situados el resto de los muelles actuales.

Nivel del mar

Adoptamos un único valor del mar, en este caso será nivel cero del Puerto de Alicante.

Efecto Sísmico

En nuestro caso tendremos un valor de 0,14g por lo que será necesario considerar dicha acción sísmica si es necesario la realización de la comprobación estructural.

1.3 CARÁCTER DE LA OBRA, CONDICIONES DE PARADA OPERATIVA EN LOS PUERTOS.

Es necesario conocer estos requerimientos previos para saber el periodo de retorno y así poder realizar los cálculos de altura de ola, así como para conocer las condiciones de operatividad. Para poder realizarlo emplearemos el procedimiento indicado en la ROM 2.0-11. Obteniendo las siguientes tablas:

	Vida útil	IRE	ISA	Pf,ELU	Pf,ELS	PERIODO DE RETORNO
Muelle graneles solidos	50	r3 (alto)	s2 (bajo)	0.1	0.3	475 años (ELU) 141 años (ELS)
Muelle mercancías generales	25	r2 (medio)	s2 (bajo)	0.1	0.3	238 años (ELU) 71 AÑOS (ELS)
Muelle crucero	25	r2 (medio)	s2 (bajo)	0.1	0.3	238 años (ELU) 71 AÑOS (ELS)
Muelle Náutico-Deportivo	15	r1 (bajo)	s2 (bajo)	0.1	0.3	143 años (ELU) 43 AÑOS (ELS)

Tabla 1. Resumen de la vida útil, periodo de retorno y probabilidad de fallo por zonas. Fuente: Propia

	IREO	ISAO	Rf,ELO	Nm	Duraciones máximas de paradas
Muelle graneles solidos	r01 (bajo)	s01 (No signif.)	0.85	10	24 h
Muelle mercancías generales	r03 (alto)	s01 (No signif.)	0.99	10	6 h
Muelle crucero	r03 (alto)	s01 (No signif.)	0.99	10	6 h
Muelle Náutico-Deportivo	r03 (alto)	s02 (bajo)	0.99	5	3 h

Tabla 2. Resumen de la probabilidad de fallo, número de paradas y duraciones máximas de las paradas. Fuente: Propia

2. CLIMA MARÍTIMO

2.1 Caracterización del régimen medio

El estudio del clima marítimo permite conocer cuáles son los oleajes que tienen lugar en nuestra zona en este caso se lleva a cabo mediante la caracterización del régimen medio. La fuente de datos empleada es la que se recoge en la boya de Alicante siendo esta una boya tipo REDEXT.



Figura 2. Ubicación de las boyas de referencia. Fuente: Puertos del Estado.

Donde se obtienen las tablas tanto para la probabilidad de excedencia según la altura de ola y dirección, como la relación entre la altura de ola y el periodo en segundos, todo ello en aguas profundas. Siendo nuestro régimen medio el siguiente:

DIR	Hs (m)	Tp (s)
ENE	0.50	4.02
	1.00	6.73
	1.52	8.32
	2.06	9.45
	2.60	10.32
	3.19	11.03
E	0.50	3.81
	1.00	4.83
	1.50	5.55
	2.00	6.12
	2.50	6.60
	3.00	6.98

Tabla 4. Resumen régimen medio. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)
ESE	0.50	5.20
	1.00	6.87
	1.52	8.38
	2.06	9.67
SE	0.50	5.72
	1.00	8.23
	1.56	9.97
SSE	0.50	5.08
	1.00	7.94
	1.56	9.93
S	0.50	4.12
	1.00	6.54
	1.50	8.14

Tabla 3. Resumen régimen medio. Fuente: Propia

2.2 Propagación.

Para poder conocer cuál es el oleaje que tiene lugar en la bocana del puerto es necesario realizar la propagación desde aguas profundas hasta la batimetría en la cual se encuentra la bocana. Para ello se han realizado dos fases, en la primera se realiza una propagación desde aguas profundas hasta la batimetría -40 m mediante el empleo de las fórmulas teóricas y desde ahí hasta la bocana mediante el módulo del programa SMC desarrollado por la Universidad de Cantabria.

Con todo ello la situación del régimen medio en la bocana del puerto de Alicante queda de la siguiente manera:

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
ENE	0.40	4.02	N67.58E
	0.50	6.73	N73.85E
	0.80	8.32	N79.83E
	1.20	9.45	N83.54E
	1.60	10.32	N86.04E
	2.00	11.03	N87.85E

Tabla 5. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ENE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
E	0.40	3.81	S89.99E
	0.90	4.83	S89.68E
	1.30	5.55	S89E
	1.70	6.12	S88.16E
	2.00	6.60	S87.32E
	2.30	6.98	S86.63E

Tabla 6. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección E. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
ESE	0.40	5.20	S67.4E
	0.90	6.87	S66.96E
	1.40	8.38	S66.47E
	1.80	9.67	S66.08E

Tabla 7. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ESE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
SE	0.40	5.72	S45.75E
	0.95	8.23	S48.52E
	1.40	9.97	S50.05E

Tabla 8. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
SSE	0.45	5.08	S23.31E
	1.10	7.94	S30.59E
	1.20	9.93	S35.66E

Tabla 9. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SSE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
S	0.50	4.12	S0.17E
	0.80	6.54	S8.4E
	0.90	8.14	S16.62E

Tabla 10. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección S. Fuente: Propia

2.3 Oleaje de infragravedad

Mediante el empleo de la fórmula teórica de Bowers (1992) se obtiene una estimación teórica de la altura de la onda de infragravedad para ondas unidireccionales en las profundidades de la bocana, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

DIR	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Hs (cm)	0.08	0.08	0.14	0.17	0.17	0.14
	0.37	0.62	1.26	2.01	2.51	0.90
	1.46	1.71	4.52	6.41	4.67	1.77
	4.23	3.56	9.95	-	-	-
	8.97	5.74	-	-	-	-
	16.01	8.47	-	-	-	-

Tabla 11. Resumen de los oleajes de infragravedad. Fuente: Propia

3. ESTUDIO DE AGITACIÓN

Para poder realizar el estudio de agitación se va a emplear el programa informático MSP, el cual fue desarrollado por la Universidad de Cantabria. Así pues, la metodología de la modelización numérica de la agitación portuaria con el MSP incluye las siguientes fases.

- Definición del escenario actual: geometría, coeficientes de absorción.
- Definición de las zonas
- Generación de la malla de elementos finitos mediante el GID.
- Resolución de la ecuación Mild Slope: resultados gráficos de amplitudes máximas.
- Análisis de la agitación. Excedencias.

Definición del escenario actual: geometría, coeficientes de absorción.

Los escenarios actuales se dividen en dos tipos, uno para el oleaje de gravedad y otro para las ondas de infragravedad. Para el régimen medio tendremos que la geometría empleada es la siguiente:

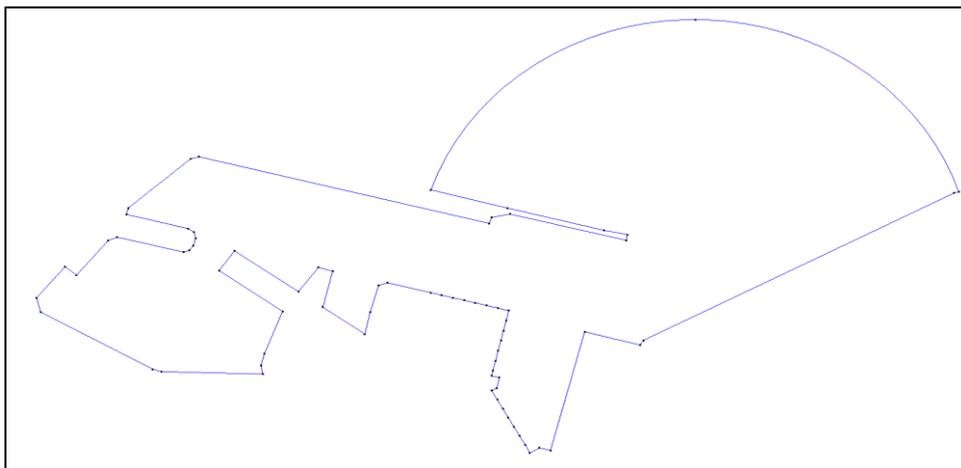


Figura 3. Esquema de la zona de estudio en el GID, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Cuyos coeficientes de absorción se recogen en la siguiente figura:

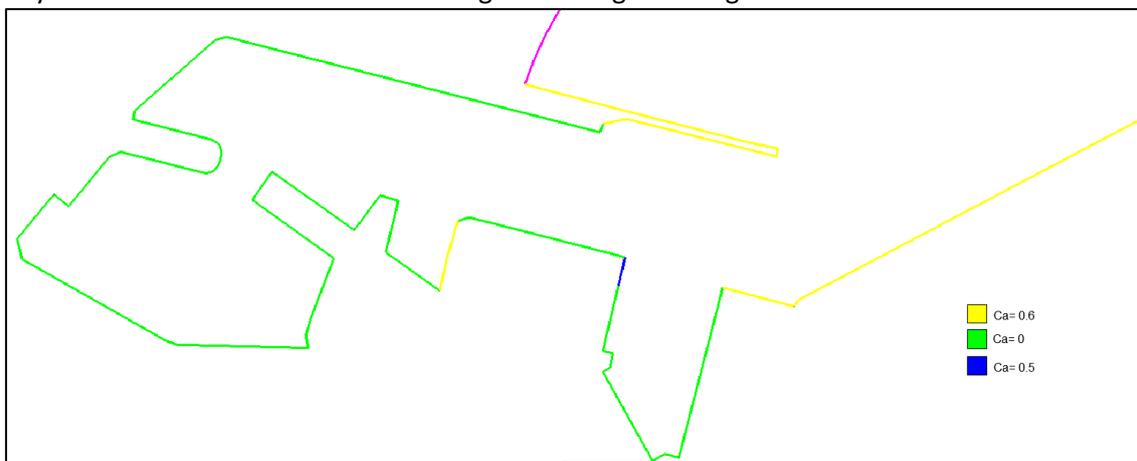


Figura 4. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Para el oleaje de infragravedad es necesario el empleo de una corona de mayor tamaño para poder reproducir los oleajes de periodo largo quedando del siguiente modo:

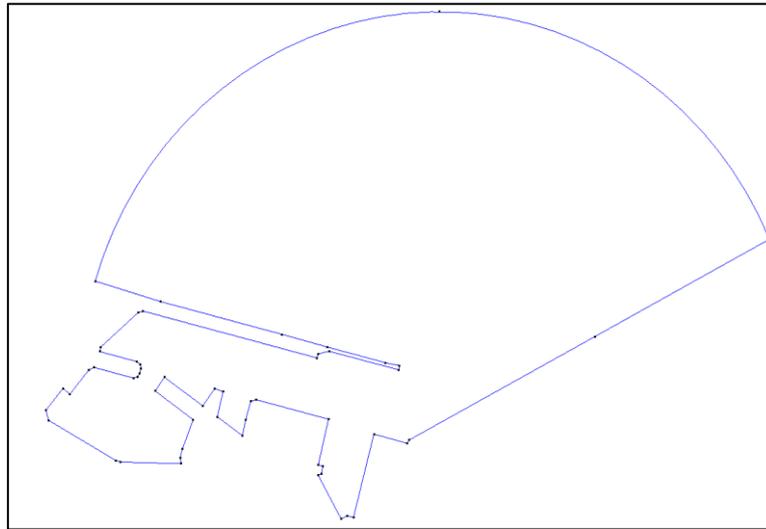


Figura 5. Esquema de la zona de estudio en el GID, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

En donde los coeficientes de absorción varían respecto al caso del régimen medio pues los muelles no se comportan del mismo modo para un oleaje que para los de esta tipología.

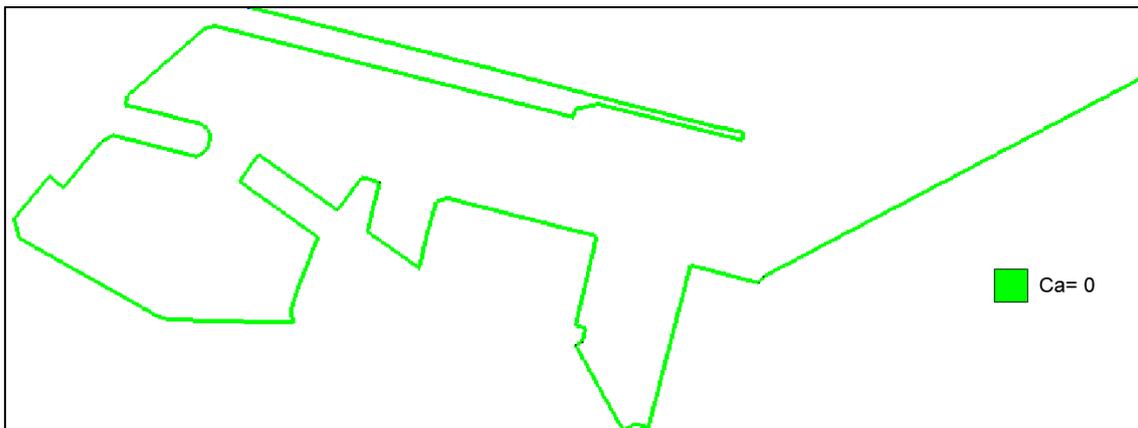


Figura 6. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Con todo ello queda definido la geometría y los coeficientes de absorción para la situación actual.

Definición de las zonas

Se recogen en la siguiente figura la zonificación escogida para el estudio de agitación.



Figura 7. Zonificación de la zona de estudio. Fuente: Propia

Generación de la malla de elementos finitos mediante el GID.

El mallado empleado se debe de ajustar al que dicta el manual para el empleo del MSP. Por ello queda de la siguiente forma, en primer lugar, para el régimen medio:

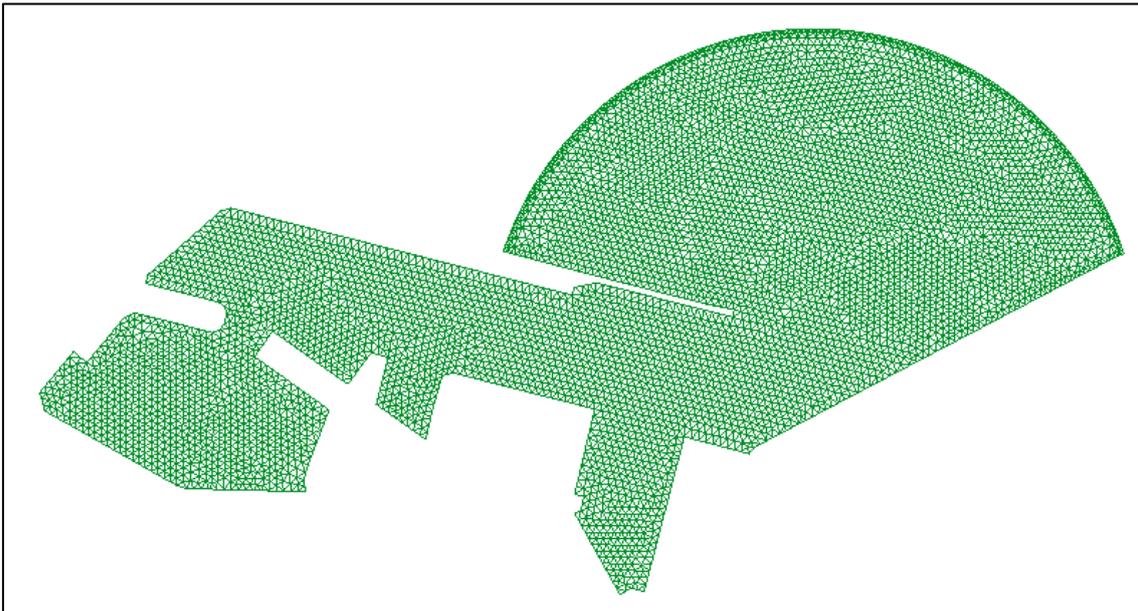


Figura 8. Mallado de la zona de estudio, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

En cuanto al oleaje de infragravedad:

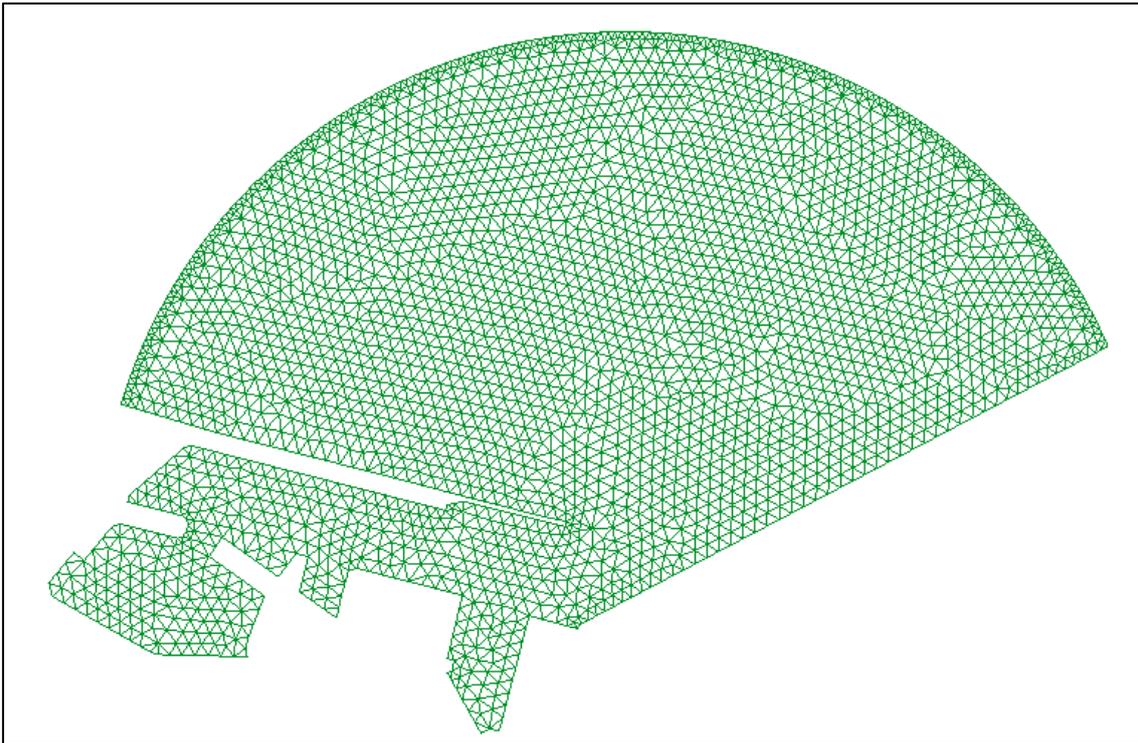


Figura 9. Mallado de la zona de estudio, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Resultados gráficos de amplitudes máximas.

Los gráficos empleados se recogen en el Anexo II. Se muestra a continuación un ejemplo para la dirección Este con un periodo de 5.546 segundos.

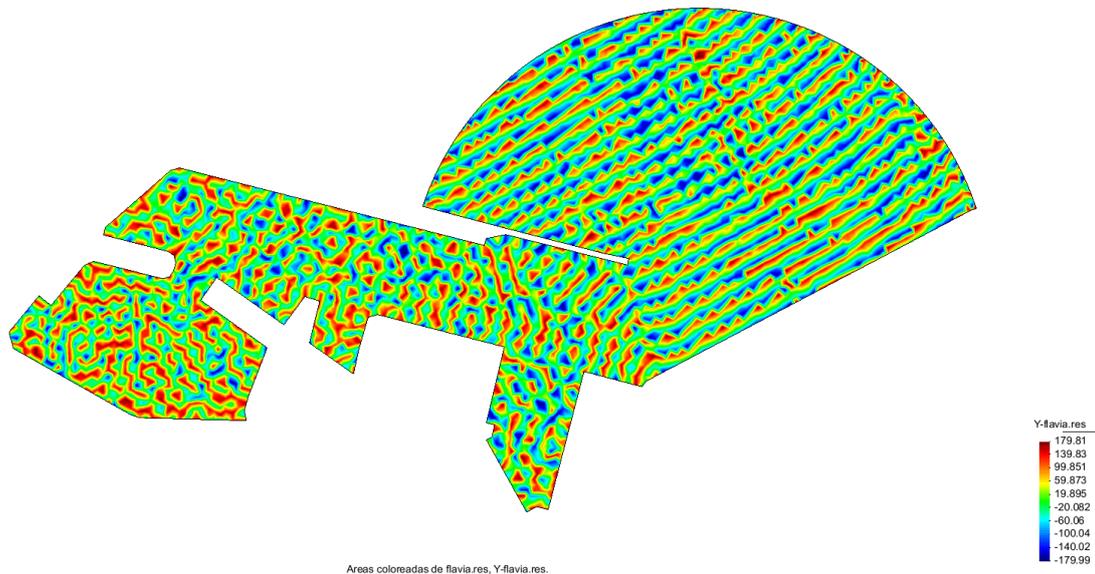


Figura 10. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

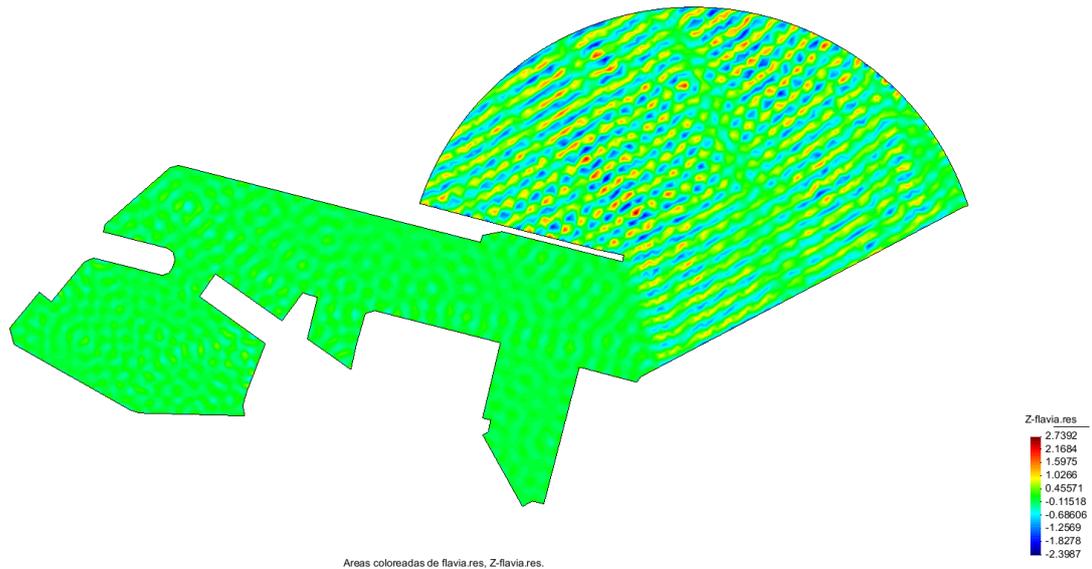


Figura 11. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Análisis de la agitación. Excedencias.

Con todo ello se obtienen el número de horas de excedencia totales para un año medio, recogidos según el uso que se le esté dando al muelle:

	Según ROM 2.0-11			Situación actual
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de excedencias
Muelle graneles solidos	10	24 h	240	947
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	947
Muelle crucero	10	6 h	60	67
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	244

Figura 12. Número de horas de excedencia para el oleaje del régimen medio y el de infragravedad. Fuente: Propia

4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

4.1 Criterios para la propuesta de alternativas

Se van a mostrar tres alternativas distintas por las cuales cumplen con los siguientes criterios:

- Que la alternativa planteada y posteriormente adoptada tiene que resolver la problemática existente, es decir, tiene que ser funcional. Este es el factor que más peso tendrá a la hora de seleccionar la mejor alternativa.

-Contemplar los posibles impactos ambientales de la solución adoptada de manera que se consiga una sincronía con el medio ambiente.

-Se debe tener presente un buen criterio estético, si se van a realizar cambios en la parte del puerto deportivo, así como en la dársena central, teniendo en cuenta la importancia del turismo y la presión urbanística existente en la zona.

-La solución final debe poder ser ejecutada con un presupuesto razonable. Esta medida será las más importantes con respecto a las otras.

4.2 Alternativas

Alternativa 1

Se basan en la incorporación de nuevos cajones antirreflejantes tanto para el régimen medio como para el oleaje de infragravedad, este caso se ha decidido situar la mayoría de los cajones en la dársena central mientras que solo un par situados en la dársena exterior.

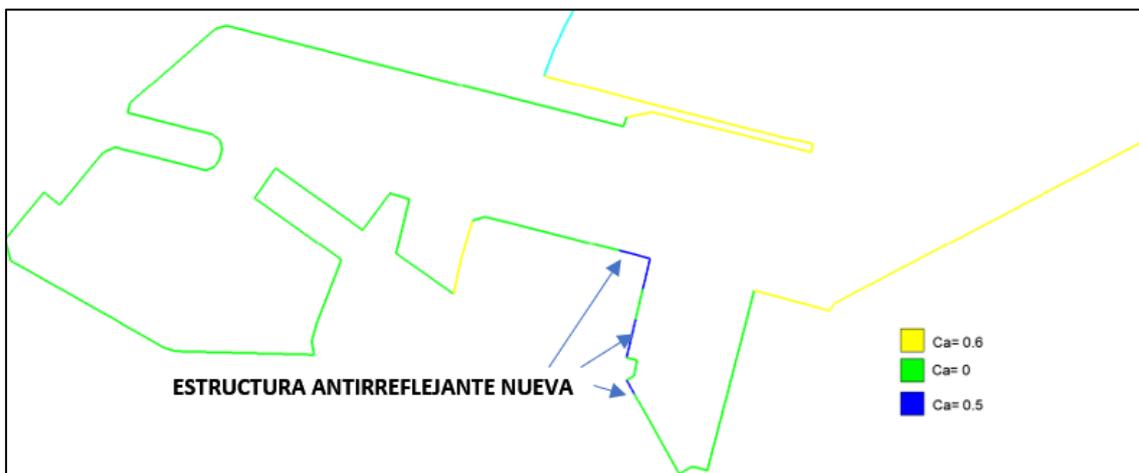


Figura 13. Coeficientes de absorción para el régimen medio en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

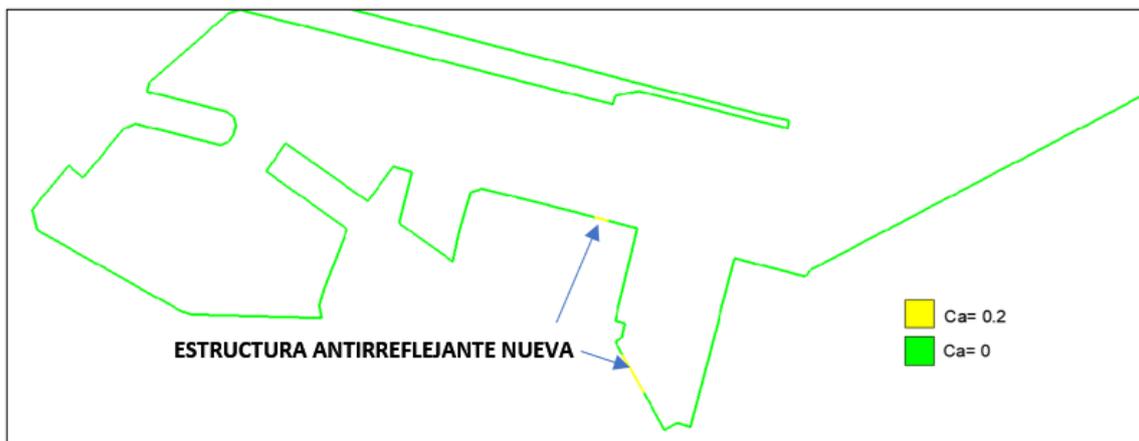


Figura 14. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Alternativa 2

Se basan en la incorporación de nuevos cajones antirreflejantes tanto para el régimen medio como para el oleaje de infragravedad, la diferencia con respecto a la alternativa 0, es el empleo de un mayor número de cajones sin intercalarlos entre sí.

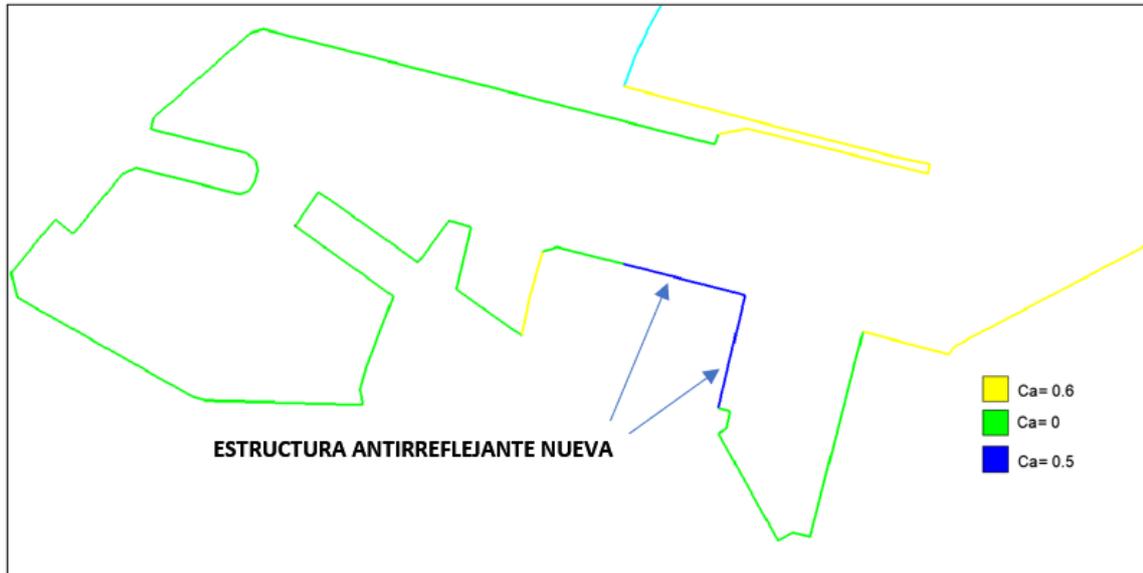


Figura 15. Coeficientes de absorción para el régimen medio en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

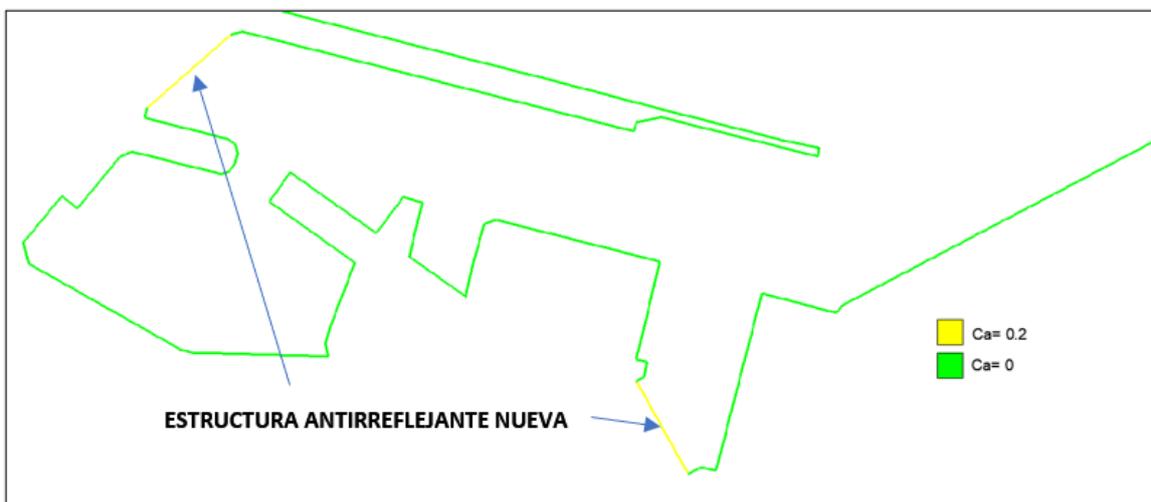


Figura 16. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Alternativa 3

Se basan en la incorporación de nuevos cajones antirreflejantes tanto para el régimen medio como para el oleaje de infragravedad. En esta alternativa se ha buscado ver si es de vital importancia el empleo de cajones en la darsena exterior para poder reducir la agitación.



Figura 17. Coeficientes de absorción para el régimen medio en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

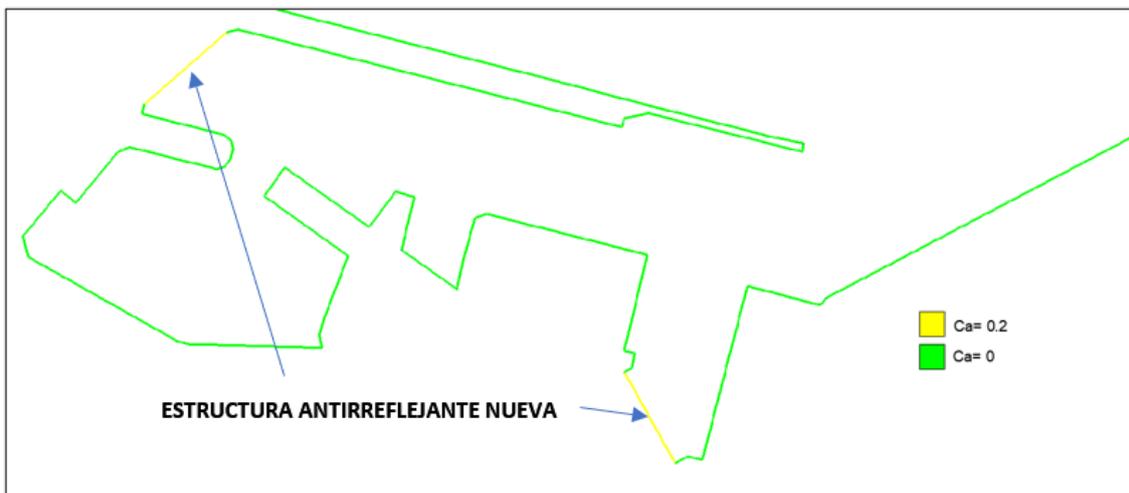


Figura 18. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 3. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

4.3 Excedencias.

Para el régimen medio se obtiene la siguiente tabla:

	Según ROM 2.0-11			Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de excedencias	Número de excedencias	Número de excedencias
Muelle graneles solidos	10	24 h	240	0	76	76
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	0	76	76
Muelle crucero	10	6 h	60	0	0	0
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	0	15	236

Tabla 12. Número de horas de excedencia según alternativas. Fuente: Propia

Para el oleaje de infragravedad se obtiene la siguiente tabla:

	Según ROM 2.0-11			Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de excedencias	Número de excedencias	Número de excedencias
Muelle graneles solidos	10	24 h	240	43	0	0
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	43	0	0
Muelle crucero	10	6 h	60	0	0	0
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	0	0	0

Tabla 13. Número de horas de excedencia para ondas de infragravedad según alternativas. Fuente: Propia

Con todo ello queda como alternativa escogida la número 1. Pues la que da un mejor resultado coste/reducción de la agitación.

5. SOLUCIÓN ADOPTADA.

5.1 Diseño y geometría

Como ya se ha comentado anteriormente la alternativa escogida ha sido la 1, la cual consta de dos elementos antirreflejantes uno para ondas largas cuyo coeficiente debe de estar en los 0.2 de absorción y otro para el régimen medio el cual debe de tener un coeficiente de absorción de 0.5. Para poder realizar el diseño nos hemos basado en los libros de MARTÍNEZ et al, (2010)

y la tesis doctoral de GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017) para su elaboración, en dichos libros se recogen tanto los cálculos como las secciones tipo a emplear.

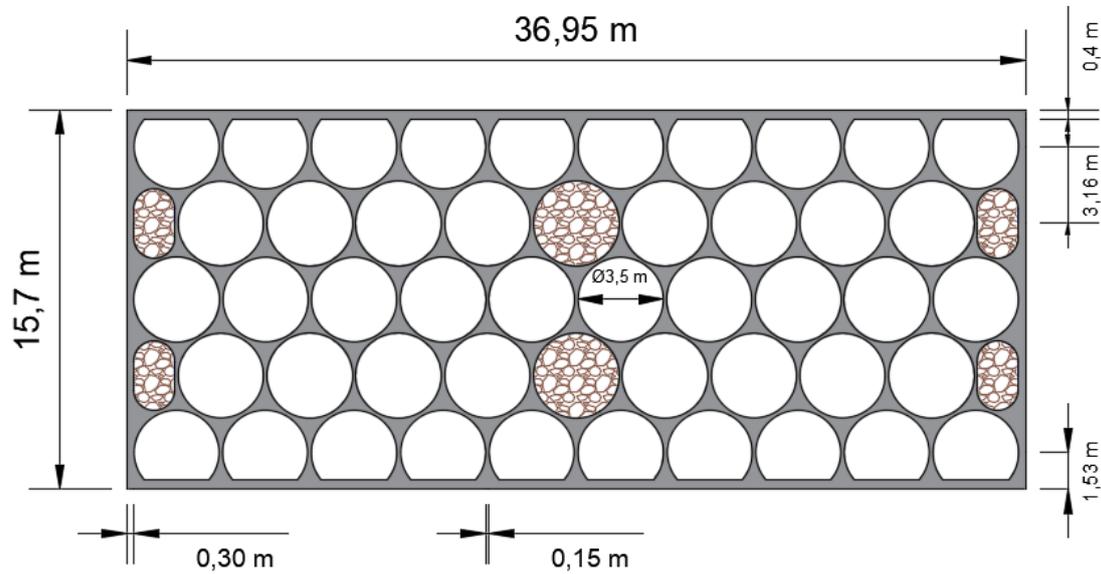


Figura 19. Geometría del cajón antirreflejante en planta. Fuente: Propia

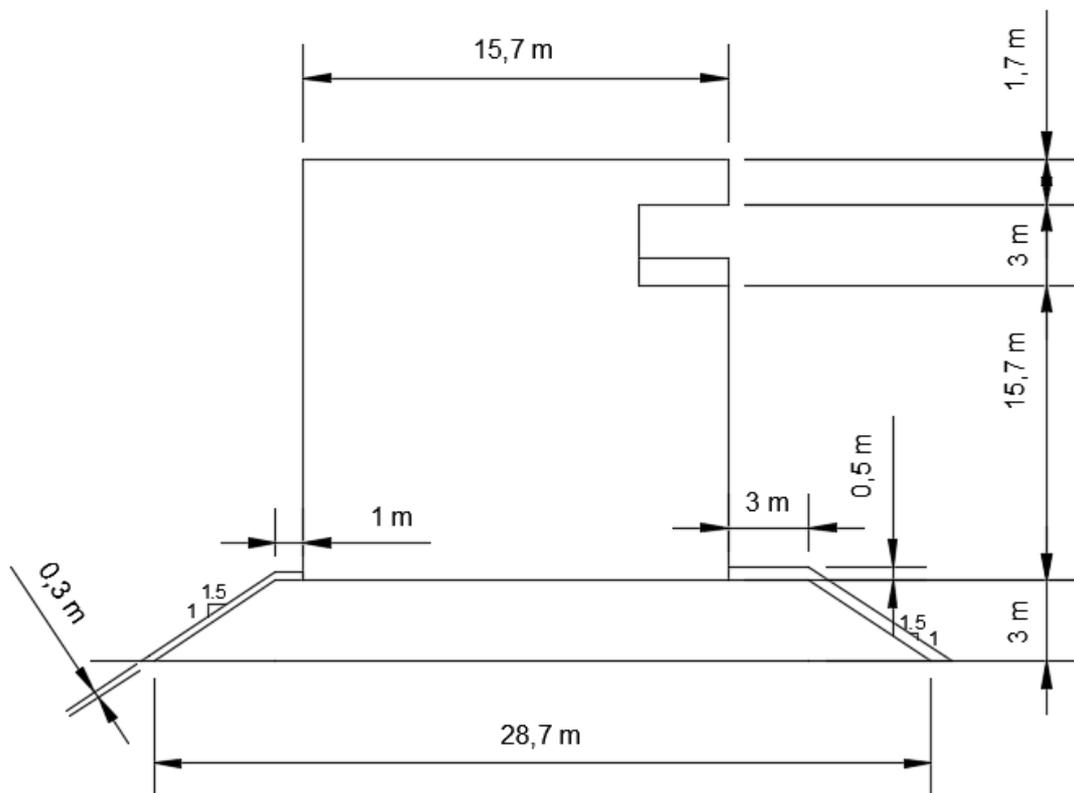


Figura 20. Geometría del cajón antirreflejante en perfil. Fuente: Propia

Siendo el circuito generado para el régimen medio el siguiente:

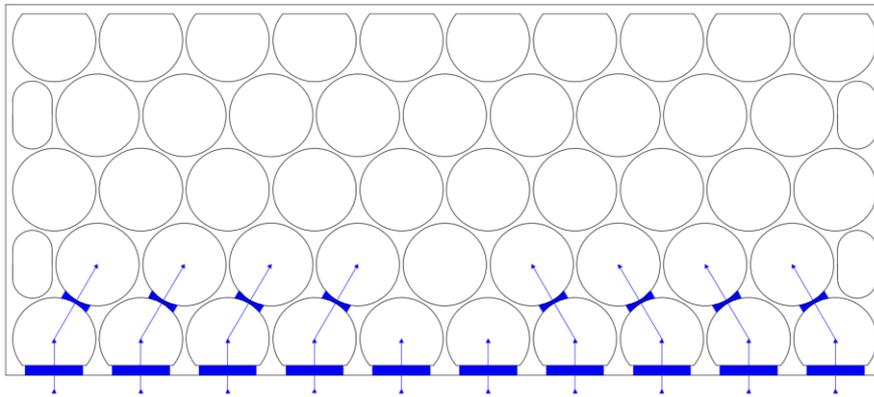


Figura 21. Diseño del circuito antirreflejante para el régimen medio. Fuente: Propia

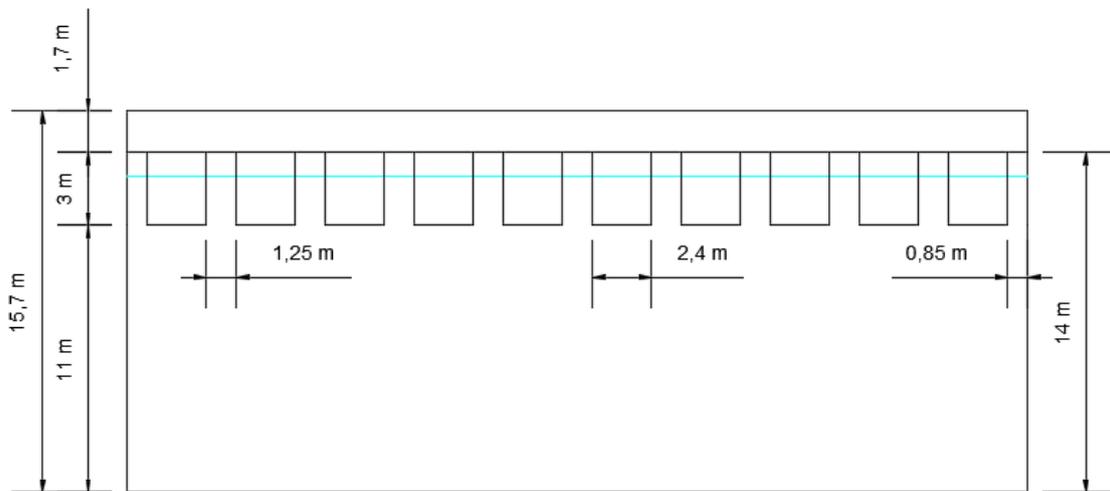


Figura 22. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para el régimen medio. Fuente: Propia

El circuito empleado en el oleaje de infragravedad es el siguiente:

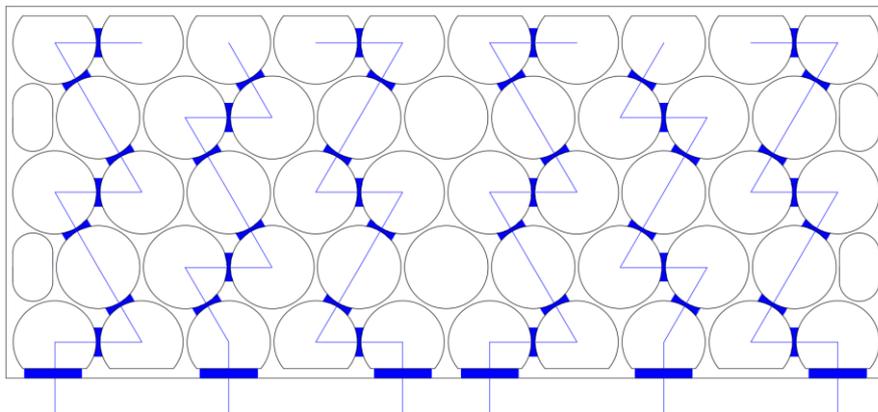


Figura 23. Diseño del circuito antirreflejante para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia

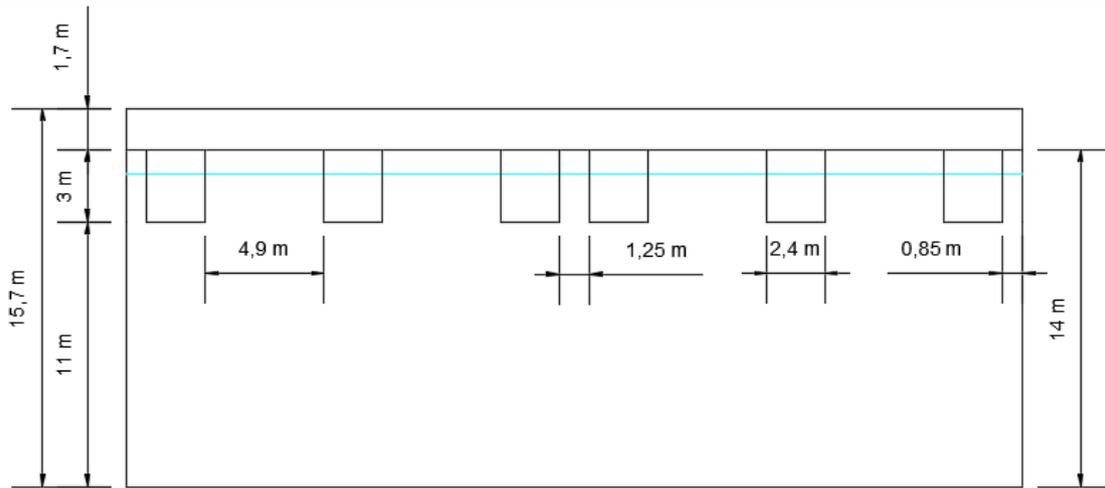


Figura 24. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para las ondas de infrarrojo. Fuente: Propia

5.2 Cálculos justificativos

Para la correcta definición de las fuerzas, así como características geotécnicas actuales en la zona de estudio se emplea el Anjeo 7 de cálculo realizado del “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13” en donde se recogen las comprobaciones realizadas sobre los cajones actuales existentes.

Para el vuelco tendremos como la situación más desfavorable la siguiente:

H	V	MY	MX	fv
50.49	287.69	332.52	2433.39	7.31

Tabla 14. Combinación de acciones más desfavorable para el vuelco y su factor de seguridad. Fuente: Propia

Para el deslizamiento tendremos como la situación más desfavorable la siguiente:

H	V	MY	MX	tg	alfa	fd
47.61	309.56	286.66	2417.09	0.15	8.74	4.06

Tabla 15. Combinación de acciones más desfavorable para el deslizamiento y su factor de seguridad. Fuente: Propia

5.3 Valoración económica

Se realiza una estimación de los posibles costes que tendrán la incorporación de los nuevos cajones al Puerto de Alicante.

Demolición				
ELEMENTO	UNIDAD	MEDICION	PRECIO	TOTAL (€)
Demolición de cajón existente	m3	2401.75	135.36	325100.88
Excavación de material existente y reutilización del mismo	m3	5139.74	35.22	181021.64
Dragado de tierras y escolleras asiento	m3	5633.40	10.27	57855.02
				563977.54
Unidades totales		8.50		
Precio final				4793809.10

Tabla 16 Tabla resumen de los precios de demolición. Fuente: Propia

Oleaje de gravedad				
ELEMENTO	UNIDAD	MEDICIÓN	PRECIO	TOTAL (€)
Escollera 50-250 Kg banqueta	t	5633.40	10.68	60164.68
Escollera 1-2t protección	t	438.80	12.05	5287.54
Hormigón HA-30 em cajones	m3	1742.49	130.98	228231.21
Relleno granular	m3	5894.11	2.01	11847.16
Junta entre cajones	u	1.00	4540.68	4540.68
Hormigón HA-30 losa	m3	986.20	106.34	104872.03
				414943.30
Unidades totales		4.50		
Precio final				1867244.84

Tabla 17 Tabla resumen de los precios para el cajón del régimen medio. Fuente: Propia

Infragravedad				
ELEMENTO	UNIDAD	MEDICIÓN	PRECIO	TOTAL (€)
Escollera 50-250 Kg banqueta	t	5633.40	10.68	60164.68
Escollera 1-2t protección	t	438.80	12.05	5287.54
Hormigón HA-30 em cajones	m3	1742.49	130.98	228231.21
Relleno granular	m3	5120.46	2.01	10292.12
Junta entre cajones	u	1.00	4540.68	4540.68
Hormigón HA-30 losa	m3	986.20	106.34	104872.03
				413388.25
Unidades totales		4.00		
Precio final				1653553.01

Tabla 18. Tabla resumen de los precios para el cajón de infragravedad. Fuente: Propia

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

1. OBJETO, ALCANCE DEL ESTUDIO	26
2. ANTECEDENTES	26
3. ZONA DE ACTUACIÓN	29
4. MORFOLOGÍA	31
5. BASES PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO	32
5.1 Topografía y geotecnia	32
5.2 Calado	33
5.3 Cota de coronación	33
5.4 Oleajes	33
5.5 Nivel del mar	33
5.6 Efecto Sísmico.....	34
6. CARÁCTER DE LA OBRA, CONDICIONES DE PARADA OPERATIVA EN LOS PUERTOS.	34
7. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1. Estado del puerto en el año 2004. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]	27
Figura I.2. Estado del puerto en el año 2007. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]	27
Figura I.3. Estado del puerto en el año 2010. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]	28
Figura I.4. Estado del puerto en el año 2014. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]	28
Figura I.5. Estado del puerto en el año 2018. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]	28
Figura I.6. Ubicación de Alicante en España. [Consulta: 10 de junio de 2020]	29
Figura I.7. Ubicación de Alicante en su provincia. [Consulta: 10 de junio de 2020]	29
Figura I.8. Plano general del puerto de Alicante. Fuente: Alicante Port [Consulta:24 de abril de 2020]	30
Figura I.9. Zona de actuación del estudio. Fuente: Google con modificación propia [Consulta:20 de abril de 2020]	30
Figura I.10. Batimetrías de la zona. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [Consulta:20 de abril de 2020]	31
Figura I.11. Batimetría en el interior del puerto de Alicante. Fuente: Alicante Port [Consulta:24 de abril de 2020]	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1. Parámetros del terreno. Fuente: Alicante Port [Consulta:5 de julio de 2020]	33
Tabla I.2. Tabla de valores de carrera de mar. Fuente: ROM 2.0.....	34
Tabla I.3. Índice IRE. Fuente: ROM 2.0-11.....	35
Tabla I.4. Índice ISA. Fuente: ROM 2.0-11.....	35
Tabla I.5. Resumen de la vida útil, periodo de retorno y probabilidad de fallo por zonas. Fuente: Propia	36
Tabla I.6. Índice IREO. Fuente: ROM 2.0-11	36
Tabla I.7. Índice ISAO. Fuente: ROM 2.0-11	36
Tabla I.8. Tiempos de parada operativa. Fuente: ROM 2.0-11	37
Tabla I.9. Resumen de la probabilidad de fallo, número de paradas y duraciones máximas de las paradas. Fuente: Propia	37
Tabla I.10. Valores umbrales de la altura de ola. Fuente: ROM 2.0-11	38
Tabla I.11. Métodos de verificación. Fuente: ROM 0.0.....	38

1. OBJETO, ALCANCE DEL ESTUDIO

Existen indicios recogidos en estudios previos que indican la posibilidad de agitación en el interior del Puerto de Alicante. La agitación portuaria es un fenómeno dependiente de la geometría y de las características absorbentes/reflejantes de los contornos interiores portuarios conformados habitualmente por muelles y diques. Dicho fenómeno provoca la amplificación de la energía del oleaje que penetra en el puerto por la bocana pudiendo provocar la paralización de operaciones portuaria.

Por otra parte, las ondas de infragravedad ($30 < T[s] < 300$) son señaladas como causas habituales de paradas operativas e incluso de seguridad por resonancia en numerosos puertos, por lo que se evaluará su efecto en el Puerto de Alicante. La práctica inexistencia de mediciones de ondas de largo periodo, unido a la dificultad de obtener soluciones que atenúen el efecto resonante hacen más complejo el análisis de pérdida de operatividad portuaria por resonancia y correspondiente propuesta de soluciones. Las recientes soluciones de muelles ARJ-R basadas en la creación de circuitos disipativos largos en cajones antirreflejantes de tipología Jarlan abren una puerta al planteamiento de soluciones viables para la atenuación de la resonancia portuaria.

La complejidad de las geometrías portuarias y la variabilidad de las características absorbentes/reflejantes de sus contornos hace que los problemas de agitación/resonancia portuaria requieran de modelización física o numérica para la determinación de la problemática asociada. Las herramientas de modelización numérica, basadas generalmente en aproximaciones de tipo elíptico son las habitualmente empleadas para el análisis de la agitación/resonancia portuaria por su precisión, versatilidad y coste.

En el presente Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante se analizará la respuesta de las dársenas del Puerto de Alicante al oleaje y a las ondas de infragravedad, efectuándose las hipótesis que permitan estimar la pérdida de operatividad asociada en el caso de ondas de infragravedad (sin mediciones y por lo tanto sin datos estadísticos). Asimismo, se propondrán soluciones mixtas (onda corta u oleaje y onda de infragravedad mediante estructuras antirreflejantes ARJ-R), evaluándose la mejora obtenida en la operatividad del Puerto de Alicante.

Así pues, el objeto del presente Estudio es el análisis mediante modelización numérica, diagnóstico y la selección de la solución óptima de una serie de propuestas para resolver la potencial problemática de agitación / resonancia optimizando la operatividad del Puerto de Alicante. Complementariamente, se definirá la solución adoptada, efectuándose las verificaciones necesarias para asegurar la viabilidad de dicha solución y evaluándose los beneficios en términos de mejora de operatividad conseguidos.

2. ANTECEDENTES

Con el paso del tiempo el puerto de Alicante ha ido creciendo de manera exponencial, desde 2003 hasta la actualidad se realizaron diversas obras de ampliación del mismo donde se incluyen diversas modificaciones de la geometría, desde la creación de la dársena sur, hasta las distintas modificaciones que se han ido realizando en la dársena central y en la exterior, de tal manera que se han actualizado sus instalaciones para dar salida a los nuevos buques que circulan actualmente por los mares.

En el año 2010 el Puerto de Alicante encargó al CEDEX la realización de un estudio denominado "*Estudio de agitación para el proyecto de remodelación de las instalaciones del Puerto de Alicante*" para poder conocer cuál es la situación actual y futura del interior del puerto si se

realizaran una serie de modificaciones en la misma. Tras la elaboración de este estudio se llegó a la conclusión de que la operatividad en la zona de estudio no cumplía con los valores mínimos recomendados en la ROM. Proporcionando unas soluciones por las cuales aconsejaban la utilización de elementos antirreflejantes. En dicho informe solo se consideraron el régimen medio que incidía de manera directa en la bocana, sin considerar los oleajes de infragravedad y con una geometría desfasada de la actual.

Con las diversas actualizaciones que se han llevado a cabo en el puerto (véase Fig.1-5) se han ido generado una serie de problemas, actualmente existe una queja en la zona por los problemas derivados de la ampliación/modificación de las dársenas en las cuales se produce lo que se considera como los fenómenos de resonancia/agitación lo cual provoca que el oleaje en la zona de amarre de los barcos sea superior al cual marca la norma de la ROM para poder realizar las distintas operaciones de los buques.



Figura I.1. Estado del puerto en el año 2004. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]

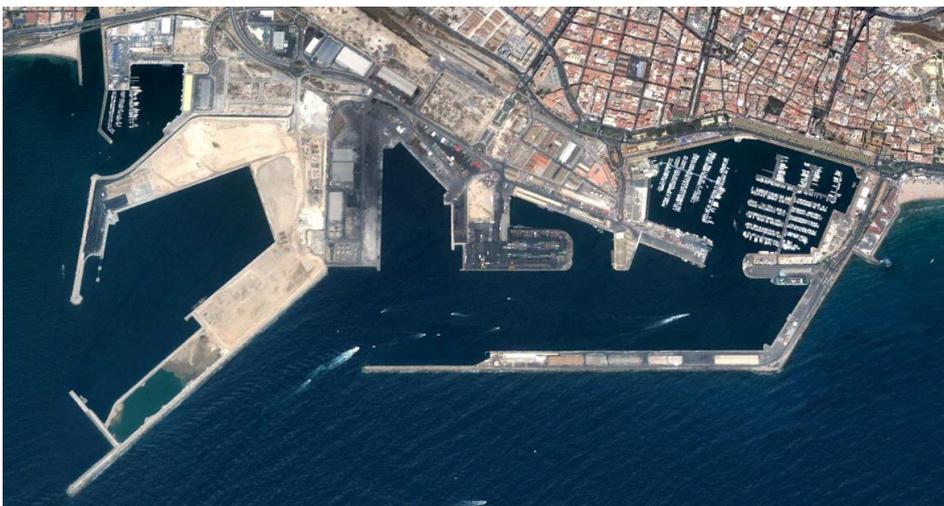


Figura I.2. Estado del puerto en el año 2007. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]



Figura I.3. Estado del puerto en el año 2010. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]

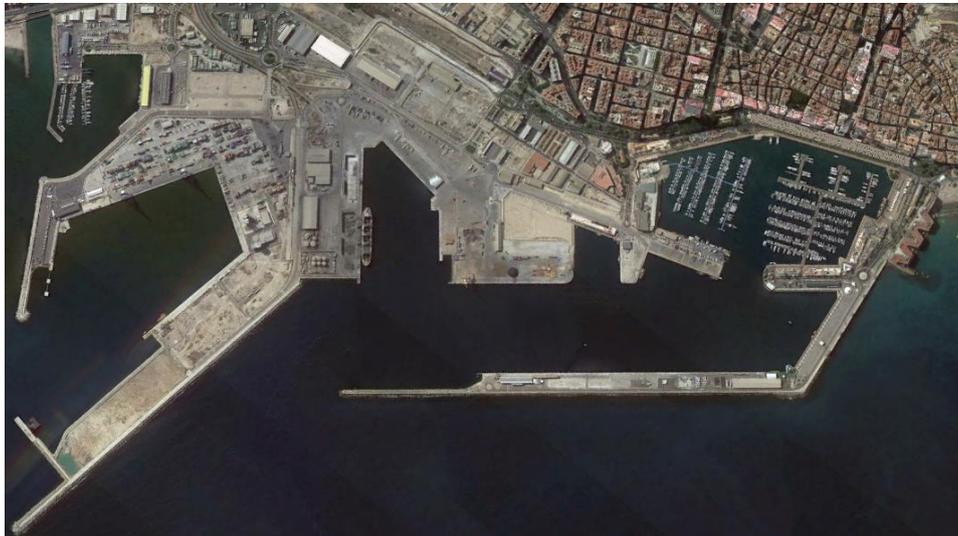


Figura I.4. Estado del puerto en el año 2014. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]



Figura I.5. Estado del puerto en el año 2018. Fuente: Google earth pro [Consulta: 2 de julio de 2020]

Como se han podido apreciar en las imágenes, ha existido una serie de modificaciones desde el 2003 hasta la actualidad. De igual modo la diferencia entre la situación del puerto en el año 2010 al actual es notable, pues la dársena pesquera se eliminó mediante el relleno de su dársena, convirtiéndose en la actualidad en una zona de almacenamiento para los contenedores, de igual modo la dársena central también sufrió una serie de modificaciones en cuanto al morro. Es por ello que el informe que se generó en aquel entonces queda totalmente desfasado siendo necesario verificar el estado actual mediante otro informe de agitación para comprobar si el estado actual ha mejorado respecto a la situación del 2010.

3. ZONA DE ACTUACIÓN

La zona de nuestro estudio se encuentra en la capital de la provincia de Alicante. La ciudad de Alicante se halla a orillas del Mediterráneo, en una planicie sorteada por una serie de colinas y elevaciones.



Figura I.6. Ubicación de Alicante en España. [Consulta: 10 de junio de 2020]



Figura I.7. Ubicación de Alicante en su provincia. [Consulta: 10 de junio de 2020]

En la propia ciudad es donde se encuentra nuestro puerto de Alicante, el cual cuenta con actividades tanto comerciales y de viajeros como pesca y recreo. Desde sus inicios ha sido uno de los pilares del crecimiento económico, cultural y estratégico de la ciudad. Actualmente está recibiendo un gran impulso en el transporte turístico, en este caso hablamos de los cruceros los

cuales cada vez son más los que realizan escalas en el Puerto de Alicante, pero sin descuidar sus actividades comerciales tanto de mercancías generales como de graneles sólidos.

El Puerto de Alicante se divide en las siguientes dársenas y muelles, las cuales cada una de ellas desempeña una actividad propia.

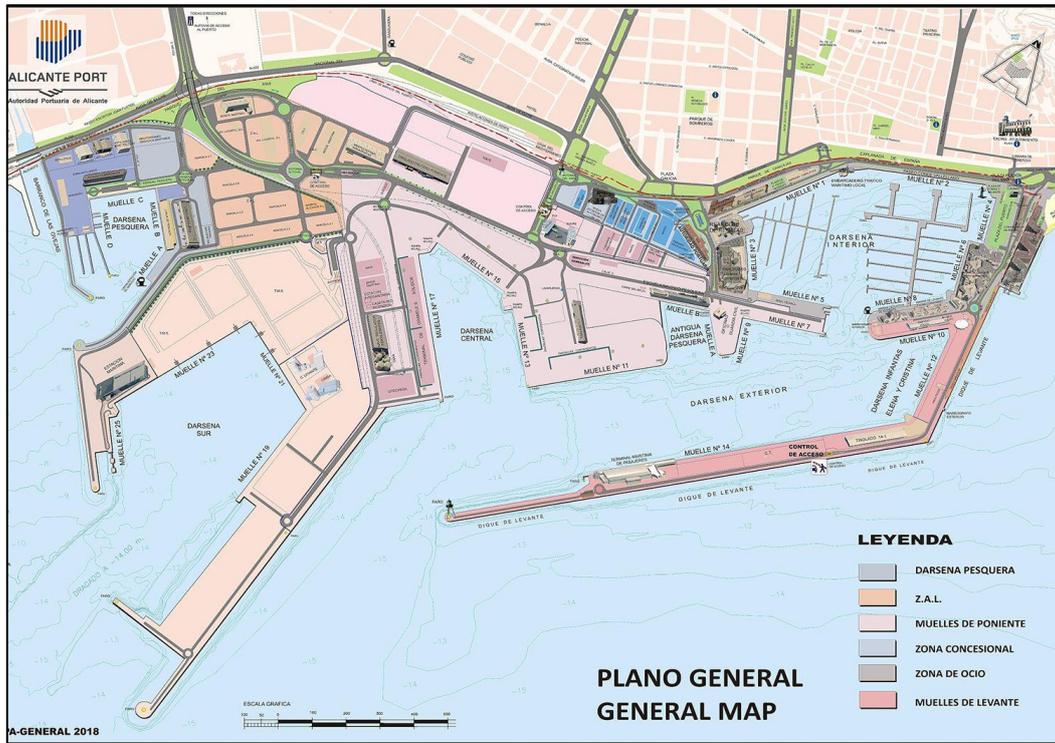


Figura I.8. Plano general del puerto de Alicante. Fuente: Alicante Port [Consulta:24 de abril de 2020]

A pesar de que el puerto se divide en varias dársenas, algunas de ellas con bocanas de entrada distintas, se pretende realizar el estudio de agitación en toda la zona con la excepción de la dársena Sur y la nueva dársena pesquera. Quedando el mapa de la siguiente manera:



Figura I.9. Zona de actuación del estudio. Fuente: Google con modificación propia [Consulta:20 de abril de 2020]

Esto es debido a que el oleaje que penetra en la dársena sur como en la pesquera solo corresponde al oleaje del sur y este suele estar bastante limitado por la situación de Tabarca la cual absorbe gran parte de este oleaje disminuyéndolo.

4. MORFOLOGÍA

Para la realización de este estudio se ha utilizado la batimetría proporcionada por la dirección general de costas, dicha batimetría es referente a un levantamiento que se realizó en 2006, el cual va desde la línea de costa hasta la batimetría 40 m. Como es lógico la batimetría con la que se ha trabajado dista de 14 años de diferencia con la actualidad, sin embargo, debido a la imposibilidad de poder obtener una más actual se decidió el empleo de la misma, pero con la actualización de la zona del puerto.

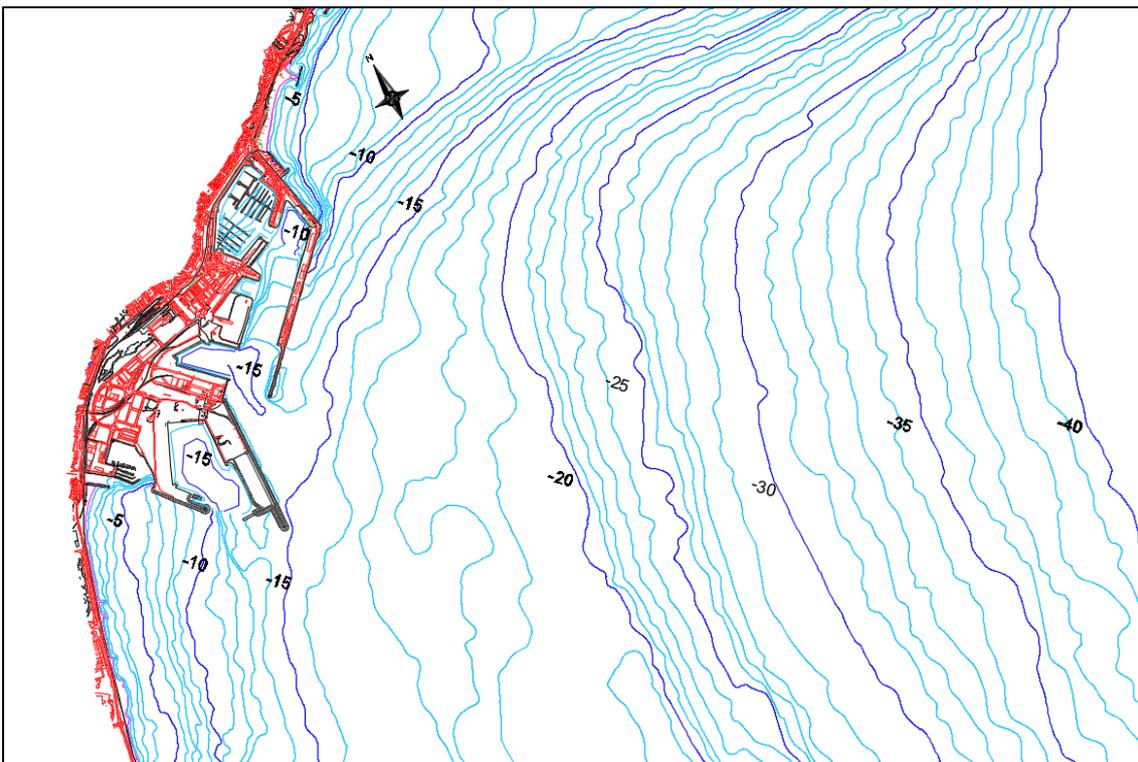


Figura I.10. Batimetrías de la zona. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [Consulta:20 de abril de 2020]

Como se puede ver, el propio puerto no está actualizado y no se incluyen las batimétricas de su interior, para poder resolver este problema, se actualizó los planos del propio puerto. Gracias a que se obtuvieron su actualización. En cuanto a las batimetrías de la zona interior nos basamos en el informe que generó la autoridad portuaria para la elaboración del muelle 13.



Figura I.11. Batimetría en el interior del puerto de Alicante. Fuente: Alicante Port [Consulta:24 de abril de 2020]

5. BASES PARA LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO

En este apartado se va a recoger la información necesaria de los distintos condicionantes locales como físicos del puerto para poder definir los siguientes apartados.

En primer lugar, la información que se recoge es la siguiente:

- Topografía y geotecnia
- Calado
- Cota de coronación
- Oleajes
- Nivel del mar
- Efecto sísmico

5.1 Topografía y geotecnia

En cuanto a la información de la topografía y la batimetría junto con la información geotécnica se ha recurrido a los informes geotécnicos recogidos en Alicante Port de anteriores proyectos constructivos que se realizaron en la zona como pueden ser los siguientes:

- Anejo nº3 del proyecto de “*Terminales para graneles Sólidos en Poniente*”
- Anejo geotécnico (1.2.2) del concurso de “*Proyecto y obra para la construcción del muelle nº 15 situado en la Dársena central de la Unidad portuaria de poniente de Alicante*”
- Informe geotécnico “*Campaña de prospección geotécnica para la ampliación de los muelles nº 11 y nº 7+9 del Puerto de Alicante*”
- Anejo 2 del informe geotécnico del “*Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante*”

En todos y cada uno de ellos se realizaron distintos sondeos como penetraciones dinámicas donde recogieron información del suelo presente. En el anejo 2 del “*Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante*” se recoge una tabla a modo resumen de los parámetros del terreno:

	c' (KPa)	$\varphi(^{\circ})$	Fuente informativa
Rellenos existentes	0	35°	Experiencia
Escollera de banqueteta proyectada	0	40°	Experiencia
Pedraplén	0	40°	Experiencia
Arcillas	16	23°	Triaxial CU (\bar{u})
Gravas y arenas	0	38°	SPT's

Tabla I.1. Parámetros del terreno. Fuente: Alicante Port [Consulta:5 de julio de 2020]

5.2 Calado

Se mantendrá el calado que existe en la actualidad sin la realización de ningún tipo de modificación, dicho calado varía según la zona en la que se encuentre el muelle, pero el calado máximo es de 13 metros respecto el cero del Puerto de Alicante, mientras que el mínimo puede rondar los 8 metros de profundidad respecto el cero del Puerto de Alicante.

5.3 Cota de coronación

La cota de coronación de los nuevos muelles se mantendrá a los +2.6 metros respecto el cero del puerto de alicante, tal como están situados el resto de los muelles actuales.

5.4 Oleajes

La información de los oleajes que se va a recoger se encuentra en las boyas de información que se recogen en la página de Puertos de Estado. Esta información se desarrollará más detenidamente en el anejo del clima marítimo del presente estudio en donde se indicará las boyas utilizadas, así como la tipología de las mismas.

5.5 Nivel del mar

Debido a que no existe un mareógrafo en la zona del Puerto de Alicante, la información se puede obtener de la ROM 2.0 en donde la tabla 4.6.2.3 recogen valores representativos de los niveles de agua de los principales puertos españoles, en este caso el más próximo y con condiciones similares es el puerto de Valencia. En donde:

TABLA 4.6.2.3. VALORES REPRESENTATIVOS ESTIMADOS DE LOS NIVELES DE AGUA EN PUERTOS ESPAÑOLES RESPECTO AL NIVEL MEDIO DEL MAR (combinada marea astronómica+meteorológica) (en m) ¹⁾							
PUERTO	NIVEL DE LAS AGUAS	Valores Extremales			Valores medios		Altura del Nivel Medio del Mar respecto del Cero del Puerto (m) ²⁾
		T= 500 años	T=50 años	T=5 años	Probabilidad de no excedencia del 85 %	Probabilidad de no excedencia del 50 %	
VALENCIA	Nivel alto	+ 0.96	+ 0.85	+ 0.74	+ 0.16	+ 0.13	+0,07
	Nivel bajo	- 0.78	- 0.74	- 0.70	- 0.16	- 0.13	
	Máximo rango de variación de la marea astronómica ³⁾	0.41 (UA = 0.18)					

NOTAS
 UA: Unidad de altura. Es la semiapertura, en metros, de la media de las mareas astronómicas vivas equinocciales, a la que corresponde un coeficiente de marea C: 100. A la máxima marea astronómica viva equinoccial le corresponde un coeficiente 118.
 1) Valores representativos obtenidos considerando el intervalo de confianza del 90%.
 2) Nivel medio obtenido de datos registrados por la red de mareógrafos de puertos (REDMAR - Puertos del Estado).
 3) Amplitud, en metros, de la máxima marea viva equinoccial.

Tabla I.2. Tabla de valores de carrera de mar. Fuente: ROM 2.0

Como se puede ver, en nuestro caso nos interesa los valores medios los cuales son muy pequeños, en el caso de Alicante dichos valores son aún menores, es por ello que adoptamos un único valor del mar, en este caso será nivel cero del Puerto de Alicante. De esta manera se puede simplificar los cálculos posteriores, sin la necesidad de realizarlo tanto para baja mar como para pleamar, los cuales saldrían unos resultados extremadamente parecidos por la escasa diferencia entre unos y otros.

5.6 Efecto Sísmico

Según la norma sismo resistente NCSE-02 se debe de incluir los cálculos sísmicos para aquellos casos en los que la aceleración sísmica básica sea superior a los 0,04g en nuestro caso tendremos un valor de 0,14g por lo que será necesario considerar dicha acción sísmica. Sin embargo, debido a que se trata de un estudio de agitación no se pretende realizar ningún tipo de comprobación estructural, pues este queda fuera del ámbito de este estudio.

6. CARÁCTER DE LA OBRA, CONDICIONES DE PARADA OPERATIVA EN LOS PUERTOS.

Como se indica en el título de este apartado es necesario conocer estos requerimientos previos para saber el periodo de retorno y así poder realizar los cálculos de altura de ola, así como para conocer las condiciones de operatividad. Para ello nos apoyaremos en la ROM 2.0-11 obras de atraque y amarre, la elección de esta es debido a que realizaremos un análisis en el interior de nuestro puerto para el oleaje, descartando con ello la ROM 1.0-09 para obras de abrigo, pues como bien indica su nombre no se pretende la realización de ningún elemento de defensa. No obstante, la podremos tener en consideración en los apartados siguientes.

Mediante el carácter general, procedimiento indicado en la ROM 2.0-11 se calcularán dichos apartados por medio del cálculo la repercusión económica IRE y la repercusión social y ambiental ISA.

En las tablas siguientes se recogen los valores tanto del IRE como del ISA proporcionados por la ROM 2.0-11 según tipo de puerto.

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE IRE ⁴		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V _{MIN}) ⁴ (AÑOS)	
COMERCIAL	Graneles líquidos	$r_3 (r_2)^1$	Alto (Medio) ¹	50 (25) ¹	
	Graneles sólidos	$r_3 (r_2)^1$	Alto (Medio) ¹	50 (25) ¹	
	Mercancía general	r_2	Medio	25	
	Pasajeros	Ferris	$r_3 (r_2)^2$	Alto (Medio) ²	50 (25) ²
		Cruceros	r_2	Medio	25
PESQUERO		r_1	Bajo	15	
NAÚTICO-DEPORTIVO		r_1	Bajo	15	
INDUSTRIAL		$r_2 (r_3)^3$	Medio (Alto) ³	25 (50) ³	
MILITAR		r_3	Alto	50	

(1) El índice IRE podrá reducirse a r_2 cuando el granel sólido ó líquido no esté relacionado con el suministro energético o con materias primas minerales estratégicas y no se pueda disponer de sistemas alternativos para su manipulación y almacenamiento.
(2) El índice IRE podrá reducirse a r_2 cuando se pueda disponer de instalaciones alternativas.
(3) El índice IRE se elevará a r_3 cuando la industria a la que sirve la obra de atraque esté asociada con la producción energética o con la transformación de materias primas minerales estratégicas.
(4) Los índices r_1 y r_2 de la tabla se elevarán un grado por cada 25 M€ de inversión inicial de la obra de atraque.

Tabla I.3. Índice IRE. Fuente: ROM 2.0-11

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE ISA ²	$P_{f,ELU}$ ^{2,3}	$P_{f,ELS}$ ^{2,3}		
COMERCIAL	Graneles líquidos	Mercancías peligrosas ¹	s_3	Alto	0,01	0,15
		Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0,10	0,30
	Graneles sólidos	Mercancías peligrosas ¹	s_3	Alto	0,01	0,15
		Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0,10	0,30
	Mercancía general	s_2	Bajo	0,10	0,30	
	Pasajeros	s_2	Bajo	0,10	0,30	
PESQUERO		s_2	Bajo	0,10	0,30	
NAÚTICO-DEPORTIVO		s_2	Bajo	0,10	0,30	
INDUSTRIAL	Mercancías peligrosas ¹	s_3	Alto	0,01	0,15	
	Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0,10	0,30	
MILITAR		s_3	Alto	0,01	0,15	

(1) Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluidas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989).
(2) En el caso de que en la obra de atraque o en las proximidades de la misma esté previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas...) depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de atraque, se considerará un índice ISA (s_3) muy alto ($p_{f,ELU} = 0,0001$, $p_{f,ELS} = 0,07$).
(3) En general, los estudios de optimización económica de las obras de atraque conducen a la conveniencia de proyectar obras mucho más seguras que los umbrales mínimos recomendados en esta tabla, salvo cuando la acción predominante sea el oleaje, el viento o el sismo.

Tabla I.4. Índice ISA. Fuente: ROM 2.0-11

	Vida útil	IRE	ISA	Pf,ELU	Pf,ELS	PERIODO DE RETORNO
Muelle graneles solidos	50	r3 (alto)	s2 (bajo)	0.1	0.3	475 años (ELU) 141 años (ELS)
Muelle mercancías generales	25	r2 (medio)	s2 (bajo)	0.1	0.3	238 años (ELU) 71 AÑOS (ELS)
Muelle crucero	25	r2 (medio)	s2 (bajo)	0.1	0.3	238 años (ELU) 71 AÑOS (ELS)
Muelle Náutico-Deportivo	15	r1 (bajo)	s2 (bajo)	0.1	0.3	143 años (ELU) 43 AÑOS (ELS)

Tabla I.5. Resumen de la vida útil, periodo de retorno y probabilidad de fallo por zonas. Fuente: Propia

Se debe de mencionar que la vida útil para el muelle náutico deportivo se prevé aumentarlo a los 25 años de vida útil, pues la diferencia que existirá es mínima y se podrá simplificar el problema del lado de la seguridad.

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE IREO		$r_{E,ELU} = 1 - P_{f,ELU}$	
COMERCIAL	Graneles líquidos	r_{o1}	Bajo	0,85	
	Graneles sólidos	r_{o1}	Bajo	0,85	
	Mercancía general	Tráficos regulares	$r_{o3}^{1,2}$	Alto	0,99
		Tráficos tramp	$r_{o2}^{1,2}$	Medio	0,95
	Pasajeros	$r_{o3}^{1,2}$	Alto	0,99	
PESQUERO		r_{o3}	Alto	0,99	
NAÚTICO-DEPORTIVO		r_{o3}	Alto	0,99	
INDUSTRIAL		r_{o1}	Bajo	0,85	
MILITAR		r_{o3}	Alto	0,99	

(1) En el caso de que los tráfico sean sólo en periodo estival, los índices obtenidos se reducirán un grado.
(2) En el caso de que la intensidad de la demanda sea poco intensiva (grado de ocupación del atraque $\phi < 40\%$. Ver apartado 3.2.1.4) los índices obtenidos se reducirán un grado.

Tabla I.6. Índice IREO. Fuente: ROM 2.0-11

USO	TIPO DE MERCANCÍA	ÍNDICE ISAO		N_m
COMERCIAL	Graneles líquidos	s_{o1}	No significativo	10
	Graneles sólidos	s_{o1}	No significativo	10
	Mercancía general	s_{o1}	No significativo	10
	Pasajeros	s_{o1}	No significativo	10
PESQUERO		s_{o2}	Bajo	5
NAÚTICO-DEPORTIVO		s_{o2}	Bajo	5
INDUSTRIAL		s_{o1}	No significativo	10
MILITAR		s_{o1}	No significativo	10

Tabla I.7. Índice ISAO. Fuente: ROM 2.0-11

ÍNDICE IREO	ÍNDICE ISAO	
	No significativo	Bajo
Bajo	24 horas	12 horas
Medio	12 horas	6 horas
Alto	6 horas	3 horas

Tabla I.8. Tiempos de parada operativa. Fuente: ROM 2.0-11

	IREO	ISAO	Rf,ELO	Nm	Duraciones máximas de paradas
Muelle graneles solidos	r01 (bajo)	s01 (No signif.)	0.85	10	24 h
Muelle mercancías generales	r03 (alto)	s01 (No signif.)	0.99	10	6 h
Muelle crucero	r03 (alto)	s01 (No signif.)	0.99	10	6 h
Muelle Náutico-Deportivo	r03 (alto)	s02 (bajo)	0.99	5	3 h

Tabla I.9. Resumen de la probabilidad de fallo, número de paradas y duraciones máximas de las paradas. Fuente: Propia

La ROM 2.0-11 nos proporciona cuales son los valores umbrales de los agentes climaticos y oceano-meteorológicos limitativos de modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre.

Se considerará que quedará paralizado la terminal de graneles cuando supere la altura de ola de $H_s = 1$ m para sentido longitudinal y $H_s = 0.8$ m para sentido transversal, de igual modo para mercancías generales. Para la terminal de cruceros será de $H_s = 1$ m para sentido longitudinal y $H_s = 0.7$ m para sentido transversal. Para las embarcaciones deportivas atracadas en los muelles y pantalanes $H_s = 0.4$ m para sentido longitudinal y $H_s = 0.2$ m para sentido transversal.

A. MUELLES Y PANTANALES	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_c, 1 \text{ min}$	Altura de la ola H_z
1. Maniobra de atraque de buques			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	17,0 m/s	1,0 m/s	2,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	10,0 m/s	0,1 m/s	1,5 m
2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle			
■ Petróleos			
< 30.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
30.000-200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,0 m
> 200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
Descargando	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	22 m/s	1,5 m/s	1,2 m
> 60.000 m ³	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
■ Mercantes de carga general. Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1,5 m/s	0,6 m
Acciones en sentido transversal al muelle			
■ Petroleros			
< 30.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	0,7 m/s	1,0 m
Descargando	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	16 m/s	0,5 m/s	0,8 m
> 60.000 m ³	16 m/s	0,5 m/s	1,0 m
■ Mercantes de carga general. Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	0,7 m/s	0,4 m
3. Permanencia de buques en muelle (5)			
■ Petroleros y transportadores de Gases Licuados			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2,0 m/s	3,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	25 m/s	1,0 m/s	2,0 m
■ Transatlánticos y Cruceros (2)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,7 m
■ Embarcaciones deportivas (2)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,2 m
■ Otro tipo de buques			
	Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles, compatibles con configuraciones de amarre que garanticen la seguridad del buque		

Tabla I.10. Valores umbrales de la altura de ola. Fuente: ROM 2.0-11

Por último, los métodos de verificación para los distintos modos de fallo adscritos al Estado Límite Último como al Servicio de Explotación del mismo frente a parada operativa son los siguientes:

IRE	ISA			
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
r ₁	[1]	[2]	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]
r ₂	[2]	[2]	[2] y [3] o [4]	[2] y [3] o [4]
r ₃	[2] y [3] o [4]			

Tabla I.11. Métodos de verificación. Fuente: ROM 0.0

En nuestro caso según el tramo que se vaya a realizar la modificación puede incluirse los siguientes métodos:

1. Métodos nivel I
 - Coeficientes de seguridad globales [1]
 - Coeficientes parciales [2]
2. Métodos nivel II y III
 - Momentos estadísticos y técnicas de optimización, nivel II [3]
 - Integración y simulación numérica, Nivel [4]

En el anejo de justificación de la solución adoptada se especificará cuál de los distintos métodos se van a emplear, pues dependiendo de si se tratan los muelles graneleros, los muelles de mercancías generales o los muelles destinados para los cruceros, tendrán un método de empleo diferente.

7. BIBLIOGRAFÍA

AUTORIDAD PORTUARIA DE ALICANTE. *Plano del puerto.*

<https://www.puertoalicante.com/el-puerto/caracteristicas-tecnicas/plano-del-puerto/>

[Consulta:24 de abril de 2020]

AUTORIDAD PORTUARIA DE ALICANTE. *“Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante”.*

<https://www.puertoalicante.com/wp-content/uploads/2017/01/> [Consulta:24 de abril

de 2020]

CARRILLO C. y MANUEL J. (2010). *“Estudio de agitación para el proyecto de remodelación de las instalaciones del Puerto de Alicante”* Madrid: CEDEX

<http://vopac.cedex.es/opac/abnetcl.exe/O5106/ID77bc3fd5/NT1> [Consulta: 16 de abril

de 2020].

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. *Ecocartografía de Alicante.*

<https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion->

[costa/ecocartografias/ecocartografia-alicante.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-alicante.aspx) [Consulta: 20 de abril de 2020].

ROM 0.0 (2001). *Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.* Madrid: Puertos del Estado.

ROM 1.0-09 (2009). *Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo.* Madrid: Puertos del Estado.

ROM 2.0-11 (2012). *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de Atraque y Amarre.* Madrid: Puertos del Estado.

CAPÍTULO II: CLIMA MARÍTIMO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	44
2. FUENTE DE DATOS.....	44
2.1 REDEXT.....	46
3. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN EXTREMAL DEL OLEAJE	46
4. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN MEDIO DEL OLEAJE	48
5. REFRACCIÓN INVERSA	53
6. NIVEL DEL MAR.	55
7. PROPAGACIÓN.....	56
7.1 PROPAGACIÓN DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA LA COTA -40	56
7.2 PROPAGACIÓN MEDIANTE EL SMC HASTA BOCANA	58
7.3 MODELIZACIÓN	61
8. RESULTADOS.....	65
9. OLEAJE DE INFRAGRAVEDAD	66
10. CONCLUSIONES	67
11. BIBLIOGRAFÍA.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1. Ubicación de las boyas de referencia. Fuente: Puertos del Estado. [Consulta:24 de abril de 2020]	44
Figura II.2. Zonificación del litoral. Fuente: ROM 0.3-91	45
Figura II.3. Direcciones de incidencia. Fuente: Google Earth Pro con elaboración Propia [Consulta:10 de abril de 2020]	45
Figura II.4. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs de la Boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL.....	47
Figura II.5. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp de la Boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL.....	47
Figura II.6. Régimen medio de Hs, dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL.....	50
Figura II.7. Estadísticos básicos para Hs de la boya de Alicante. Fuente: Propia	50
Figura II.8. Régimen medio de Tp, dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL.....	51
Figura II.9. Estadísticos básicos para Tp de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL	51
Figura II.10. Zonificación del litoral según Atlas. Fuente: Atlas	55
Figura II.11. Niveles de referencia para el nivel del mar. Fuente: Atlas.....	55
Figura II.12. Efecto de la refracción del oleaje. Fuente: Guía técnica de los estudios litorales..	57
Figura II.13. Esquemas de contornos que se deben evitar. Fuente: Manual usuario MOPLA....	58
Figura II.14. Zonas válidas de propagación y límite de ángulos. Fuente: Manual usuario MOPLA.	59
Figura II.15. Subdivisión de la malla principal. Fuente: Manual OLUCA-SP.	60
Figura II.16. Ángulo de incidencia de los oleajes. Fuente: Propia.....	61
Figura II.17. Zona de estudio en el SMC. Fuente: Propia	62
Figura II.18. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia	63
Figura II.19. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia	63
Figura II.20. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia	64
Figura II.21. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1. Resumen de los valores extrémos según dirección. Fuente: Propia	48
Tabla II.2. Probabilidad de excedencia según altura de ola y dirección. Fuente: Propia.....	52
Tabla II.3. Relación entre altura de ola y periodo según dirección. Fuente: Propia	53
Tabla II.4. Coeficientes de refracción según boya y dirección. Fuente: ROM 0.3-91.....	53
Tabla II.5. Dimensionamiento máximo de las matrices, número de divisiones. Fuente: Manual MOPLA.....	61
Tabla II.6. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ENE. Fuente: Propia.....	65
Tabla II.7. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección E. Fuente: Propia	65
Tabla II.8. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ESE. Fuente: Propia	65
Tabla II.9. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SE. Fuente: Propia	65
Tabla II.10. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SSE. Fuente: Propia ...	65
Tabla II.11. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección S. Fuente: Propia	66
Tabla II.12. Resumen de los oleajes de infragravedad. Fuente: Propia	66

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de agitación y resonancia portuaria, objeto del presente *Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante* requiere de la caracterización de las acciones forzadoras, oleaje y ondas de infragravedad. La probabilidad de ocurrencia de dichas acciones permitirá el posterior análisis de pérdida potencial de operatividad del Puerto de Alicante.

La obtención del clima marítimo a partir de los datos registrados por Puertos del Estado y su posterior propagación hasta las proximidades del puerto se efectuará en dos fases: la primera, por aproximación teórica mientras las condiciones de batimetría recta y paralela lo permitan; la segunda, mediante modelización numérica. El clima marítimo caracteriza las condiciones del oleaje y probabilidades, siendo especialmente relevantes para el posterior análisis de operatividad las asociadas a condiciones en el año medio o *régimen medio*.

Para el caso de las ondas de infragravedad, la carencia de datos disponibles, unido a las escasas referencias en la literatura científica obligan a la adopción de hipótesis simplistas que queden del lado de la seguridad, con resultados estimados con las expresiones teórico-empíricas existentes en base al régimen medio obtenido previamente.

El objeto del presente apartado Clima Marítimo y Ondas de Infragravedad se concreta en la obtención del régimen medio del clima marítimo en las proximidades de la bocana del Puerto de Alicante y la caracterización de las ondas de infragravedad asociadas a dicho clima marítimo.

2. FUENTE DE DATOS

Para poder realizar dicho estudio se ha usado la información proporcionada por el sistema de datos oceanográficos de Puertos del Estado. Dicho banco consta de dos grupos, la red de datos simulados SIMAR y la red de boyas costeras la REDCOS que en nuestro caso emplearemos la REDEXT.

Debido a que existe una boya REDCOS muy cerca de nuestra zona de estudio, se emplearán los datos proporcionados por esta boya la cual se denomina boya de Alicante. Es preferible el empleo de esta antes que los del punto SIMAR pues estos últimos son datos simulados y no proceden de medidas directas de boyas.



Figura II.1. Ubicación de las boyas de referencia. Fuente: Puertos del Estado. [Consulta:24 de abril de 2020]

Las boyas que se emplean se caracterizan por estar ubicadas en las proximidades de la instalación portuaria, estando fondeadas a menos de los 100 metros de profundidad, esto nos genera que nuestro oleaje se vea afectado por el perfil de la costa como pudieran ser los efectos de refracción y asomeramiento inducidos por el fondo marítimo. Por lo que para poder tener caracteriza nuestro oleaje en aguas profundas se empleará la ROM 0.3-91 de acciones Medioambientales I: Oleaje. Con la cual podremos trasladar el oleaje que se vea afectado por estos efectos a aguas profundas. La ROM 0.3-91 para poder caracterizar el clima Marítimo divide la zona en 10 partes distintas, definidas a partir de zonas climáticas homogéneas. Nuestra zona de estudio queda definida por el área VII.

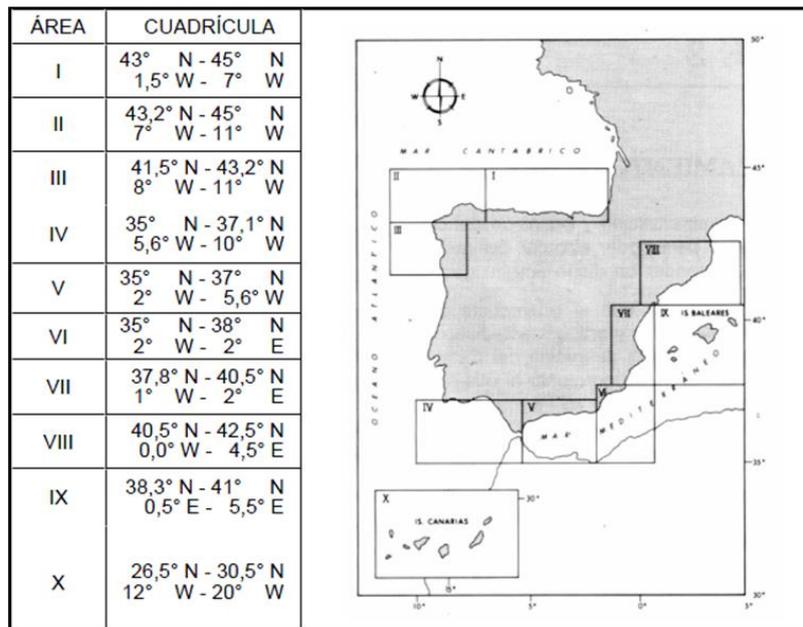


Figura II.2. Zonificación del litoral. Fuente: ROM 0.3-91

En cuanto a las direcciones que se van a considerar son del ENE al S pues, nuestra zona está limitada por el cabo de las huertas y por la isla de Tabarca.

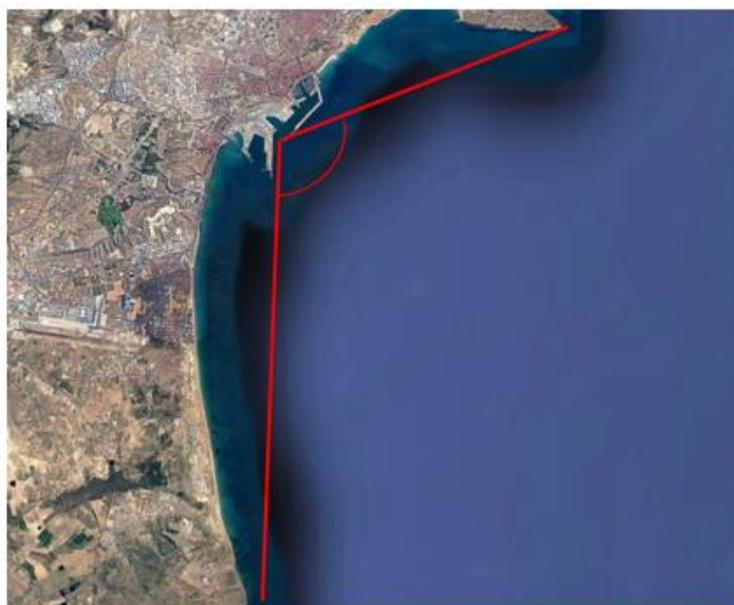


Figura II.3. Direcciones de incidencia. Fuente: Google Earth Pro con elaboración Propia [Consulta:10 de abril de 2020]

2.1 REDEXT.

Tal como define Puertos del Estado “El conjunto de datos REDEXT está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas de Aguas Profundas (Red Exterior). Esta red unifica, amplia y actualiza las antiguas redes RAYO y EMOD. Las boyas de esta red se caracterizan por estar fondeadas lejos de la línea de costa a gran profundidad (más de 200 metros de profundidad). Por tanto, las medidas de oleaje de estos sensores no están perturbadas por efectos locales. Por ello, cada boya proporciona observaciones representativas de grandes zonas litorales.”

La Red Exterior está compuesta por boyas de tipo Wavescan y SeaWatch. Las boyas de tipo SeaWatch miden tanto Oleaje como parámetros Atmosféricos y Oceanográficos. Las boyas de tipo Wavescan solo miden Oleaje y variables Atmosféricas. Desde el 2003 miden tanto el escalar como la dirección gracias a un aporte de un sensor.

La boya nuestra (1616) tiene una cadencia de 60 min y se encuentra a una profundidad de 52 m. Con un sensor tipo Océ-Met y modelo SeaWatch.

3. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN EXTREMAL DEL OLEAJE

Como se indica en el título de este apartado es necesario conocer estos requerimientos previos para saber el periodo de retorno y así poder realizar los cálculos de altura de obra. Se incluye la caracterización del régimen extremal por si fuera necesario conocer cuál es la altura de ola y su periodo asociado extremal.

Para caracterizar el régimen extremal en la costa de la playa objeto de estudio, emplearemos la información correspondiente a la Boya de Alicante, proporcionada por Puertos del Estado para régimen escalar extremal. A partir de esta y con el periodo de retorno anteriormente calculado ($T_R = 475$ años), el cual es el más significativo, determinaremos la altura de ola significativa registrada en dicha boya, H_S .

La obtención de los anteriores datos se hará utilizando los datos obtenidos por el programa CAROL V1.0 del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y Costas de la Universidad de Cantabria.

Este programa informático procesa los datos y realiza el ajuste de extremos por el método de máximos anuales de Gumbel, cuyos parámetros vienen dados en cada una de las gráficas generadas automáticamente por el programa.

Dicho ajuste se rige por la siguiente formulación:

$$T_R = \frac{1}{1 - F(X)}$$
$$F(X) = e^{-e^{-\left(\frac{X-\mu}{\psi}\right)}}$$

Trabajando con ambas expresiones, y despejando el parámetro “X”, obtenemos:

$$X = \mu - \psi \cdot \left[\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right) \right]$$

Siendo:

T_R : periodo de retorno

X: parámetro a ajustar (H_S o T_P)

μ, Ψ : parámetros de ajuste

El periodo de retorno a utilizar será el calculado en el apartado anterior, $T_R = 475$ años.

Análisis de la altura de ola significativa, escalar:

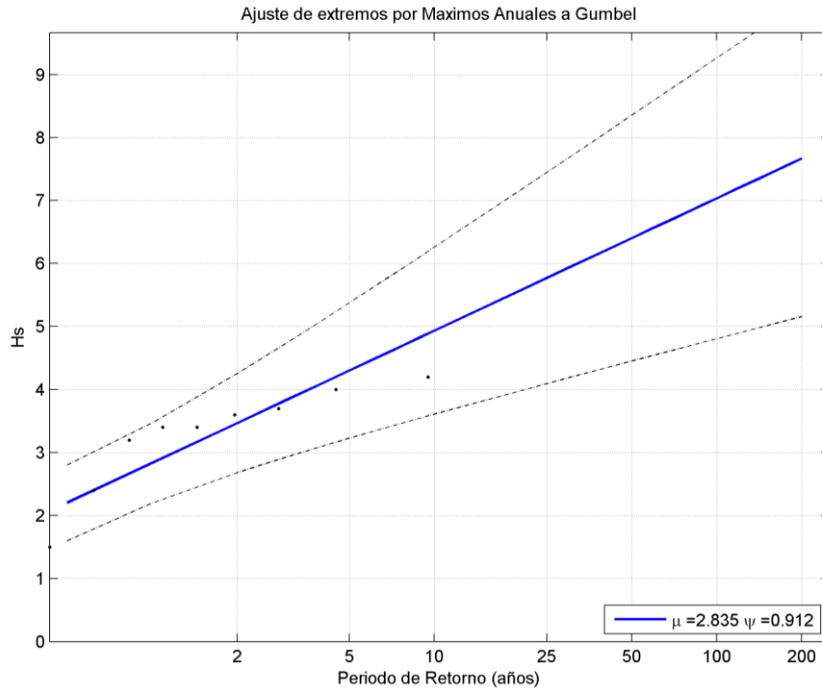


Figura II.4. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para H_s de la Boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL.

$$H_s = 2.835 - 0.912 \cdot \left[\ln \cdot \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{475} \right) \right) \right] = 8.45 \text{ metros}$$

Análisis del periodo pico, escalar:

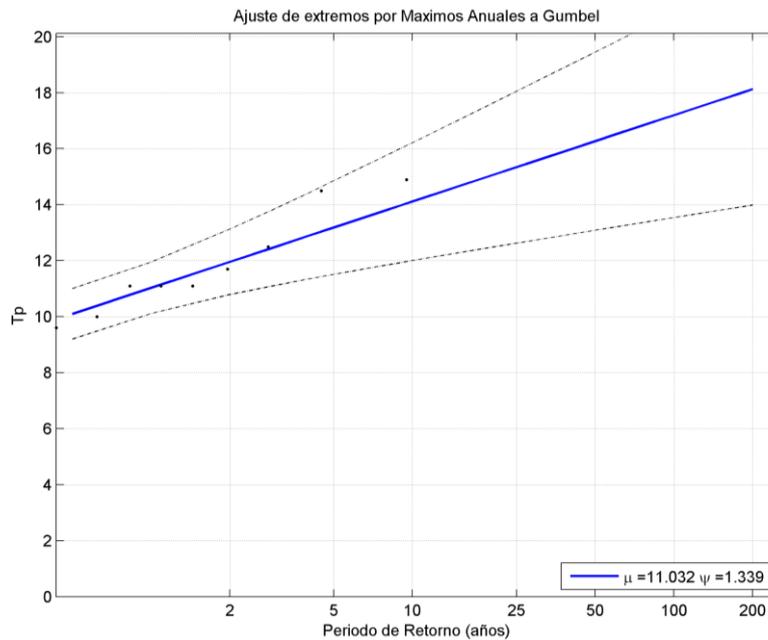


Figura II.5. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para T_p de la Boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL.

$$T_p = 11.032 - 1.339 \cdot \left[\ln \cdot \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{500} \right) \right) \right] = 19.28 \text{ segundos}$$

DIR	Hs (m)	Tp (s)
ENE	8.09	26.56
E	8.70	23.44
ESE	7.10	19.89
SE	4.13	18.42
SSE	3.48	18.78
S	2.98	18.61

Tabla II.1. Resumen de los valores extrémos según dirección. Fuente: Propia

4. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN MEDIO DEL OLAJE

Se puede definir como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que nos podemos encontrar con mayor probabilidad. Relaciona los diversos niveles de cualquier magnitud del oleaje con la probabilidad de que dichos niveles no sean superados en un periodo de tiempo igual al año medio.

Para poder caracterizar el oleaje del régimen medio se va a emplear el programa CAROL V1.0 del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y Costas de la Universidad de Cantabria, por el cual mediante los datos proporcionados por Puertos del Estado se ha realizado análisis para obtenerlo.

Carol puede emplear los siguientes ajustes para el régimen medio:

Distribución Normal

$$y = F(x) = \Phi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dx; -\infty < x < \infty$$

Donde

$\Phi(z)$ es la función de distribución de la variable z normal estándar N (0,1)

μ es la media de la distribución normal

σ es la desviación típica de la distribución normal

Distribución Lognormal

$$y = F(x) = \Phi \left(\frac{\log(x) - \mu^*}{\sigma^*} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^*} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(x) - \mu^*}{\sigma^*} \right)^2 \right] dx; -\infty < x < \infty$$

Donde

$\Phi(z)$ es la función de distribución de la variable z normal estándar N (0,1)

μ^* es la media de la distribución normal original (parámetro de localización)

σ^* es la desviación típica de la distribución normal original (parámetro de escala)

Distribución Gumbel de Máximos

$$y = F(x) = \exp \left[- \exp \left(\frac{-(x - \lambda)}{\delta} \right) \right]; -\infty < x < \infty$$

Donde

λ es el parámetro de localización (es la moda de la distribución)

δ es el parámetro de escala (es proporcional a la desviación típica de la distribución)

Distribución Weibull de Mínimos

$$y = F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - \lambda}{\delta} \right)^\beta \right]; -\infty < x < \lambda$$

Donde

λ es el parámetro de localización (es el valor posible de la variable aleatoria x)

δ es el parámetro de escala

β es el parámetro de forma

Con todo ello se realizan los distintos ajustes, para saber si se trata de un buen ajuste o no se empleará el R-cuadrado.

En primer lugar, se realiza el análisis de todo el oleaje sin agrupar por direcciones con lo que obtenemos:

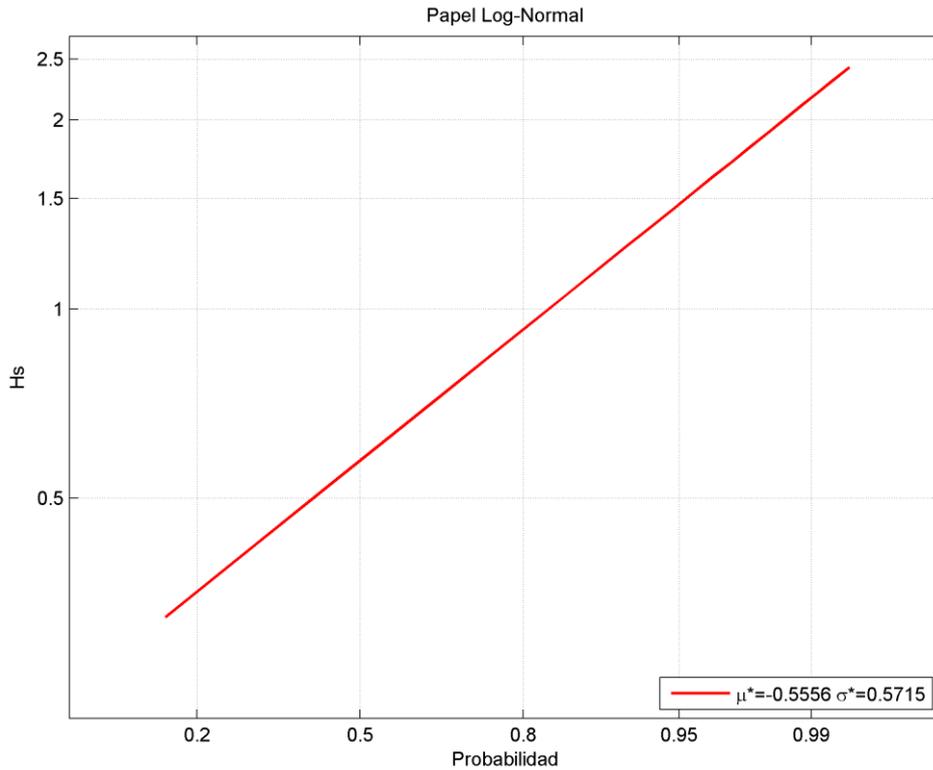


Figura II.6. Régimen medio de Hs, dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL

En este caso se ha empleado una Log-Normal cuyos parámetros de ajuste. Con todo ello los estadísticos básicos de nuestro régimen medio son los siguientes:

Variable medida: Hs

direcciones(°)	prob.direccion	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0031	0.6500	1.0000	1.3000	1.4000
NNE	0.0039	0.7000	1.1000	1.3140	1.4000
NE	0.0120	0.7000	1.3000	1.7000	2.0518
ENE	0.1464	0.9000	1.7000	2.8000	3.4000
E	0.2758	0.7000	1.4000	2.5000	3.3923
ESE	0.1930	0.5000	1.0000	1.6000	2.2000
SE	0.0888	0.4000	0.7000	1.1000	1.8000
SSE	0.0923	0.4000	0.7000	1.0000	1.3000
S	0.1085	0.6000	0.9000	1.4000	1.7618
SSW	0.0236	0.5000	0.8000	1.1000	1.4000
SW	0.0109	0.6000	0.8000	1.2000	1.4604
WSW	0.0080	0.6000	0.8000	1.3000	1.4000
W	0.0097	0.6000	0.9000	1.3700	1.5411
WNW	0.0117	0.7000	1.0300	1.5000	1.7538
NW	0.0088	0.8000	1.1000	1.4250	1.5781
NNW	0.0032	0.6000	1.0000	1.2000	1.3000

Figura II.7. Estadísticos básicos para Hs de la boya de Alicante. Fuente: Propia

A continuación, si se analiza el periodo pico, se tiene que en este caso el ajuste que se ha realizado es mediante una Normal:

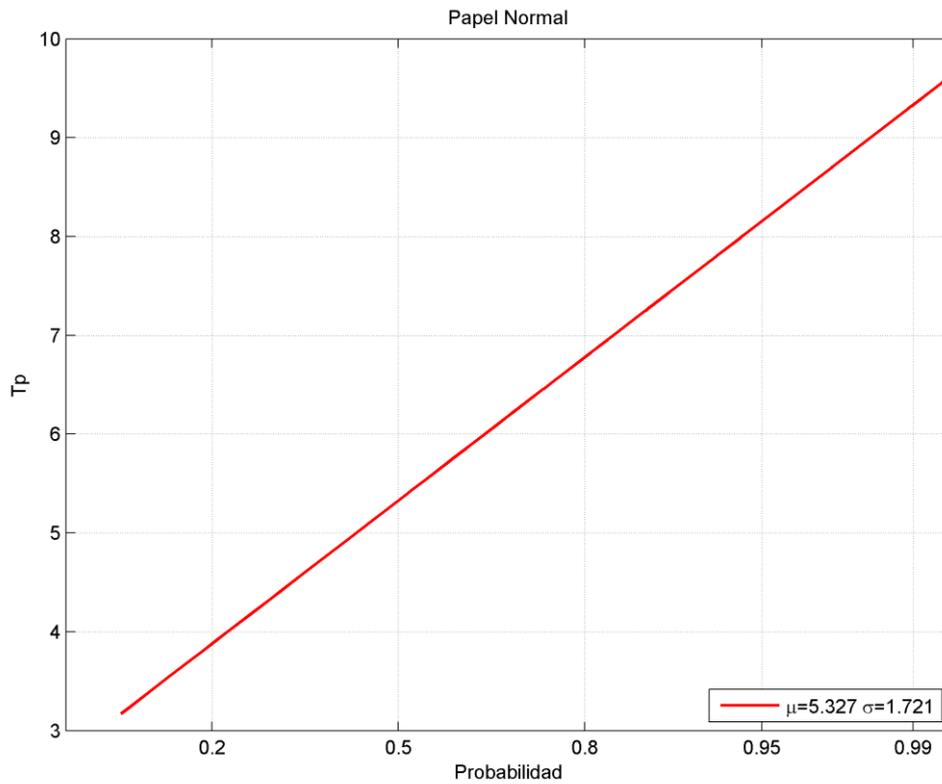


Figura II.8. Régimen medio de T_p , dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL

Dando lugar a los siguientes estadísticos básicos del periodo pico para el régimen medio.

Variable medida: T_p

direcciones(°)	prob.direccion	$T_{p_{50\%}}$	$T_{p_{90\%}}$	$T_{p_{99\%}}$	$T_{p_{12}}$
N	0.0031	5.9000	8.0000	9.1000	9.1000
NNE	0.0039	7.1000	8.5000	10.0000	10.5000
NE	0.0120	7.1000	8.7000	10.0000	11.4625
ENE	0.1464	6.5000	8.8000	10.5000	11.7515
E	0.2758	5.7000	7.7000	9.1000	10.4770
ESE	0.1930	5.2000	6.9000	8.7000	10.0000
SE	0.0888	5.0000	7.0000	8.7000	10.0000
SSE	0.0923	4.3500	6.2000	7.8000	9.1000
S	0.1085	4.5000	6.2000	7.7000	9.1000
SSW	0.0236	5.2000	6.9000	8.3000	9.1000
SW	0.0109	5.0000	7.1000	8.3000	10.1311
WSW	0.0080	3.7000	6.9000	9.0070	13.7373
W	0.0097	2.9000	6.2000	8.3700	10.9466
WNW	0.0117	3.1000	4.2000	7.7000	9.6459
NW	0.0088	3.3000	5.9000	8.9500	11.9890
NNW	0.0032	3.4000	7.4200	8.6420	10.0000

Figura II.9. Estadísticos básicos para T_p de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso CAROL

Como era de esperar estos datos solos nos indican los distintos ajustes realizados para todo el régimen medio y no nos aporta las distintas distribuciones para cada dirección que es lo que nos interesa en nuestro caso, para poder obtenerlo se ha discretizado los datos por cada dirección con lo que nos permite obtener las distintas distribuciones según dirección. El ajuste se realizará con aquel cuyo R-cuadrado sea mayor. Estas graficas aparecen en el Anexo I

Con todo ello podemos obtener las probabilidades acumuladas para la altura de ola, quedando la siguiente tabla:

DIR	Hs (m)						
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
N	-	-	-	-	-	-	-
NNE	-	-	-	-	-	-	-
NE	-	-	-	-	-	-	-
ENE	0.1253	0.6072	0.865	0.9548	0.9842	0.9942	-
E	0.3133	0.7623	0.9216	0.9722	0.9892	0.995	-
ESE	0.4916	0.906	0.9864	0.998	-	-	-
SE	0.7082	0.9813	0.9989	-	-	-	-
SSE	0.6984	0.9897	0.9997	-	-	-	-
S	0.3484	0.9291	0.9948	-	-	-	-
SSW	-	-	-	-	-	-	-
SW	-	-	-	-	-	-	-
WSW	-	-	-	-	-	-	-
W	-	-	-	-	-	-	-
WNW	-	-	-	-	-	-	-
NW	-	-	-	-	-	-	-
NNW	-	-	-	-	-	-	-

Tabla II.2. Probabilidad de excedencia según altura de ola y dirección. Fuente: Propia

Una vez conocidas cuales son las probabilidades acumuladas según dirección y oleaje se realiza la siguiente tabla, por el cual una misma probabilidad acumulada de una ola corresponde a la misma probabilidad de su periodo, esto no es del todo cierto, pero sí que se realiza un gran ajuste, pues olas pequeñas van asociadas a periodos pequeños e igual de manera inversa olas de gran altura van asociados a periodos grandes. Por ello una vez conocidos cuales son las probabilidades según dirección solo hay que entrar en sus respectivas graficas de periodo y obtener su correspondiente, dejando la siguiente tabla:

DIR	Hs (m)						
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
N	-	-	-	-	-	-	-
NNE	-	-	-	-	-	-	-
NE	-	-	-	-	-	-	-
ENE	4.019	6.734	8.323	9.45	10.322	11.03	-
E	3.806	4.827	5.546	6.121	6.603	6.978	-
ESE	5.204	6.873	8.377	9.665	-	-	-
SE	5.721	8.234	9.968	-	-	-	-
SSE	5.08	7.941	9.929	-	-	-	-
S	4.117	6.538	8.143	-	-	-	-
SSW	-	-	-	-	-	-	-
SW	-	-	-	-	-	-	-
WSW	-	-	-	-	-	-	-
W	-	-	-	-	-	-	-
WNW	-	-	-	-	-	-	-
NW	-	-	-	-	-	-	-
NNW	-	-	-	-	-	-	-

Tabla II.3. Relación entre altura de ola y periodo según dirección. Fuente: Propia

Con esta tabla queda definida el régimen medio que afecta nuestra zona de estudio. Esta es muy parecida a la que nos proporciona Puertos del Estado con la salvedad de que esta es por direcciones, mientras que la de Puertos del Estado es escalar.

5. REFRACCIÓN INVERSA

Como ya se ha comentado anteriormente, el que nuestra boya se encuentre a la profundidad de los 52 metros es un inconveniente, pues nuestro oleaje se verá afectado por el perfil de la costa como pudieran ser los efectos de refracción y asomeramiento inducidos por el fondo marítimo. Sin embargo, al tratarse nuestra boya de una estación de referencia de la ROM 0.3-91, esta dispone de una tabla en la cual se pueden obtener los coeficientes de asomeramiento y refracción conjuntos ($K_s \cdot K_r$), la cual se muestra a continuación.

TABLA 1		(Continuación).							
ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR ^{T(s)}	7	9	11	13	15	17	19
VI	CABO DE PALOS	NE	—	0,99	0,92	0,85	—	—	—
		ENE	—	0,99	0,95	0,85	—	—	—
		E	—	0,99	0,97	0,96	—	—	—
		ESE	—	0,99	0,97	0,94	—	—	—
		SE	—	0,99	0,96	0,94	—	—	—
		SSE	—	0,99	0,98	0,96	—	—	—
		S	—	0,99	0,98	0,97	—	—	—
VII	ALICANTE	SSW	—	0,99	0,90	0,78	—	—	—
		ENE	1,00	0,98	0,94	0,92	0,92	—	—
		E	1,00	0,98	0,93	0,88	0,90	—	—
		ESE	1,00	0,98	0,94	0,91	0,90	—	—
		SE	1,00	0,98	0,93	0,84	0,79	—	—
		SSE	1,00	0,97	0,90	0,85	0,81	—	—
S	1,00	0,97	0,90	0,80	0,80	—	—		

Tabla II.4. Coeficientes de refracción según boya y dirección. Fuente: ROM 0.3-91

Con estos coeficientes se procede a realizar la refracción inversa de aquellos oleajes que no se encuentren en aguas profundas. El método de comprobación de si se encuentran o no, se realiza en primer lugar se calcula cuál es el periodo de aguas profundas para la profundidad de los 52 metros, cualquier otro periodo que se encuentre superior al mismo estará en aguas intermedias.

$$L_0 = \frac{g * T^2}{2 * \pi} \rightarrow d = \frac{1}{2} * L_0 \rightarrow Tp = \sqrt{\frac{2\pi * 52 m}{0.5 * 9.81}} = 8.16 \text{ segundos}$$

Como se puede ver se ha empleado la formula simplificada de Airy, para aguas profundas, en el Anexo I se pueden ver todas y cada una de las comprobaciones tanto con la fórmula de aguas profundas como para aguas intermedias. Con todo ello nuestro régimen medio en aguas profundas será:

DIR	Hs (m)	Tp (s)
ENE	0.50	4.02
	1.00	6.73
	1.52	8.32
	2.06	9.45
	2.60	10.32
	3.19	11.03
E	0.50	3.81
	1.00	4.83
	1.50	5.55
	2.00	6.12
	2.50	6.60
	3.00	6.98

Tabla II.5. Resumen régimen medio. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)
ESE	0.50	5.20
	1.00	6.87
	1.52	8.38
	2.06	9.67
SE	0.50	5.72
	1.00	8.23
SSE	1.56	9.97
	0.50	5.08
	1.00	7.94
S	1.56	9.93
	0.50	4.12
	1.00	6.54
	1.50	8.14

Tabla II.6. Resumen régimen medio. Fuente: Propia

6. NIVEL DEL MAR.

En dicho Atlas, en la Sección III, se recogen los gráficos de los regímenes medio y extremal del nivel de marea (SNM = marea meteorológica + marea astronómica)

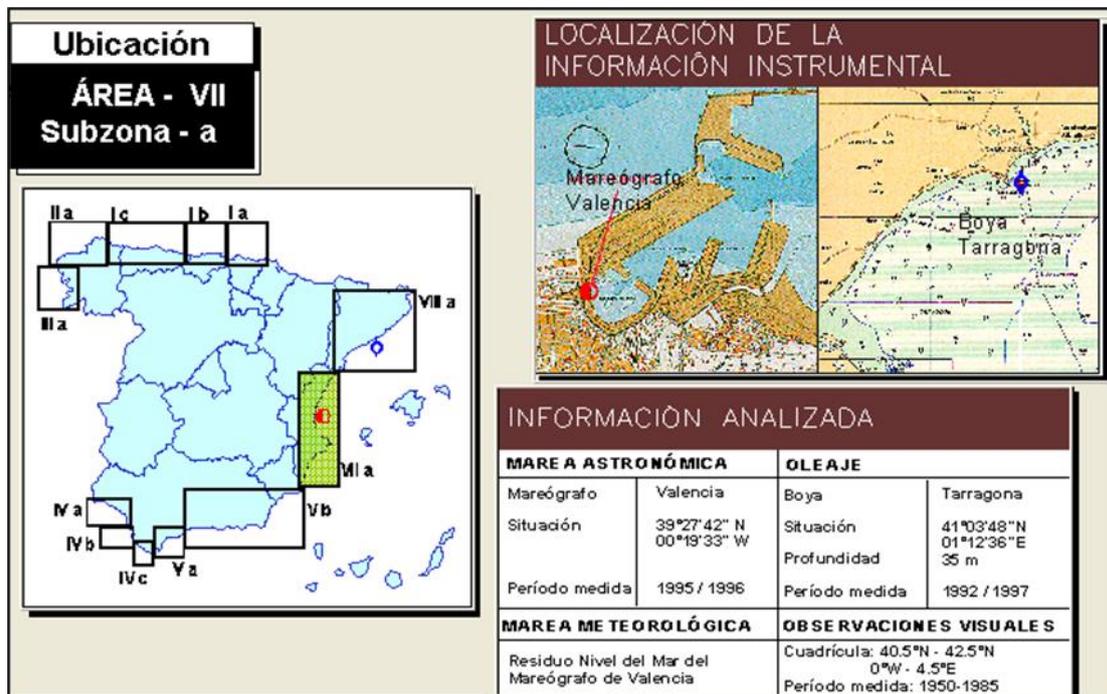


Figura II.10. Zonificación del litoral según Atlas. Fuente: Atlas

Nuestra zona se ubica en el área VII tal y como se ha marcado en la imagen, la dificultad es que solo se dispone del mareógrafo del puerto de Valencia, en Alicante los que existen no facilitan los datos.

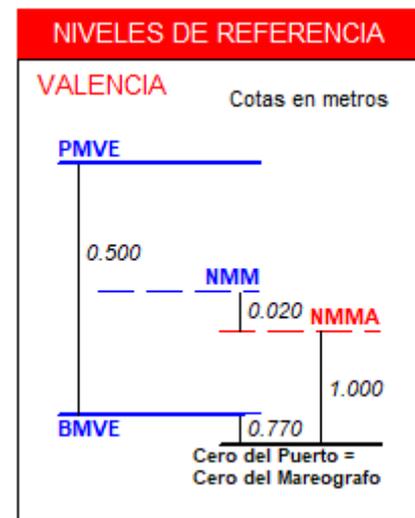


Figura II.11. Niveles de referencia para el nivel del mar. Fuente: Atlas

De igual modo en la zona del mediterráneo es sabido que las mareas astronómicas son muy bajas entre los 0.1 y 0.2 metros respecto del cero del Puerto de Alicante. Y tratándose de Alicante estas amplitudes suelen ser incluso menores, es por ello que siendo el análisis que estamos

realizando es para la operatividad, adoptamos un único valor del mar el cual corresponde al nivel 0 de Alicante.

7. PROPAGACIÓN

El presente apartado tiene como objetivo la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la bocana del puerto, para desde ahí poder realizar el análisis de la resonancia/agitación que ocurre en el mismo.

Para materializar las características del oleaje en las proximidades de la bocana, así como en la propia vamos a propagar el oleaje desde aguas profundas hasta la batimetría que se nos ha proporcionado (batimétrica -40 m) mediante el uso de las fórmulas teóricas y desde ahí hasta la bocana mediante el módulo del programa SMC desarrollado por la Universidad de Cantabria.

Se ha decidido el empleo de este software debido a que el modo habitual de proceder consiste en realizar la propagación mediante la Ley de Snell desde aguas profundas hasta la batimetría más próxima a la bocana, en donde o bien no se cumplen las condiciones de aplicación de la Ley de Snell, batimetría recta y paralela, o bien comienzan a producirse fenómenos que no se han tenido en cuenta en la teoría lineal, es decir fenómenos como difracción, disipación por rotura y post-rotura.

Los modelos numéricos empleados para la propagación y el cálculo tienen en cuenta los fenómenos de refracción, asomeramiento, difracción, disipación por rotura y post-rotura, de igual modo como ya se ha observado anteriormente nuestra batimetría no es recta ni paralela para poder aplicar la ley de Snell.

7.1 PROPAGACIÓN DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA LA COTA -40

Los fenómenos que se han tenido en cuenta en este apartado para poder realizar la propagación han sido tanto el asomeramiento como la refracción.

El asomeramiento es el efecto producido en las ondas del mar (oleaje), al reducirse notablemente la altura del fondo marino a su llegada a la costa. Se produce a partir de que la ola alcanza profundidades menores a la mitad de su longitud de onda, disminuyendo su velocidad de propagación y la longitud de onda, pudiendo disminuir o aumentar su altura y en general adquiriendo mayor peralte. Iribarren (1964) "Obras Marítimas". Ed. Dossat. Madrid. 1964

Para determinar la altura de ola en un punto de profundidad conocida calcularemos el coeficiente K_s , por lo que la altura de ola en la cota de cálculo será:

$$H = H_0 * K_s$$

$$K_{s(0 \rightarrow k)} = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} = \sqrt{\frac{\frac{L_0/T}{2} \cdot (1+0)}{\frac{L_0/T}{2} \cdot \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)}\right)}} = \left[\left(1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right)} \right) \tanh \frac{2\pi h}{L} \right]^{-0,5}$$

Siendo:

- K_s : es el coeficiente de asomeramiento
- L_0 : es la longitud de onda en aguas profundas

- L: es la longitud de onda en la profundidad donde queremos calcular la altura de ola.
- H: es la profundidad en el punto de cálculo.
- H₀: es la altura de ola en aguas profundas.
- H: es la altura de ola en el punto que estamos calculando
- T: es el periodo del oleaje

La refracción es la alteración que sufre el oleaje debido a la incidencia oblicua con respecto a la orientación del fondo, la refracción provoca un cambio en la dirección de propagación y en la altura de ola. La refracción de una onda en el mar produce un cambio de su dirección y de su velocidad de propagación, y por tanto de la altura de ola H. "Iribarren (1964) "Obras Marítimas". Ed. Dossat. Madrid. 1964"

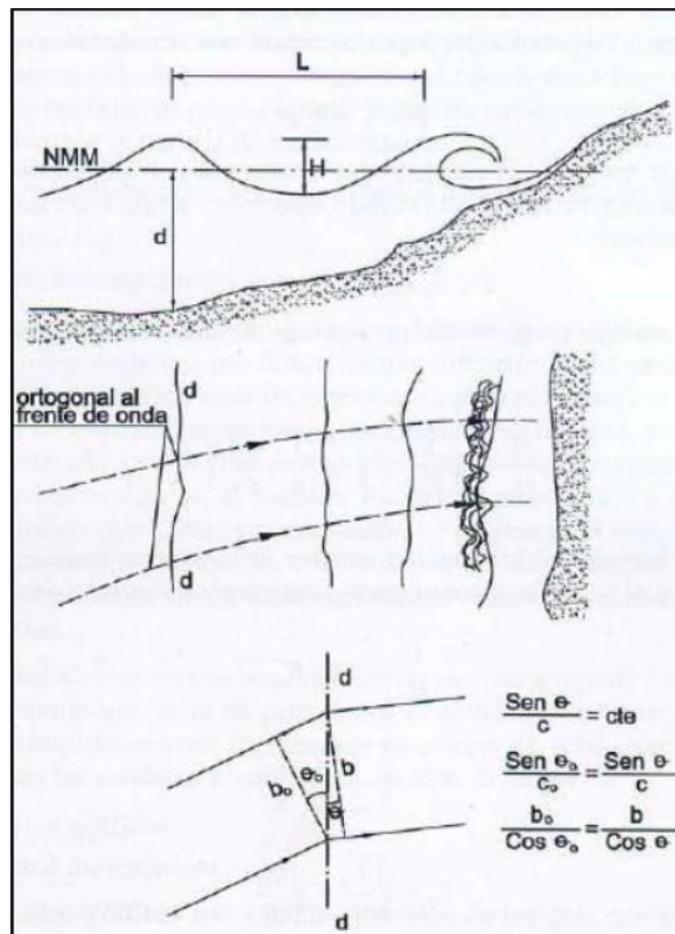


Figura II.12. Efecto de la refracción del oleaje. Fuente: Guía técnica de los estudios litorales.

La altura de ola resultante será:

$$H = K_r * H_0$$

donde:

- Kr: es el coeficiente de refracción.
- Co: es la celeridad en aguas profundas.
- C₁: es la celeridad en la profundidad de cálculo.
- α₀: es el ángulo que forma el frente de oleaje (en aguas profundas) con la batimétrica de cálculo.
- α₁: es el ángulo que se forma una vez refractado entre el frente de oleaje y la batimétrica de cálculo.

Una vez calculados los coeficientes K_s y K_r de asomeramiento y refracción respectivamente, la altura de ola en el punto de cálculo de profundidad conocida será:

$$H = K_s * K_r * H_0$$

7.2 PROPAGACIÓN MEDIANTE EL SMC HASTA BOCANA

Una vez propagado de aguas profundas hasta nuestra batimetría se procederá al empleo del módulo Mopla del programa SMC, utilizando los modelos numéricos OLUCA-MC para la propagación del Sistema de Modelado Costero desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (G.I.O.C.) de la Universidad de Cantabria, para la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente.

El modelo de propagación de oleaje OLUCA-MC es un modelo de aproximación parabólica de ondas y débilmente no lineal que permite propagar oleajes monocromáticos desde profundidades indefinidas hasta zonas próximas a la costa considerando refracción, asomeramiento, difracción, disipación por rotura y post-rotura.

En este tipo de modelo es importante tener el procedimiento de selección de la extensión del área geográfica a modelizar en el proceso de digitalización, la definición de las dimensiones máximas y número de mallas, tamaño de elementos de malla, orientación del modelo digital respecto del oleaje, etc. A la hora de modelizar nuestra zona de estudio hay que tener en cuenta, el manual nos da la siguiente información, la cual recogemos a continuación:

❖ Limitaciones por propagación

1. Para garantizar la condición de pendiente suave, las pendientes del fondo deben ser menores que 1:3.

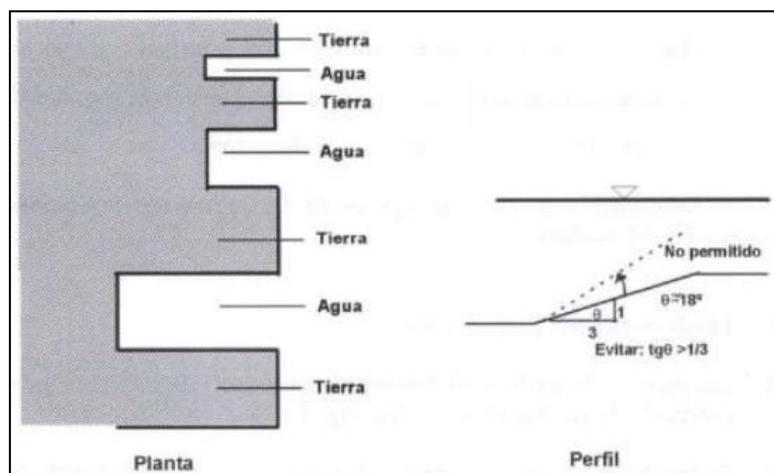


Figura II.13. Esquemas de contornos que se deben evitar. Fuente: Manual usuario MOPLA

2. El ángulo de propagación en la primera fila ($x = 0$) de la malla, debe estar dentro del rango $\pm 55^\circ$, con respecto al eje de propagación principal, eje x .

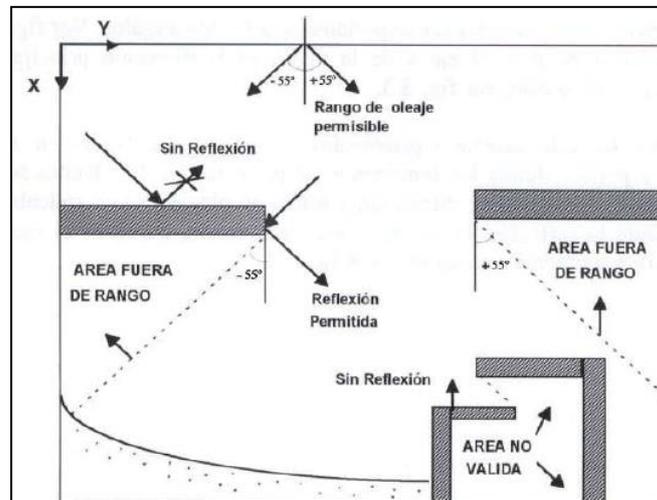


Figura II.14. Zonas válidas de propagación y límite de ángulos. Fuente: Manual usuario MOPLA.

3. Se debe tener especial cuidado para que la zona de estudio no se encuentre dentro de ángulos de propagación mayores a $\pm 55^\circ$ con respecto al eje x , dado que los errores comienzan a ser importantes para estos ángulos. Orientar en lo posible, el eje x de la malla en la dirección principal de propagación del oleaje.
4. El modelo ha sido diseñado principalmente para ser aplicado en zonas costeras y playas, donde los fenómenos de propagación dominantes son la refracción, asomeramiento, difracción y rotura en playas. No es aplicable en casos donde la reflexión es un fenómeno importante, como es el caso de resonancia y agitación en puertos.

❖ **Limitaciones por contornos y condiciones iniciales.**

1. Evitar cambios bruscos de profundidad en la batimetría (pendientes mayores a 1:3), principalmente en la zona de estudio.
2. En la primera fila en ($x = 0$) se definen las condiciones iniciales del oleaje. En esta primera fila se asume el oleaje incidente igual para todos los puntos (amplitud, período y dirección), en la medida de lo posible se debe tratar que las profundidades en dicha fila no presenten variaciones muy fuertes.
3. Como en todos los modelos numéricos, es necesario imponer unas condiciones de contorno laterales, estas condiciones nunca son perfectas e involucran ruidos numéricos en el sistema. El modelo Mopla impone unas condiciones de contorno laterales reflejantes o abiertas aplicando la ley de Snell, por tal motivo, se debe intentar mantener el efecto de los contornos laterales, lo más alejado posible de la zona de estudio y dentro de lo posible, intentar que la batimetría en dichos contornos sea lo más paralela al eje (y).
4. Evitar los contornos laterales que alternan agua-tierra-agua, porque pueden generar ruidos numéricos en la ejecución.
5. Debido a limitaciones del modelo numérico en los contornos, el modelo propaga las ondas en profundidades mayores a 0,30 m. Intentar modelar ensayos de laboratorio con profundidades menores a ésta, da lugar a errores numéricos.

6. Por efectos del modelo numérico, internamente el programa limita las batimétricas en tierra a (-7,0 m).
7. Existen limitaciones en los tamaños máximos y mínimos de los elementos (D_x , D_y) en las mallas del dominio de cálculo. Se debe de tener especial cuidado en las cercanías de diques exteriores, en grandes profundidades ($h > 20$ m), donde existe un tamaño mínimo de malla relacionado también con el período del oleaje y la profundidad.

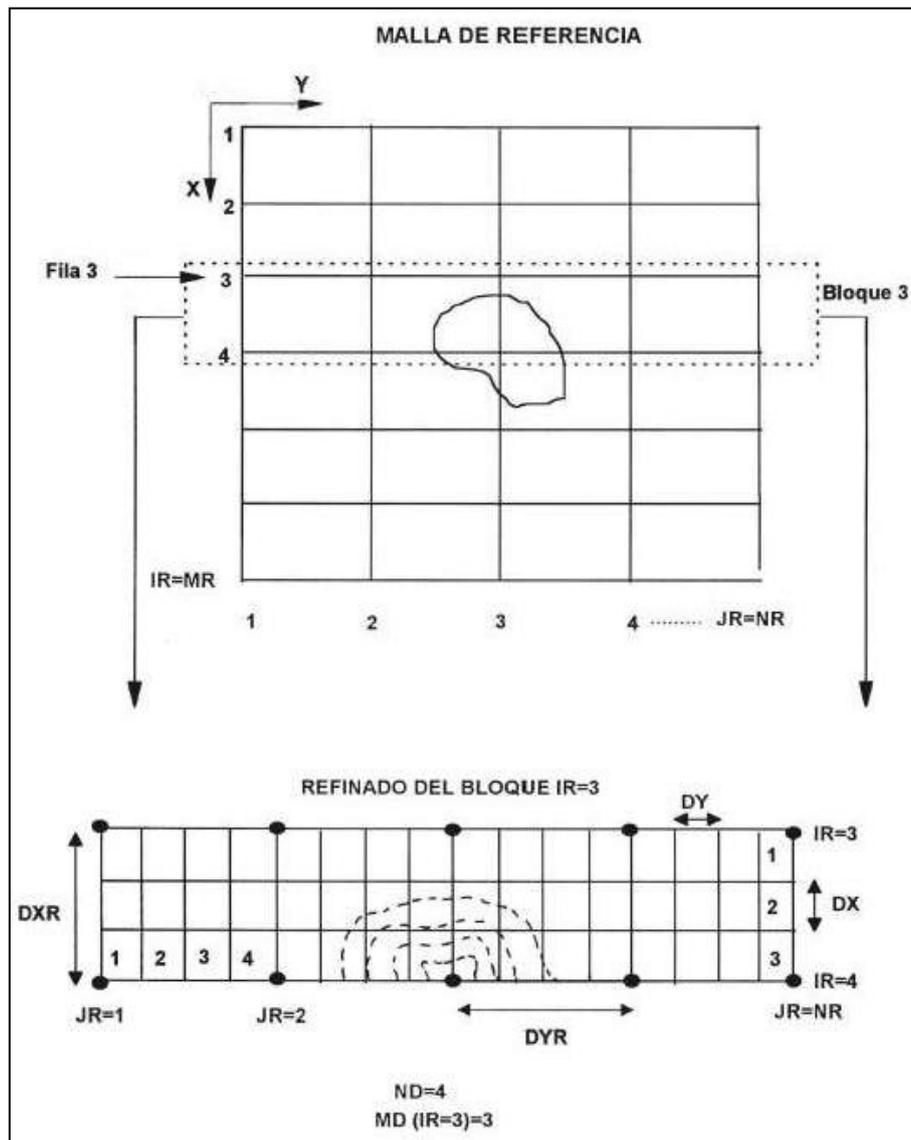


Figura II.15. Subdivisión de la malla principal. Fuente: Manual OLUCA-SP.

❖ **Limitaciones por dimensionamiento del código del programa de propagación.**

En la siguiente tabla se recoge el dimensionamiento máximo de las matrices de las columnas en el eje x y en el eje y de la malla de referencia, y el número de subdivisiones totales en el eje y:

Tipo de modelo	Código de propagación	Nodos de la Malla x, y'		Subdivisiones x''	Subdivisiones y'''	Número de frecuencias	Número de direcciones
		x	y				
Espectral	Oluca-SP	500	500	60	3500	20	20
Monocromático	Oluca-RD	500	500	60	5000	1	1

Tabla II.5. Dimensionamiento máximo de las matrices, número de divisiones. Fuente: Manual MOPLA.

7.3 MODELIZACIÓN

Lo primero es saber cuál es la línea de la costa para saber hacia qué dirección el oleaje tiende a girar, no obstante, al tratarse de un puerto esta ha desaparecido por ello la orientaremos hacia la línea de la bocana en nuestro caso.

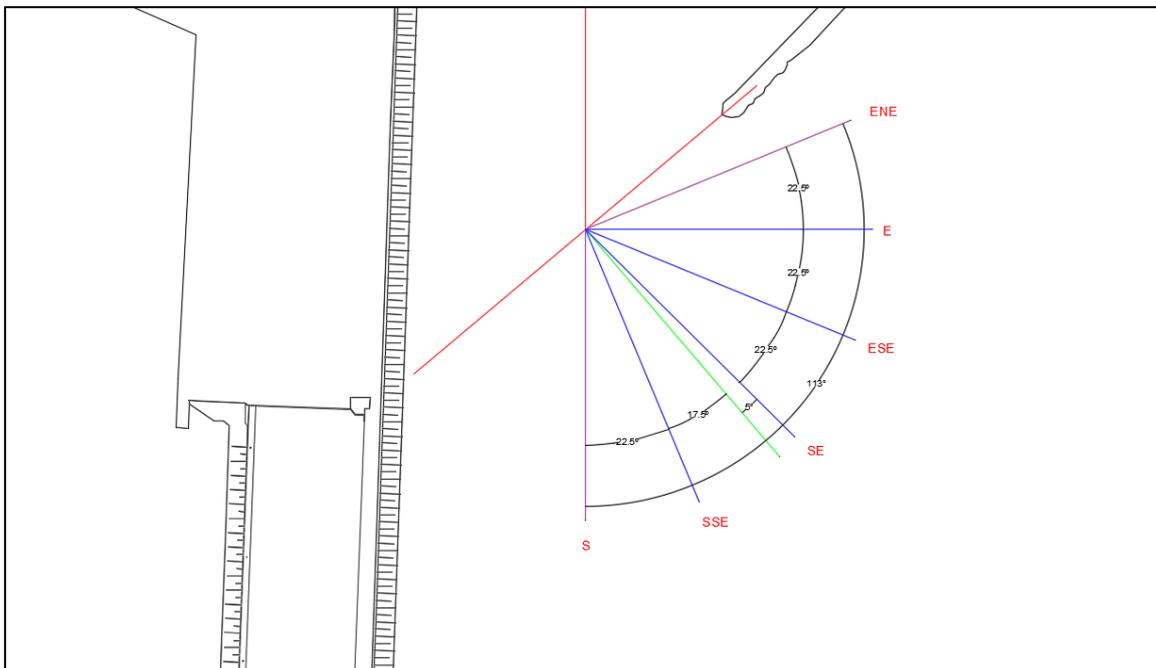


Figura II.16. Ángulo de incidencia de los oleajes. Fuente: Propia

Las direcciones del oleaje que afectan al presente proyecto, respecto del Norte, están entre S y ENE como puede comprobarse en la Ilustración. Para este estudio, se discretiza el espectro de incidencia en sectores de 22,5°, al igual que se ha hecho para el clima marítimo. Por lo que las direcciones significativas que se van a estudiar para la adecuada ejecución del proyecto son: ENE, E, ESE, SE, SSE y S.

Una vez conocidos cuales son los oleajes de incidencia se procede a la introducción de la topografía y la línea de costa en el programa quedando de la siguiente manera:

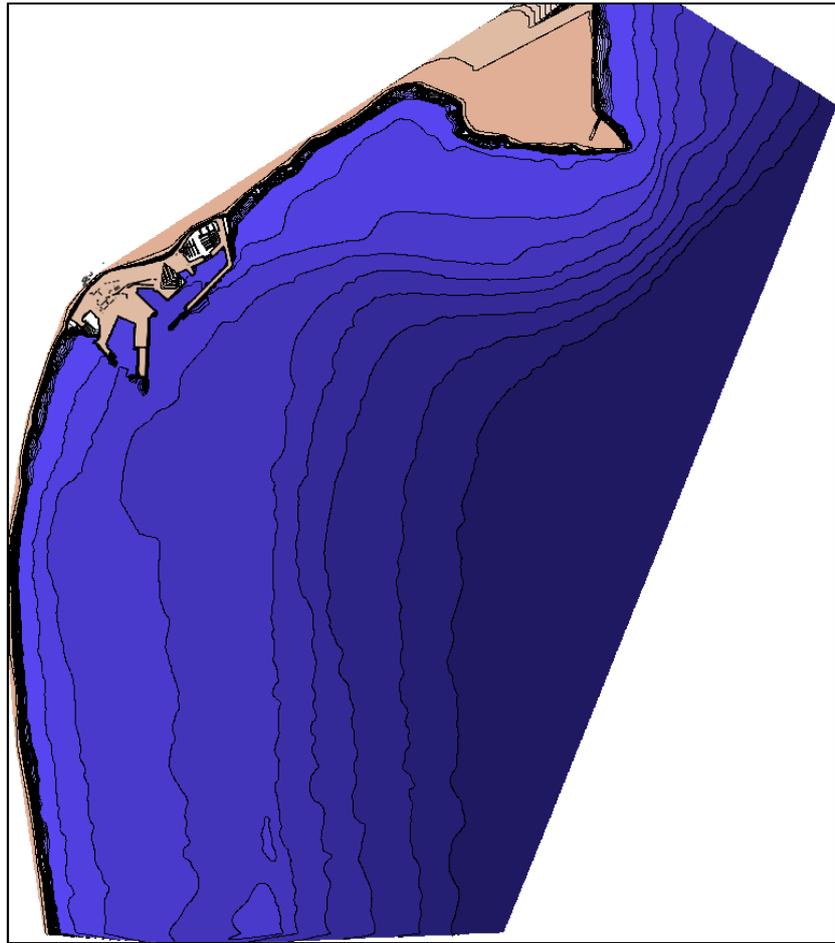


Figura II.17. Zona de estudio en el SMC. Fuente: Propia

En segundo lugar, vamos a definir las mallas necesarias para propagar cada una de las direcciones de oleaje. La ubicación, tamaño y dirección de las mallas tiene que ser acorde con las limitaciones del programa expuestas en el apartado 2.2.1 del presente anejo.

Para la orientación de las mallas tenemos que conocer cuáles son los oleajes incidentes en la zona de actuación ya que: “Se debe tener especial cuidado para que la zona de estudio no se encuentre dentro de ángulos de propagación mayores a $\pm 55^\circ$ con respecto al eje x, dado que los errores comienzan a ser importantes para estos ángulos. Orientar en lo posible, el eje x de la malla en la dirección principal de propagación del oleaje.”

Con la limitación tanto de las batimetrías, en este caso las orientaciones como el ángulo del mallado se dispondrán tres grupos de mallas, cumpliendo con las limitaciones impuestas por el programa.

Se disponen de un total de 4 grupos mallas, dos de ellas recogen la mayor parte del oleaje, pero para los que inciden de manera más paralela (S, ENE) se han dispuesto de un mallado específico a una profundidad más cercana a la costa para poder cumplir con las limitaciones.

Malla para oleaje SSE y SE:

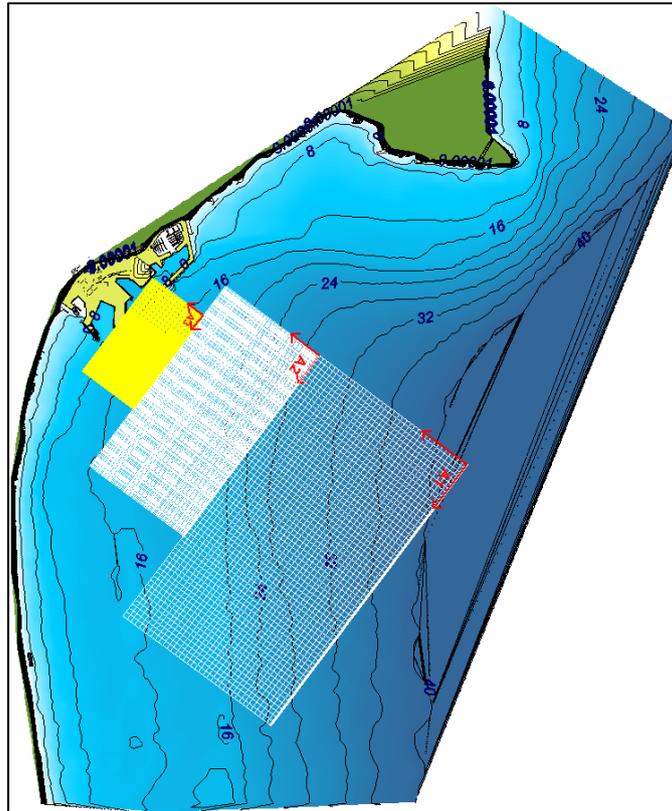


Figura II.18. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia

Malla para oleaje ESE y E:

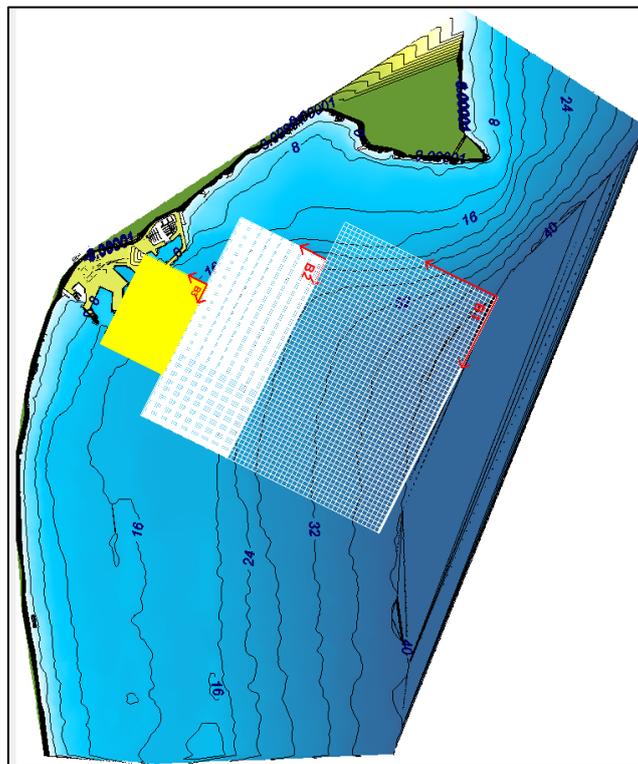


Figura II.19. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia

Malla para oleaje S:

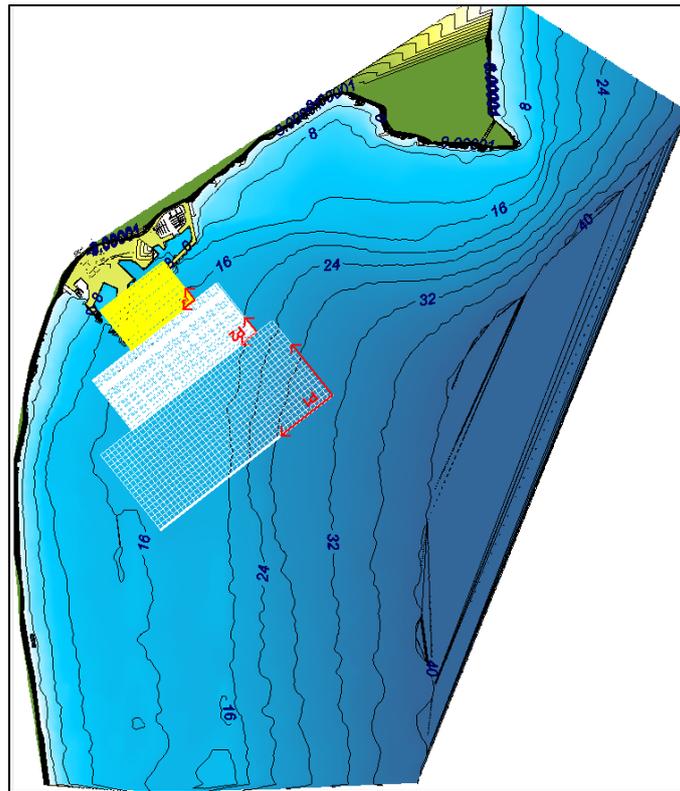


Figura II.20. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia

Malla para oleaje ENE:

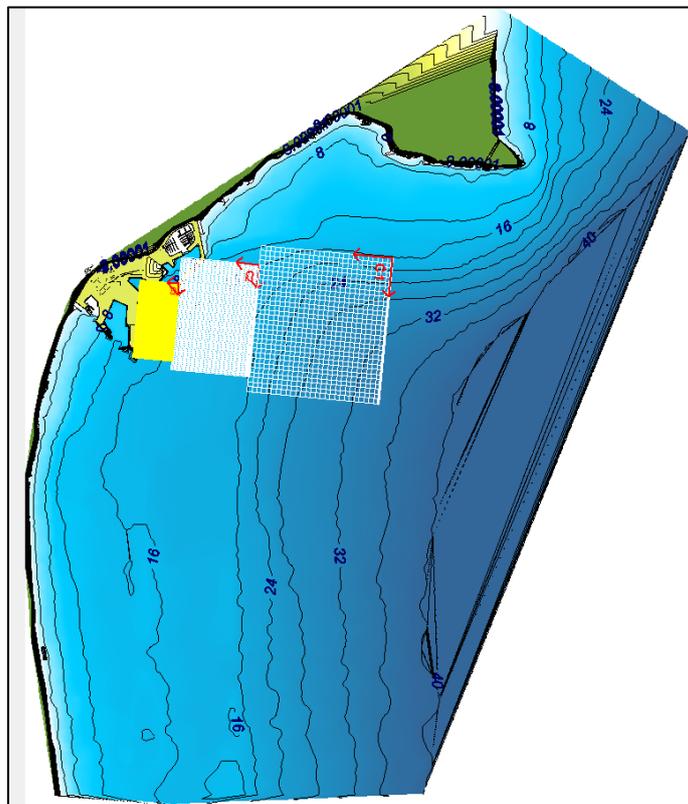


Figura II.21. Mallas de propagación dentro del Mopla. Fuente: Propia

8. RESULTADOS

Empleando la metodología anteriormente mencionada se obtiene las gráficas y tablas que se pueden ver en el Anexo I, de igual modo se resumen a continuación cual es el oleaje que llega a la bocana de nuestro puerto, en donde se muestra la altura de la ola, su periodo y la dirección que tienen tras sufrir el fenómeno de refracción.

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
ENE	0.40	4.02	N67.58E
	0.50	6.73	N73.85E
	0.80	8.32	N79.83E
	1.20	9.45	N83.54E
	1.60	10.32	N86.04E
	2.00	11.03	N87.85E

Tabla II.6. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ENE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
E	0.40	3.81	S89.99E
	0.90	4.83	S89.68E
	1.30	5.55	S89E
	1.70	6.12	S88.16E
	2.00	6.60	S87.32E
	2.30	6.98	S86.63E

Tabla II.7. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección E. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
ESE	0.40	5.20	S67.4E
	0.90	6.87	S66.96E
	1.40	8.38	S66.47E
	1.80	9.67	S66.08E

Tabla II.8. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección ESE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
SE	0.40	5.72	S45.75E
	0.95	8.23	S48.52E
	1.40	9.97	S50.05E

Tabla II.9. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
SSE	0.45	5.08	S23.31E
	1.10	7.94	S30.59E
	1.20	9.93	S35.66E

Tabla II.10. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección SSE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp(s)	Dirección
S	0.50	4.12	S0.17E
	0.80	6.54	S8.4E
	0.90	8.14	S16.62E

Tabla II.11. Tabla de los oleajes propagados hasta la bocana, dirección S. Fuente: Propia

Como se puede ver en las tablas los oleajes mayores son los que se encuentran más al norte mientras que los menores son los que se encuentran al sur. No obstante, se debe de tener en cuenta la dirección de la apertura de la bocana, la cual limita en gran medida, gracias al espigón, los oleajes que llegan del Norte mientras que los del Sur entran directamente sin verse afectados, este factor se verá en los siguientes apartados más desarrollado.

9. OLEAJE DE INFRAGRAVEDAD

Del oleaje de infragravedad sabe muy poco, de lo que se sabe es que las alturas de olas para ($T < 30s$) generan un oleaje de infragravedad los cuales se pueden encontrar en varios ejemplos en la bibliografía de GONZÁLEZ-ESCRIVÁ, J. A. (2017).

Para poder estimar la altura de la onda de infragravedad existen diversos métodos como puede ser el de Medina et al (1990) donde propone su obtención a partir de las formas espectrales del oleaje y de la onda larga asociada a la misma:

$$H_{m0}^{IG} = k * (H_{m0}^2 * T_p^{0.5}) * Q_p^{0.5}$$

Otro autor Bowers (1992) obtiene una estimación teórica de la altura de la onda de infragravedad para ondas unidireccionales tal como se había mencionado anteriormente, en este caso se incluye el efecto de la profundidad:

$$H_s^{IG} \approx 0.0074 * \frac{H_s^2 * T_p^2}{d^2}$$

Como se puede apreciar, los componentes de los que dependen en esta fórmula son sabidos gracias al punto anterior, será pues esta fórmula la que empleemos para conocer la altura de ola significativa de la banda de infragravedad.

DIR	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Hs (cm)	0.08	0.08	0.14	0.17	0.17	0.14
	0.37	0.62	1.26	2.01	2.51	0.90
	1.46	1.71	4.52	6.41	4.67	1.77
	4.23	3.56	9.95	-	-	-
	8.97	5.74	-	-	-	-
	16.01	8.47	-	-	-	-

Tabla II.12. Resumen de los oleajes de infragravedad. Fuente: Propia

Por último, quedaría conocer cuáles son los periodos asociados a los mismos, dicho problema no es sencillo. La estimación de la energía relacionada con la altura de ola es complicada, pero lo de los periodos o frecuencias es más complejo aún y no existen estudios a día de hoy sobre esto. Por ello se plantea realizar la siguiente hipótesis dejándola del lado de la seguridad de tal manera que cualquier periodo de infragravedad tiene la misma probabilidad de ocurrencia. Es decir, que un temporal (oleaje normal) puede estar generando distintas olas (distintos periodos) de infragravedad a la vez y por lo tanto con la misma probabilidad.

10. CONCLUSIONES

Las características destacables del régimen medio y posterior propagación a las proximidades de la bocana del Puerto de Alicante son:

- Las direcciones procedentes del Este son los que producen un mayor oleaje en la zona de la bocana, mientras que los oleajes que vienen del Sur son menores debido a las limitaciones del litoral (en este caso la influencia que podría tener la isla de Tabarca).
- Los resultados de propagación de oleaje obtenidos con el módulo MOPLA del SMC (ver Anexo II) muestran como la difracción puede condicionar en gran medida los oleajes que llegan del Este, reduciendo su intensidad, haciendo más probable que los más problemas que se generan en el interior del puerto se refieran a los oleajes procedentes de la dirección Sur.

En cuanto a la caracterización del oleaje de infragravedad, se ha estimado, a partir del régimen medio de oleaje mediante la fórmula de Bowers (1992) obteniéndose las alturas de las ondas de infragravedad asociadas a determinadas alturas de oleaje. Debido al desconocimiento de la probabilidad asociada a las ondas de infragravedad se efectuarán hipótesis conservadoras para su estimación en posteriores apartados.

Es de desatacar que las ondas de infragravedad pueden provocar problemas de seguridad y parada operativa con alturas más reducidas que en el caso del oleaje. La ROM en todas y cada una de sus versiones no recoge nada sobre la pérdida de operatividad para ondas largas. Sin embargo, otros países como Japón indican alturas de onda de 10 cm como el umbral para el inicio de problemas en la seguridad y operación portuaria.

11. BIBLIOGRAFÍA

- GONZÁLEZ-ESCRIVÁ, J. A. (2017). “Análisis de la efectividad de las estructuras antirreflejantes en la atenuación de la resonancia en puertos”. Tesis doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/86183> [Consulta 15 de mayo de 2020]
- IRIBARREN (1964) "Obras Marítimas". Ed. Dossat. Madrid. 1964
- PUERTOS DEL ESTADO. *Conjunto de datos REDCOS*.
https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT_1.pdf [Consulta: 2 mayo de 2020]
- PUERTOS DEL ESTADO. *Conjunto de datos REDEXT*.
https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT_2.pdf [Consulta: 2 mayo de 2020]
- PUERTOS DEL ESTADO. *Conjunto de datos SIMAR*.
https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT_8.pdf [Consulta: 2 mayo de 2020]
- ROM 0.3-91 (1992). *Clima marítimo en el litoral español*. Madrid: Puertos del Estado.
- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Manual del usuario SMC 3.0*.
<https://smc.ihcantabria.es/SMC25/wp-content/uploads/2015/08/Manual-del-usuario-SMC.pdf>

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE AGITACIÓN



ÍNDICE

1. OBJETIVO.....	73
2. MODELO NÚMÉRICO MSP	73
3. METODOLOGÍA Y ZONIFICACIÓN DE LA ZONA	74
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
5. CONCLUSIONES	90
6. BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura III.1. Imagen del puerto con la situación de los puntos de imagen. Fuente: Google Earth Pro con elaboración propia [Consulta:10 de junio de 2020]	74
Figura III.2. Imagen del muelle en el punto 1. Fuente: Propia	75
Figura III.3. Imagen del muelle en el punto 2. Fuente: Propia	75
Figura III.4. Imagen del muelle en el punto 3. Fuente: Propia	76
Figura III.5. Imagen del muelle en el punto 4. Fuente: Propia	76
Figura III.6. Imagen del muelle en el punto 5. Fuente: Propia	77
Figura III.7. Imagen del muelle en el punto 6. Fuente: Propia	77
Figura III.8 Esquema la zona de actuación en AutoCAD. Fuente: Propia	78
Figura III.9. Esquema de la zona de estudio en el GID, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	79
Figura III.10. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	79
Figura III.11. Mallado de la zona de estudio, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	80
Figura III.12. Zonificación de la zona de estudio. Fuente: Propia	80
Figura III.13. Esquema de la zona de estudio en el GID, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	81
Figura III.14. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	82
Figura III.15. Mallado de la zona de estudio, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III.1. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección ENE. Fuente: Propia	83
Tabla III.2. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección E. Fuente: Propia	83
Tabla III.3. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección ESE. Fuente: Propia	83
Tabla III.4. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección SE. Fuente: Propia	84
Tabla III.5. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección SSE. Fuente: Propia	84
Tabla III.6. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección S. Fuente: Propia	84
Tabla III.7. Alturas de olas según zonas, para la dirección ENE. Fuente: Propia	84
Tabla III.8. Alturas de olas según zonas, para la dirección E. Fuente: Propia	84
Tabla III.9. Alturas de olas según zonas, para la dirección ESE. Fuente: Propia	84
Tabla III.10. Alturas de olas según zonas, para la dirección SE. Fuente: Propia	85
Tabla III.11. Alturas de olas según zonas, para la dirección SSE. Fuente: Propia	85
Tabla III.12. Alturas de olas según zonas, para la dirección S. Fuente: Propia	85
Tabla III.13. Número de horas de excedencia para el oleaje del oleaje. Fuente: Propia	85
Tabla III.14. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección ENE, E y ESE. Fuente: Propia	86
Tabla III.15. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección SE, SSE y S. Fuente: Propia	86
Tabla III.16. Alturas de olas según zonas, para todas las direcciones. Fuente: Propia	87
Tabla III.17. Comprobación de los coeficientes de agitación que causan parada operativa. Fuente: Propia	87
Tabla III.18. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia	88



Tabla III.19. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia	88
Tabla III.20. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia	89
Tabla III.21. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia	89
Tabla III.22. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia	89
Tabla III.23. Número de horas de excedencia para el oleaje del oleaje y el de infragravedad. Fuente: Propia	90

1. OBJETIVO

El objetivo principal del análisis de agitación y resonancia portuaria del presente Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante es la estimación de la pérdida de operatividad portuaria en el año medio como consecuencia de las paradas operativas producidas por los fenómenos de agitación y resonancia portuaria.

La ROM 2.0-11 (Puertos del Estado, 2012) indica las condiciones climáticas límite para las paradas operativas y los tiempos máximos recomendados para dichas paradas operativas en el año. A partir de los datos del régimen medio obtenido en el apartado anterior y con las indicaciones de la ROM 2.0-11 se estima la operatividad considerando el único efecto del oleaje.

Para las ondas de infragravedad obtenidas a partir del régimen medio de oleaje en el apartado anterior se plantean y discuten diferentes hipótesis para la estimación de la probabilidad asociada. Consecuentemente se obtiene la pérdida de operatividad adicional producida por las ondas de infragravedad.

La determinación de la operatividad considerando tanto el oleaje como las ondas de infragravedad serán el punto de partida para la propuesta de soluciones que minimicen los efectos de la agitación y resonancia portuaria y por lo tanto optimicen la operatividad del Puerto de Alicante.

2. MODELO NÚMÉRICO MSP

El Modelo de elementos finitos MSP fue desarrollado por la Universidad de Cantabria a partir del modelo propuesto por Behrendt (1984) en el trabajo titulado "A Finite Element Model for Water Diffraction Including Boundary Absorption and Bottom Friction". Este programa ha sido contrastado con modelos teóricos y experimentales en laboratorio. Algunas de las consideraciones que realiza el MSP son las siguientes, las cuales vienen recogidas en su propio manual de uso:

El modelo utiliza ondas en teoría lineal y supone conservación de la energía compleja del oleaje. Incluye absorción en los contornos y disipación por fricción con el fondo. La ecuación Mild Slope es de tipo elíptico, por lo que deben definirse relaciones en todos los contornos del dominio para definir correctamente el problema. Las condiciones de contorno que es posible aplicar son de tipo exterior y condiciones parcial o totalmente absorbentes.

La base del MSP consiste en la discretización de la forma débil de la ecuación diferencial mediante elementos triangulares lineales. La inclusión de las condiciones de contorno surge natural a partir de las derivadas en la dirección normal del contorno. La formulación del contorno exterior se realiza mediante la aproximación Behrendt y la parabólica es chequeada.

En cuanto a las limitaciones numéricas del modelo son las siguientes, se emplean elementos triangulares lineales sobre una malla no estructurada la cual se puede refinar en función de su geometría y de las necesidades de resolución de la variable modelada, esto afecta en gran medida a zonas irregulares las cuales deberán de ser suavizadas para evitar la problemática.

La modelización del oleaje en el contorno exterior se hace mediante una onda monocromática de amplitud constante, para poder reducir el oleaje irregular se emplean dos métodos, el primero es mediante una onda monocromática equivalente con periodo igual al periodo pico del espectro cuya altura es igual a la altura significativa y dirección de incidencia igual a la dominante. La segunda consiste en la descomposición en componentes de Fourier del oleaje irregular y la superposición lineal de los resultados obtenidos en cada una de las propagaciones.

En cuanto a los criterios del mallado, esta constituye una parte fundamental en la definición del caso a modelar, de ella dependen:

- El tiempo de computación empleado en la resolución del caso
- La validez de los resultados obtenidos

Teniendo en cuenta que el modelo utiliza elementos finitos lineales un primer criterio es que existan 10 elementos por longitud de onda local.

Otro software que se empleará será el GID, mediante este software se realizará tanto la definición de la geometría en donde se añadirán las condiciones de contorno, como el mallado a realizar teniendo en cuenta las especificaciones que requiere el MSP.

3. METODOLOGÍA Y ZONIFICACIÓN DE LA ZONA

Así pues, la metodología de la modelización numérica de la agitación portuaria con el MSP incluye las siguientes fases.

- Definición del escenario actual: geometría, coeficientes de absorción.
- Generación de la malla de elementos finitos mediante el GID.
- Resolución de la ecuación Mild Slope: resultados gráficos de amplitudes máximas.
- Análisis de la agitación. Excedencias.

Como paso previo es necesario conocer cuál es la tipología del muelle que se emplea actualmente en las distintas zonas del puerto para ello se ha realizado un reporte fotográfico para poder conocer su estado actual. Para ello se muestran numeradas sobre la figura principal donde están ubicadas las imágenes.

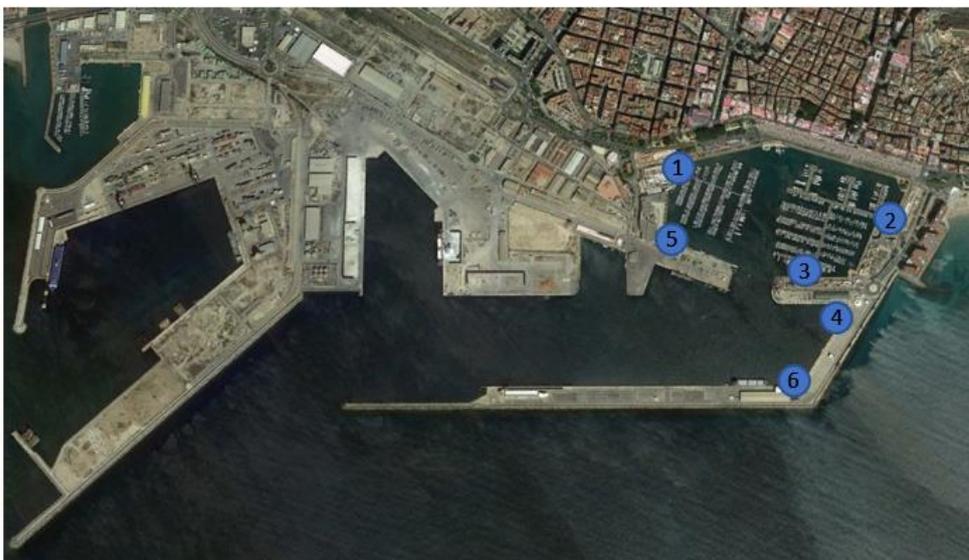


Figura III.1. Imagen del puerto con la situación de los puntos de imagen. Fuente: Google Earth Pro con elaboración propia [Consulta:10 de junio de 2020]

- 1.



Figura III.2. Imagen del muelle en el punto 1. Fuente: Propia

- 2.

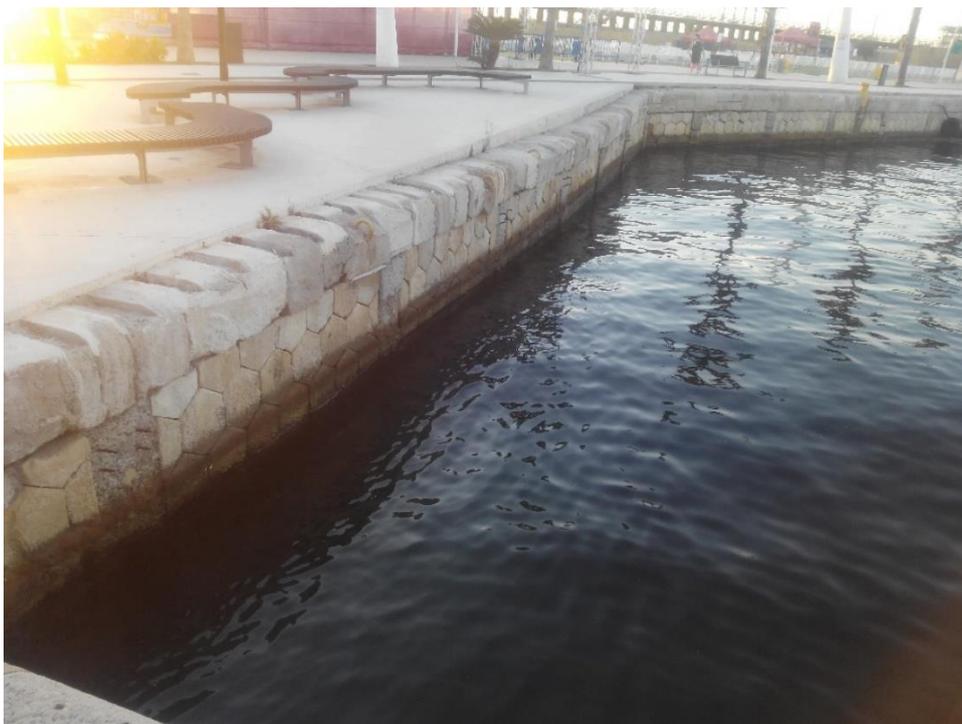


Figura III.3. Imagen del muelle en el punto 2. Fuente: Propia

- 3.



Figura III.4. Imagen del muelle en el punto 3. Fuente: Propia

- 4.



Figura III.5. Imagen del muelle en el punto 4. Fuente: Propia

- 5



Figura III.6. Imagen del muelle en el punto 5. Fuente: Propia

- 6.



Figura III.7. Imagen del muelle en el punto 6. Fuente: Propia

En cuanto a la dársena central y la terminal de cruceros no ha sido posible el acceso, sin embargo, en la gran mayoría de estos puntos siguen con la misma tipología de las imágenes anteriores, salvo en las zonas nuevas las cuales se tratan de cajones de hormigón.

La información que se puede sacar de estas imágenes se puede resumir en los siguientes puntos, en primer lugar, se tratan de elementos reflejantes en la mayoría del Puerto de Alicante a excepción de la ampliación del muelle número 13 realizado en 2016 el cual se trata de un muelle antirreflejante. En segundo lugar, es la imagen de los pantalanes los cuales se consideran fijos apoyados por diversas pilas.

A la hora de la definición de la geometría de nuestro puerto se ha tenido que realizar una serie de cambios acorde con lo mencionado anteriormente en las limitaciones. Dichos cambios son la suavización de los contornos, ya que en la geometría inicial incorpora una gran cantidad de elementos que afectan de manera perjudicial al correcto funcionamiento del programa. En primer lugar, se han eliminado los pantalanes deportivos, se sabe que estos pueden actuar a modo de elemento absorbente en pequeña medida, sin embargo, los eliminaremos ya que no es posible el modelarlos con el programa actual quedándose del lado de la seguridad. Otros cambios que se han realizado han sido en la entrada al muelle deportivo como en el mismo, se han suavizado los contornos, pues estos son una zona que consume una gran cantidad de recursos del sistema haciendo o bien que se bloquee en estos puntos con lo que se obtienen malos resultados o bien que no llegue a una convergencia en las iteraciones.

Por último, se ha dividido los modelos en dos, uno para el oleaje y otro para el de ondas de infragravedad, el cual necesita una mayor corona para poder realizar los modelos. Se muestra a continuación como quedarían los distintos modelos:

OLEAJE:

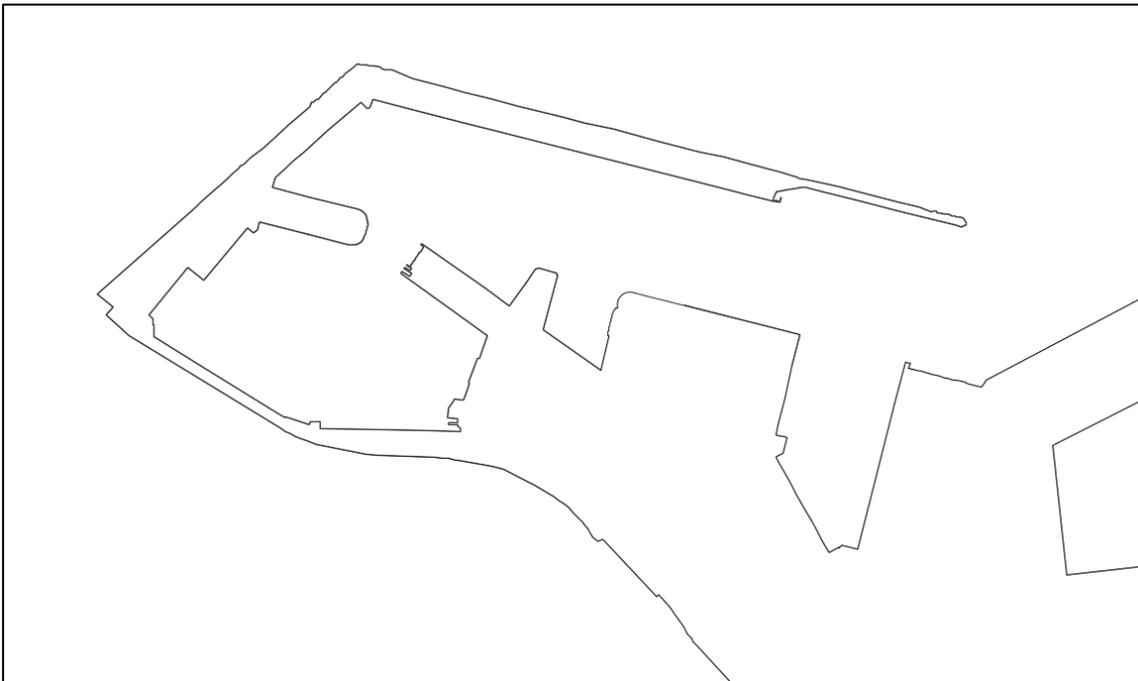


Figura III.8 Esquema la zona de actuación en AutoCAD. Fuente: Propia

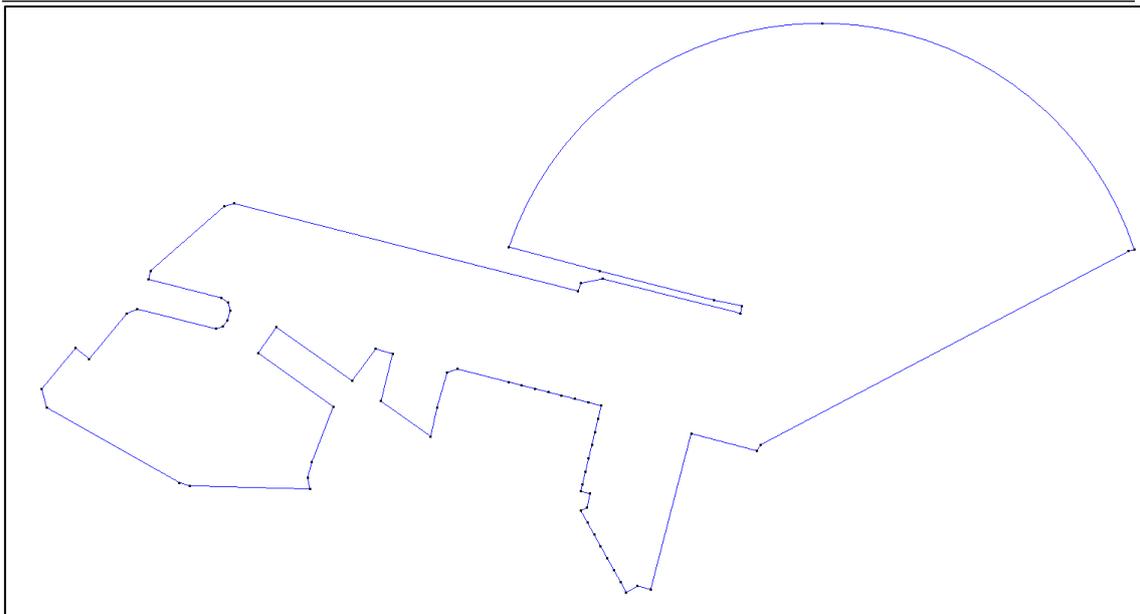


Figura III.9. Esquema de la zona de estudio en el GID, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Como se puede apreciar, el modelo se ha simplificado en algunos puntos con lo que nos permite obtener buenos resultados con casi la misma precisión que los reales. Una vez determinado cuál es la geometría que se va a modelizar, es necesario definir cuáles son los distintos coeficientes de absorción que se van a introducir, para ello nos apoyaremos en el manual, el cual considera 0.6 tanto para rampas como para defensa longitudinal en talud, 0.0 para muelles verticales y valores de 0.2 a 0.4 para parcialmente reflejantes. Se ha realizado un análisis de la zona y con la información que se dispone se ha considerado como situación inicial la siguiente asignación:



Figura III.10. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Esto es debido a que la zona en amarillo se considera como defensa, ya que se encuentra escollera en la misma, mientras que en la verde se basa en muelles verticales, los cuales a falta de información y juzgándolos por las imágenes se consideran del lado de la seguridad que son totalmente reflejantes, es decir, un factor de absorción de 0.0. Por último, debido a las obras que se realizaron en 2016 se incorporaron tres cajones antirreflejantes en el muelle número 11, dichos cajones incorporan un coeficiente de absorción de 0.5.

Como dominio de partida se utiliza un océano semiinfinito, donde la costa se supone semiinfinita con diques semiinfinitos de absorción total. De ahí que se incluya una corona semicircular la cual

será desde donde entrará nuestro oleaje que incide al puerto. Para la generación de la malla de elementos finitos que necesita el MSP. Se ha empleado el programa GID. Este programa describe las coordenadas tanto de los nudos de la malla como los del contorno, la relación de conectividad de elementos y los coeficientes de absorción. Como ya se ha explicado anteriormente el criterio de mallado es procurar que existan 10 elementos por longitud de onda por ello es necesario la realización de un gran mallado bastante denso para poder considerar los periodos pequeños, dando lugar al siguiente:

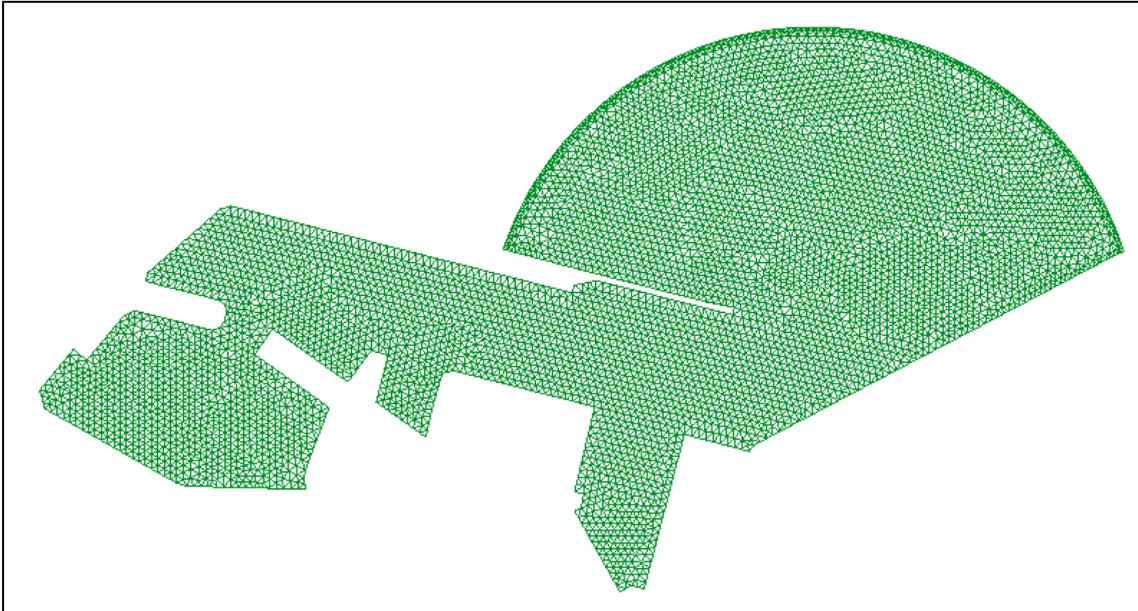


Figura III.11. Mallado de la zona de estudio, oleaje. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Se ha tomado un contorno ficticio semicircular el cual dista 1 kilómetro desde la bocana para poder reproducir todos los oleajes que incidan en nuestro puerto. Una vez conocida la metodología a emplear se representarán las agitaciones máximas, las cuales han sido obtenidas por área. Estas áreas se muestran a continuación, el criterio para definir las ha sido simple, agrupar zonas según su uso y tamaño para cuando se realice el estudio de la operatividad estas quedarán según su tipo para poder compararlo con los valores que marca la ROM 2.0-11.



Figura III.12. Zonificación de la zona de estudio. Fuente: Propia

La zona 1 es destinada tanto para mercancías generales como para granel, la zona 2 solo se da uso para mercancías generales, la zona 3 era la antigua zona pesquera actualmente no se le está dando uso más allá de viejos barcos de pesca, la zona 4 es la terminal de cruceros la cual está en pleno auge y uno de las principales apuestas del puerto de Alicante, la zona 5 se destina a la autoridad portuaria, la zona 6 no recibe uso salvo cuando se trata de las expos donde suelen atracar barcos veleros o antiguos galeones para exponerlos, la zona 7 y 8 son el puerto náutico-deportivo.

De estas zonas tanto la 3, 5 y 6 son las más irrelevantes pues no se obtiene beneficio alguno por estas zonas, será pues que solo nos limitaremos a realizar un análisis de la situación.

ONDAS DE INFRAGRAVEDAD:

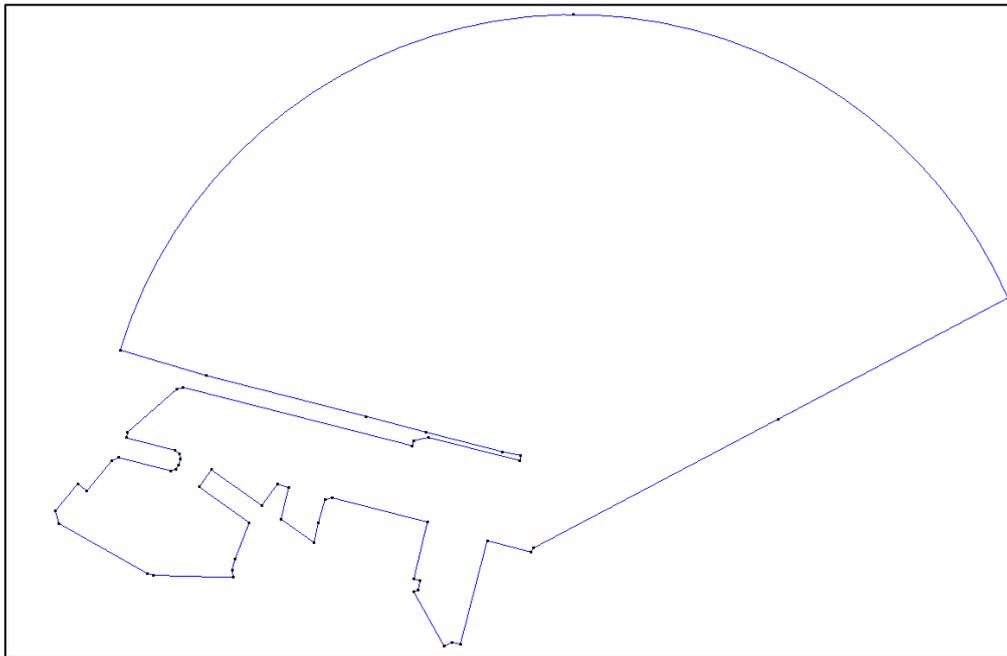


Figura III.13. Esquema de la zona de estudio en el GID, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Como se puede observar, se ha ampliado la corona para permitir la reproducción de oleajes con periodo más largo. De igual modo se han añadido dos líneas imaginarias laterales para poder cerrar el contorno, dichas líneas virtuales son totalmente absorbentes de tal manera que no interfieren con la agitación que se genera en el puerto.

En cuanto a las condiciones de absorción para este modelo se considera que todo es reflejante, es decir, que incluso los antirreflejantes como la escollera de los taludes tienen un coeficiente de absorción nulo. Esto es debido a como se indica en la tesis doctoral de GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017). el oleaje que se genera posee las características de que la altura de ola es pequeña y su periodo es muy amplio lo que genera que el movimiento sea horizontal y muy pequeño en vertical por ello la escollera deja de absorber convirtiéndose en un muelle vertical. En cuanto al antirreflejante solo ha sido diseñado para onda corta, para periodos diferentes de los mismos este deja de ser antirreflejante para convertirse en uno normal. Con ello la situación queda de la siguiente manera:

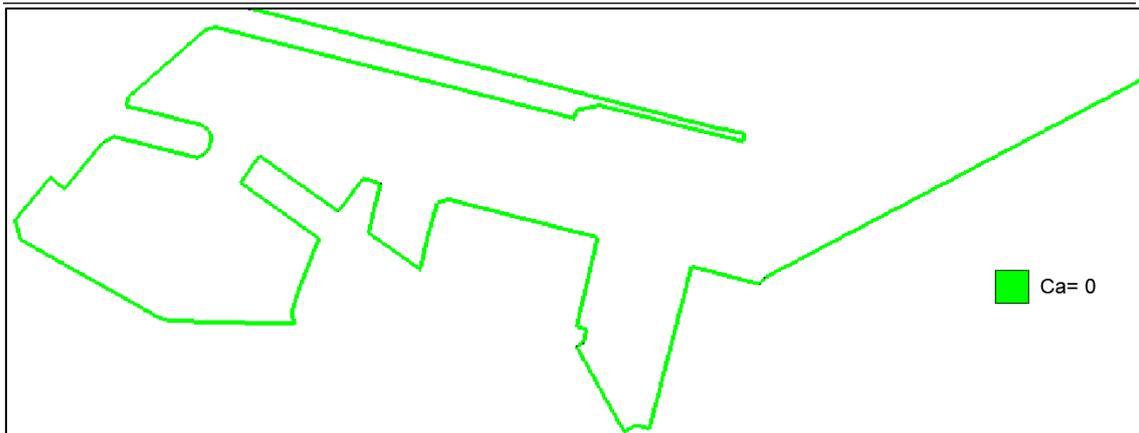


Figura III.14. Zonificación de los contornos según coeficientes de absorción, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Para el mallado se ha procedido de igual manera que para el modelo del oleaje, pero con la diferencia de que los elementos son más grandes en este caso, aun siendo estos de mayor tamaño siguen cumpliendo con las recomendaciones del programa, pues las longitudes de ondas en este caso son mucho más largas que en el anterior, por lo que no es necesario elementos de tamaño tan pequeño.

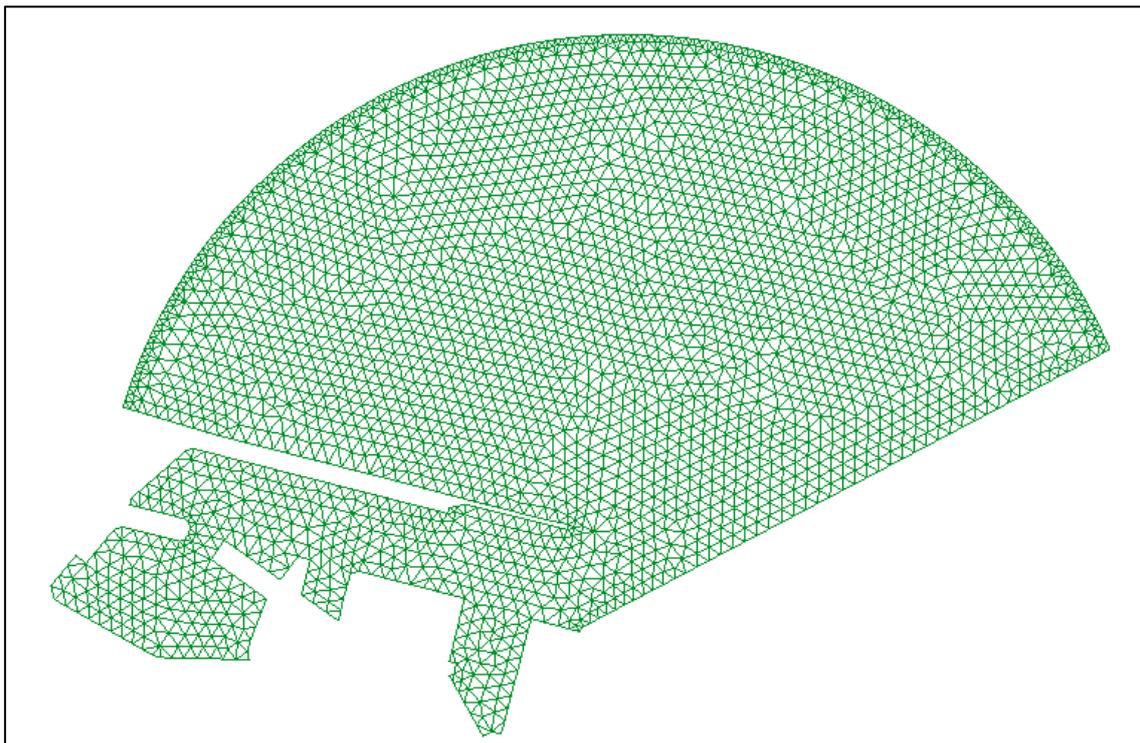


Figura III.15. Mallado de la zona de estudio, ondas de infragravedad. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

En cuanto a la zonificación del área de estudio emplearemos los mismos que en el oleaje, pero debido a que los resultados al ser ondas con periodos largos la diferencia entre unas y otras es poco apreciable por ello solo remarcaremos la zona 1 y la 6.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Anexo II se muestran todas y cada una de las gráficas que se han obtenido según sus direcciones y sus periodos. Dichas gráficas representan el coeficiente de agitación para una altura de ola de $H=1$ m en escalas cromáticas, así como los gráficos de las fases asociados.

Como se puede ver en el Anexo II, se han efectuado los cálculos de agitación interior para todo el régimen medio el cual se ha descrito en los anejos anteriores, así como para las ondas de periodo largo las cuales van desde los 30 segundos a los 300 segundos, agrupadas cada minuto. Los periodos de cada oleaje corresponden al propagado, es decir que se tiene en cuenta el cambio de dirección que sufre un oleaje a medida que se acerca a la costa.

Análisis del Oleaje

De estas graficas se puede desprender la idea de cuáles son las direcciones que afectan más en régimen medio a nuestro puerto, estas son las comprendida entre el S y el SE mientras que el resto de direcciones apenas tienen influencia como era de esperar. De igual modo se puede ver la importancia que tienen las ondas de periodo largo en nuestro puerto, las cuales sí que generan una cierta agitación. A continuación, se muestran los valores de los coeficientes de agitación para el régimen medio. Dichos valores como ya se ha comentado anteriormente son adimensionales.

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
ENE	4.02	0.4	0.2	0	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1
	6.73	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0
	8.32	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	9.45	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0
	10.32	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0
	11.03	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0

Tabla III.1. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección ENE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
E	3.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.83	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
	5.55	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	6.12	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	6.60	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	6.98	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1

Tabla III.2. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección E. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
ESE	5.20	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
	6.87	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35
	8.38	0.2	0.1	0.25	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
	9.67	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1

Tabla III.3. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección ESE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	5.72	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5
	8.23	0.2	0.3	0.1	0.5	0.4	0.8	0.3	0.3
	9.97	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2

Tabla III.4. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección SE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SSE	5.08	0.8	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3
	7.94	1.5	0.3	0.4	0.6	0.4	0.7	0.6	0.7
	9.93	1.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.2	0.4	0.4

Tabla III.5. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección SSE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
S	4.12	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	6.54	1.8	0.4	0.3	0.3	0.7	0.3	0.3	0.3
	8.14	1.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	0.4

Tabla III.6. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección S. Fuente: Propia

Una vez conocidos cuales son nuestros coeficientes adimensionales se procede a la obtención de cual sería nuestra altura de ola que existiría en nuestro puerto. La obtención de dichos resultados es bien simple, solo haría falta la multiplicación de estos coeficientes por la altura de ola que corresponde a cada periodo. Se muestra a continuación cuales serían los resultados.

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
ENE	4.02	0.16	0.08	0	0.04	0.12	0.12	0.04	0.04
	6.73	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0	0
	8.32	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	9.45	0.12	0	0.12	0	0.12	0	0	0
	10.32	0.16	0.16	0.16	0	0.16	0.16	0	0
	11.03	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0	0	0

Tabla III.7. Alturas de olas según zonas, para la dirección ENE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
E	3.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.83	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0	0
	5.55	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
	6.12	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.17	0.17
	6.60	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
	6.98	0.23	0.23	0.23	0.23	0.46	0.23	0.23	0.23

Tabla III.8. Alturas de olas según zonas, para la dirección E. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
ESE	5.20	0	0	0	0	0.04	0.04	0.04	0.04
	6.87	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.315	0.315
	8.38	0.28	0.14	0.35	0.14	0.14	0.14	0.28	0.28
	9.67	0.54	0.36	0.36	0.54	0.36	0.18	0.18	0.18

Tabla III.9. Alturas de olas según zonas, para la dirección ESE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	5.72	0.2	0.16	0.2	0.16	0.24	0.2	0.2	0.2
	8.23	0.19	0.285	0.095	0.475	0.38	0.76	0.285	0.285
	9.97	0.84	0.7	0.56	0.42	0.56	0.56	0.28	0.28

Tabla III.10. Alturas de olas según zonas, para la dirección SE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SSE	5.08	0.36	0.18	0.135	0.18	0.225	0.135	0.135	0.135
	7.94	1.65	0.33	0.44	0.66	0.44	0.77	0.66	0.77
	9.93	1.44	0.48	0.48	0.48	0.6	0.24	0.48	0.48

Tabla III.11. Alturas de olas según zonas, para la dirección SSE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
S	4.12	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1
	6.54	1.44	0.32	0.24	0.24	0.56	0.24	0.24	0.24
	8.14	1.35	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.36	0.36

Tabla III.12. Alturas de olas según zonas, para la dirección S. Fuente: Propia

Se ha marcado en rojo aquellas olas que no cumplen con las limitaciones de operatividad en cada una de las zonas correspondientes, las cuales se han definido en apartados anteriores. Se debe aclarar que para los oleajes en el interior del puerto deportivo pueden estar mayorados en una pequeña medida pues como ya se comentó se ha tenido que suavizar su contorno y la eliminación de los pantalanos con lo que lo más probable es que estas alturas de ola se verían reducidas, sin embargo, sí que existe la certeza de que se seguiría produciendo estos fenómenos resonantes en una escala muy similar.

Ahora se procede con el cálculo del número de horas de parada operativa, se sabe por el anejo del clima marítimo cual es la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los oleajes por lo que se obtiene la siguiente tabla:

	Según ROM 2.0-11			Situación actual
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de horas de excedencias
Muelle graneles sólidos	10	24 h	240	878
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	878
Muelle crucero	10	6 h	60	67
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	244

Tabla III.13. Número de horas de excedencia para el oleaje del oleaje. Fuente: Propia

Como se puede ver tanto para graneles, crucero y náutico deportivo no cumplen. Podría llamar la atención de que a pesar de que cumple en la mayoría de casos y solo se falla en los últimos

dan unos tiempos demasiado grandes, esto es debido a que se han agrupado los oleajes de 0.5m en 0.5m y algunos de ellos recogen una gran probabilidad de ocurrencia como pudiera ser el de la dirección Sur con un $T_p=6.54$ seg. El cual tiene una probabilidad de ocurrencia de 23 días al año. Por ello si este no cumple prácticamente ya excede con las horas máximas de parada operativa.

La dársena central comparte tanto la función de graneles sólidos como de mercancía general es por ello que ambos tienen el mismo número de horas de excedencias

Análisis Ondas de Infragravedad

Se procede de igual manera que en el caso anterior, se muestran los coeficientes de agitación para las zonas 1 y 2 definidas en los apartados anteriores. Estos son los coeficientes de agitación que se han obtenido para la situación actual del puerto de Alicante:

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2
ENE	30.00	0.2	0.2	E	30.00	0.5	0.3	ESE	30.00	0.6	2.4
	60.00	2.5	0.3		60.00	2.7	0.7		60.00	3.6	0.4
	120.00	0.5	0.1		120.00	4.3	2.6		120.00	7.4	4
	180.00	0.2	0.2		180.00	0.3	0.3		180.00	0.3	0.3
	240.00	5.3	4.5		240.00	6.5	6.9		240.00	9	7.6
	300.00	0.2	1		300.00	0.3	1.5		300.00	0.3	1.5

Tabla III.14. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección ENE, E y ESE. Fuente: Propia

DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2
SE	30.00	6.3	0.4	SSE	30.00	0.6	0.5	S	30.00	0.1	0.1
	60.00	2.1	0.2		60.00	4.2	0.6		60.00	2.5	0.5
	120.00	8.9	4.9		120.00	6.9	3.5		120.00	3.9	2
	180.00	0.7	0.4		180.00	0.2	0.2		180.00	0.3	0.2
	240.00	7.1	5.9		240.00	4.9	4		240.00	2.9	2.4
	300.00	0.2	1.2		300.00	0.2	0.5		300.00	0.2	0.3

Tabla III.15. Coeficientes de agitación según zonas, para la dirección SE, SSE y S. Fuente: Propia

Solo se han recogido las zonas 1 como la 6 pues es en donde se produce una mayor problemática tal y como se puede apreciar en las distintas imágenes recogidas en el Anexo II, donde en estas dos zonas los coeficientes de agitación son los máximos, será pues que será en estos lugares donde deberemos de buscar una solución.

De estos resultados se desprende la siguiente idea, para periodos de 60, 120 y 240 segundos es donde se produce la resonancia, pues los coeficientes de agitación para estos periodos son los más elevados, de igual modo como se puede ver, dichos periodos son múltiplos los unos de los otros, es decir, que el puerto tiene un mal comportamiento para periodos de 60 segundos y sus múltiplos.

De igual modo, estos coeficientes por si mismos no nos dicen nada pues, aunque sean grandes la altura de ola es pequeña, por ello para saber si debemos de actuar o no es necesario definir cuál es la falta de operatividad que genera este tipo de ondas en el puerto. La ROM en todas y cada una de sus versiones no recoge nada sobre la operatividad para ondas largas, sin embargo, otros países como Japón sí que mencionan que cuando exista una altura de ola superior a los 10 cm para ondas de periodo largo se produce la rotura de las amarras y por ello parada operativa. En una primera instancia se va a proceder con esta hipótesis para comprobar cuales son los oleajes que sobrepasan esta limitación. Para ello conocidos cuales son nuestros oleajes para

ondas de infragravedad (anejo clima marítimo) se obtiene cuáles son los coeficientes necesarios para producir una ola superior o igual a los 10 cm.

DIR	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Hs (cm)	0.08	0.08	0.14	0.17	0.17	0.14
	0.37	0.62	1.26	2.01	2.51	0.90
	1.46	1.71	4.52	6.41	4.67	1.77
	4.23	3.56	9.95	-	-	-
	8.97	5.74	-	-	-	-
	16.01	8.47	-	-	-	-

Tabla III.16. Alturas de olas según zonas, para todas las direcciones. Fuente: Propia

DIR	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Coeficientes	117.65	131.19	70.17	58.06	58.18	71.75
	26.82	16.11	7.95	4.97	3.98	11.11
	6.86	5.85	2.21	1.56	2.14	5.66
	2.36	2.81	1.00	-	-	-
	1.11	1.74	-	-	-	-
	0.62	1.18	-	-	-	-

Tabla III.17. Comprobación de los coeficientes de agitación que causan parada operativa. Fuente: Propia

Se ha marcado en rojo aquellos coeficientes que son superados en alguno de los resultados de los coeficientes de agitación obtenidos por el MSP, por ello para alguna de estos valores asociados a los distintos periodos del régimen medio generarían paradas operativas, algo que a simple vista parecería imposible debido a la gran cantidad de exceso de ocurrencia, es pues la hipótesis que habíamos generado era errónea o excesivamente del lado de la seguridad.

Otra de las hipótesis para conocer cuál es la falta de operatividad reside en la rotura o fallo de las amarras. Para ello es necesario emplear las fórmulas de Airy, más concreto usaremos la de desplazamiento horizontal para tener una idea de cuanto se puede desplazar el barco, así como el de velocidad para saber si la corriente no es excesiva.

1. Water Surface [m]	$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$
2. Velocity of Propagation [m/s] (Dispersion Equation)	$C = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd$ $= \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh kd}$
3. Wave Length [m]	$L = CT = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd$
4. Horizontal Component of Orbital Velocity [m/s]	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t)$
5. Vertical Component of Orbital Velocity [m/s]	$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t)$
6. Horizontal Orbital Semi-Axis [m]	$A = \frac{H}{2} \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd}$
7. Vertical Orbital Semi-Axis [m]	$B = \frac{H}{2} \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd}$

Figura 9. Fórmulas de Airy, solución lineal de la ecuación de ondas. Fuente: Coastal Engineering Manual.

Como punto de partida utilizaremos aquellos oleajes que han sido marcado en rojo para comprobar si con esta nueva hipótesis obtenemos unos resultados más acordes a la realidad. En cuanto a la rotura de las amarras, en varios documentos se han recogido información acerca de cuanto es la longitud máxima que pueden aguantar, en la tesis “Amarre de buques en reparación: Actuación ante alertas meteorológicas”:

“SISTEMAS DE AMARRE EN BUQUES: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA”

El alargamiento máximo de la guindaleza antes de llegar a la rotura deberá ser:

- Polipropileno multifilamento: 22% de la longitud original
- Polipropileno monofilamento: 20% de la longitud original
- Polipropileno rafia: 14% de la longitud original

El polipropileno rafia tiene un índice de elasticidad similar al sisal.

Con este criterio vamos a fijar una longitud de 40 metros de un cabo, pues estos varían de los 35 metros a los 50 metros. De igual modo, se ha fijado una media del alargamiento máximo que puede soportar, en este caso será de 18.5%. Se supondrá que el cabo es totalmente elástico, algo que es imposible, pero de igual modo estamos buscando el fallo operativo mientras que el que nos indica sería el fallo último pues implica la rotura completa del cabo y el barco no tendría sujeción alguna. Se recogen a continuación los valores del alargamiento que implicarían cada uno de los distintos oleajes, marcando en rojo aquellos que no cumplirían.

		Hs (cm)	4.23		8.97		16.01	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2	
ENE	30.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06	0.06	
	60.00	0.41	0.05	0.87	0.10	1.55	0.19	
	120.00	0.16	0.03	0.35	0.07	0.62	0.12	
	180.00	0.10	0.10	0.21	0.21	0.37	0.37	
	240.00	3.46	2.94	7.34	6.24	13.10	11.13	
	300.00	0.16	0.82	0.35	1.73	0.62	3.09	

Tabla III.18. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia

		Hs (cm)	1.71		3.56		5.74		8.47	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2	
E	30.00	0.02	0.01	0.03	0.02	0.06	0.03	0.08	0.05	
	60.00	0.18	0.05	0.37	0.10	0.60	0.16	0.88	0.23	
	120.00	0.57	0.34	1.18	0.72	1.91	1.15	2.81	1.70	
	180.00	0.06	0.06	0.12	0.12	0.20	0.20	0.29	0.29	
	240.00	1.72	1.82	3.58	3.80	5.76	6.11	8.51	9.03	
	300.00	0.10	0.50	0.21	1.03	0.33	1.66	0.49	2.45	

Tabla III.19. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia

		Hs (cm) 4.52		9.95	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2
ESE	30.00	0.05	0.21	0.12	0.46
	60.00	0.63	0.07	1.39	0.15
	120.00	2.59	1.40	5.69	3.08
	180.00	0.16	0.16	0.35	0.35
	240.00	6.29	5.31	13.84	11.69
	300.00	0.26	1.31	0.58	2.88

Tabla III.20. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia

		Hs (cm) 2.01		6.41	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2
SE	30.00	0.25	0.02	0.78	0.05
	60.00	0.16	0.02	0.52	0.05
	120.00	1.38	0.76	4.40	2.42
	180.00	0.16	0.09	0.52	0.30
	240.00	2.21	1.83	7.02	5.84
	300.00	0.08	0.47	0.25	1.48

Tabla III.21. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia

		Hs (cm) 3.98		2.14	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2
SSE	30.00	0.03	0.02	0.05	0.05
	60.00	0.41	0.06	0.76	0.11
	120.00	1.34	0.68	2.49	1.26
	180.00	0.06	0.06	0.11	0.11
	240.00	1.90	1.55	3.53	2.88
	300.00	0.10	0.24	0.18	0.45

Tabla III.22. Desplazamiento horizontal del oleaje, para la dirección ENE. Fuente: Propia

Con todo esto se observa que resultaría una parada operativa de **3 días**, para los valores que se sitúan en rojo, algo muy parecido a la realidad. Estas paradas operativas se deben de sumar a las que ya habíamos descrito anteriormente, pues como se puede ver son para oleajes cuyas direcciones no se han contemplado anteriormente quedando el tiempo de parada de la siguiente manera:

	Según ROM 2.0-11			Situación actual
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de excedencias
Muelle graneles solidos	10	24 h	240	947
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	947
Muelle crucero	10	6 h	60	67
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	244

Tabla III.23. Número de horas de excedencia para el oleaje del oleaje y el de infragravedad. Fuente: Propia

El elevado número de horas de excedencia se da principalmente en la dársena central será pues esta la que se deba de mejorar principalmente.

5. CONCLUSIONES

De los resultados de operatividad obtenidos considerando tanto el oleaje como las ondas de infragravedad, se concluye que:

- se ha verificado la potencial existencia de problemas de agitación que tienen lugar en el interior del puerto,
- el oleaje supera los valores umbrales que dicta la ROM 2.0-11 para la operatividad en la zona
- las direcciones de procedencia del oleaje más orientadas hacia el Sur son las que producen la mayor parte de la problemática, esto es debido a como ya se viene diciendo a que la orientación de la bocana permite la entrada de estos oleajes directamente hacia los muelles sin reducirlos, por el contrario de los oleajes que tienden más al Norte se ven afectados por las obras de abrigo las cuales reducen en una gran medida que el oleaje se propague por el interior del mismo
- las ondas de infragravedad (ver Anexo II) también pueden producir efectos de resonancia,
- se ha realizado una serie de hipótesis para poder realizar una estimación de cuáles son las probabilidades asociadas a las ondas de infragravedad que pueden generar una parada operativa, así como en las distintas zonas que son afectadas.

Por lo tanto, se muestra necesario proponer soluciones que minimicen los efectos de la agitación/resonancia que se producen el oleaje (principalmente para los oleajes procedentes del Sur) y para las ondas de infragravedad (principalmente para la dirección del Norte). Esta solución deberá incorporar de elementos antirreflejantes que puedan mitigar en buen grado la reflexión que se produce tanto para el oleaje de corto periodo como para las ondas de infragravedad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BEHRENDT, L (1984) “*A Finite Element Model for Water Diffraction Including Boundary Absorption and Bottom Friction*”. Dinamarca: Danmarks Tekniske Højskole
- CID BACORELLE, D (2014). “*Amarre de buques en reparación: Actuación ante alertas meteorológicas*”. Tesis doctoral. A coruña: Universidade Da Coruña. <https://core.ac.uk/download/pdf/61913377.pdf> [Consulta: 20 de junio de 2020]
- GID (1987) Universitat Politècnica de Catalunya. <https://www.gidhome.com/> [Consulta: 20 de junio de 2020]
- GONZÁLEZ-ESCRIVÁ, J. A. (2017). Análisis de la efectividad de las estructuras antirreflejantes en la atenuación de la resonancia en puertos. Tesis doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/86183> [Consulta 15 de mayo de 2020]
- MARTÍNEZ et al, (2010). *Designing a new Low-Reflexivity Quay wall caisson*. PIANC Proceedings.
- MARUCA (2009). Caracterización climática del medio físico español para la optimización de la explotación portuaria y navegación marítima. Ministerio de fomento, <http://maruca.ihcantabria.es/> [Consulta: 28 de junio de 2020]
- OVERSEAS COASTAL AREA DEVELOPMENT INSTITUTE OF JAPAN (OCDI) (2009). “*Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*” <http://ocdi.or.jp/en/technical-st-en> [Consulta 30 de junio de 2020]
- ROM 2.0-11 (2012). *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de Atraque y Amarre*. Madrid: Puertos del Estado.
- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Manual del usuario MSP*. <https://ihcantabria.com/specialized-software/msp/> [Consulta: 20 de junio de 2020]
- U.S. ARMY (1973) “*Shore protection manual*”. Department of the army corps of engineers

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	95
2. CRITERIOS PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS	95
3. ELEMENTOS DE ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS	96
4. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.....	104
5. CONCLUSIONES	106
6. BIBLIOGRAFÍA	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV.1. Incidencia del oleaje en el interior del puerto. Fuente: Google Earth Pro con modificación [Consulta:10 de junio de 2020]	96
Figura IV.2. Incidencia del oleaje en el interior del puerto. Fuente: Google Earth Pro con modificación [Consulta:10 de junio de 2020]	97
Figura IV.3. Incidencia del oleaje en el interior del puerto. Fuente: Google Earth Pro con modificación [Consulta:10 de junio de 2020]	97
Figura IV.4. Comportamiento de los distintos cajones para obtener los coeficientes de absorción. Fuente: MARTÍNEZ et al, (2010).	99
Figura IV.5. Coeficientes de absorción para el oleaje en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	99
Figura IV.6. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	100
Figura IV.7. Coeficientes de absorción para el oleaje en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	100
Figura IV.8. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	101
Figura IV.9. Coeficientes de absorción para el oleaje en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	101
Figura IV.10. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 3. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla IV.1. Oleajes tanto en ondas medias como de periodo largo que no cumplen con la normativa. Fuente: Propia	95
Tabla IV.2. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia	102
Tabla IV.3. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 2. Fuente: Propia	103
Tabla IV.4. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 3. Fuente: Propia	103
Tabla IV.5. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia	103
Tabla IV.6. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 2 y 3. Fuente: Propia ...	103
Tabla IV.7. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia	104
Tabla IV.8. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 2. Fuente: Propia	104
Tabla IV.9. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 3. Fuente: Propia	104
Tabla IV.10. Número de horas de excedencia según alternativas. Fuente: Propia	105
Tabla IV.11. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia	105
Tabla IV.12. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 2 y 3. Fuente: Propia	105
Tabla IV.13. Número de horas de excedencia para ondas de infragravedad según alternativas. Fuente: Propia	106

1. INTRODUCCIÓN

La problemática expuesta en el apartado anterior, en el que se determinan los valores de operatividad en el Puerto de Alicante, tanto el oleaje de corto periodo como las ondas de infragravedad constituye el punto de partida para la propuesta de soluciones que minimicen los efectos de la agitación y resonancia portuaria y por lo tanto optimicen la operatividad del Puerto de Alicante.

El estudio de alternativas que se plantea en el presente Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante se presenta en dos niveles: por una parte, se estudian las trayectorias de las ondas incidentes para proponer la ubicación óptima de los elementos antirreflejantes y, por otra parte, se identifican las tipologías ARJ-R de muelles antirreflejantes con circuitos disipativos largos que combinen la atenuación tanto del oleaje como de la onda larga de infragravedad asociada.

Las distintas alternativas son valoradas y discutidas en función de los criterios seleccionados para la idoneidad de la solución adoptada indicándose la solución óptima.

Resumiendo, el objeto del presente apartado es la obtención de la solución óptima a partir de una serie de propuestas de soluciones para la ubicación óptima de la instalación de elementos antirreflejantes ARJ-R, diseñados para las condiciones de oleaje y onda de infragravedad existentes, los cuales se recogen en la tabla siguiente:

DIR	Tp(s)	Dirección
ENE	120	N67.5E
	240	N67.5E
E	120	S90E
	240	S90E
ESE	120	S67.5E
	240	S67.5E
SE	8.234	S48.52S
	9.968	S50.05S
SSE	7.941	S30.59E
	9.929	S35.66E
S	6.538	S8.4E
	8.143	S16.62E

Tabla IV.1. Oleajes tanto en ondas medios como de periodo largo que no cumplen con la normativa. Fuente: Propia

En el siguiente apartado se definirá la solución óptima efectuándose las comprobaciones pertinentes que aseguren su viabilidad.

2. CRITERIOS PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Cada una de las distintas alternativas que se van a proponer deben de tener en cuenta que se trata de buscar los siguientes aspectos:

-Que la alternativa planteada y posteriormente adoptada tiene que resolver la problemática existente, es decir, tiene que ser funcional. Este es el factor que más peso tendrá a la hora de seleccionar la mejor alternativa.

-Contemplar los posibles impactos ambientales de la solución adoptada de manera que se consiga una sincronía con el medio ambiente.

-Se debe tener presente un buen criterio estético, si se van a realizar cambios en la parte del puerto deportivo, así como en la dársena central, teniendo en cuenta la importancia del turismo y la presión urbanística existente en la zona.

-La solución final debe poder ser ejecutada con un presupuesto razonable. Esta medida será las más importantes con respecto a las otras.

Se ha buscado que cada alternativa trate de cumplir con los anteriores criterios, es por ello que se mostrarán algunas de ellas, las cuales cumplen estos aspectos.

3. ELEMENTOS DE ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS

Previo a comenzar se debe de saber hacia dónde orientar nuestras soluciones, de los resultados se sabe que los oleajes que inciden directamente en las dársenas son las que producen una mayor reflexión, por ello se muestran a continuación varios de los oleajes incidiendo según su dirección, de modo que se puede ver en que muelles incide directamente. En estas imágenes no se ha tenido en cuenta el fenómeno de difracción, es decir, de lo que se trata es de mostrar cual es la zona que se ve más afectada.

Para la dirección sur, el muelle número 13 es el más afectado y en donde se produce la mayor reflexión, con lo cual produce que en la dársena central se vea la problemática de la agitación.



Figura IV.1. Incidencia del oleaje en el interior del puerto. Fuente: Google Earth Pro con modificación [Consulta:10 de junio de 2020]

A medida que el oleaje se va inclinando cada vez más hacia el Este se va reduciendo la entrada del mismo en la dársena central, pero si se refleja en los espigones los cuales a pesar de tener un alto grado de absorción ayudan a redirigir el oleaje hacia el interior de las dársenas exterior, que junto con el fenómeno de difracción lo más probable es que afecten al muelle número 11 el cual dirige todo el oleaje hacia el interior.



Figura IV.2. Incidencia del oleaje en el interior del puerto. Fuente: Google Earth Pro con modificación [Consulta:10 de junio de 2020]

Ya con una inclinación más tendida hacia el Este, el oleaje que incide en la dársena central es mínima, pero la que afecta al interior del puerto va en aumento. Esto se puede ver en los coeficientes de agitación los cuales para direcciones S, SSE y SE afectan en un mayor grado únicamente a las dársenas central mientras que el resto de direcciones afectan al interior del puerto en especial al puerto deportivo.



Figura IV.3. Incidencia del oleaje en el interior del puerto. Fuente: Google Earth Pro con modificación [Consulta:10 de junio de 2020]

En todos ellos la dársena central es donde se acumula el oleaje incidente y de igual manera al cabo de varios rebotes puede escapar y propagarse hacia la dársena exterior y de ahí hacia el muelle deportivo, será pues esta zona la que más impacto tiene respecto al resto.

Es pues que gracias a estas imágenes sabemos que muelles son los que debemos modificar para poder obtener una solución efectiva sin la necesidad de realizar cambios en la mayoría de los muelles. Se presentan a continuación tres alternativas diferentes para poder paliar la problemática surgida de la operatividad del régimen medio, así como para ondas de periodo largo tratar de disminuir en la medida que podamos, teniendo en cuenta los costes y las limitaciones de los estudios, la agitación/resonancia que se produce.

La solución pasa por la incorporación de elementos antirreflejante, para poder reducir la reflectividad, Jarlan (1961) incorporó lo que se conoce como cámaras disipantes de energía las cuales son paredes frontales perforadas, desde ese momento hasta la actualidad han ido progresando los distintos avances de distintas tipologías pueden ser cajones de celdas ranuradas, muelles con piezas prefabricadas, pantallas porosas, cimentación profunda a base de tablestacas. De estas tipologías para los periodos que manejamos los más interesantes son los cajones de celdas circulares.

La energía reflejada dependerá de las características del muelle cuyo diseño puede favorecer la reducción del coeficiente de reflexión. Desde un punto de vista práctico, cualquier estructura considerada eficaz para este propósito debe también considerar aspectos económicos, de construcción, de estabilidad y de mantenimiento que pueden hacer una estructura preferible a otra. De entre las diferentes alternativas consideradas.

De entre las distintas tipologías la más recomendable para nuestro caso es el empleo de cajones antirreflejantes de tipología multicircuitos, esto es debido a la gran facilidad que tienen para adaptarse a un gran número de oleajes distintos y son los que mejor resultado dan sin la necesidad de modificar la geometría de los muelles.

En todas las alternativas se trata de la combinación de elementos tipo cajón antirreflejantes tanto para periodo corto como para las ondas de infragravedad, dichos cajones tienen una longitud de 36.95 metros tal como se muestran en MARTÍNEZ et al, (2010).

Como ya se ha visto, la agitación se da para periodos comprendidos de los 7 a los 9 segundos, en los cuales nos dan la mayor parte de los problemas, sabiendo esto, un aspecto muy importante en la geometría del cajón es el ancho de la cámara, pues como se muestra a continuación de este dependerá la energía de disipación y para periodos muy cercanos los unos de los otros tendrá un comportamiento muy similar pero cuando aparezcan periodos distintos del de resonancia, este funcionará de manera semejante a una estructura vertical reflejante.

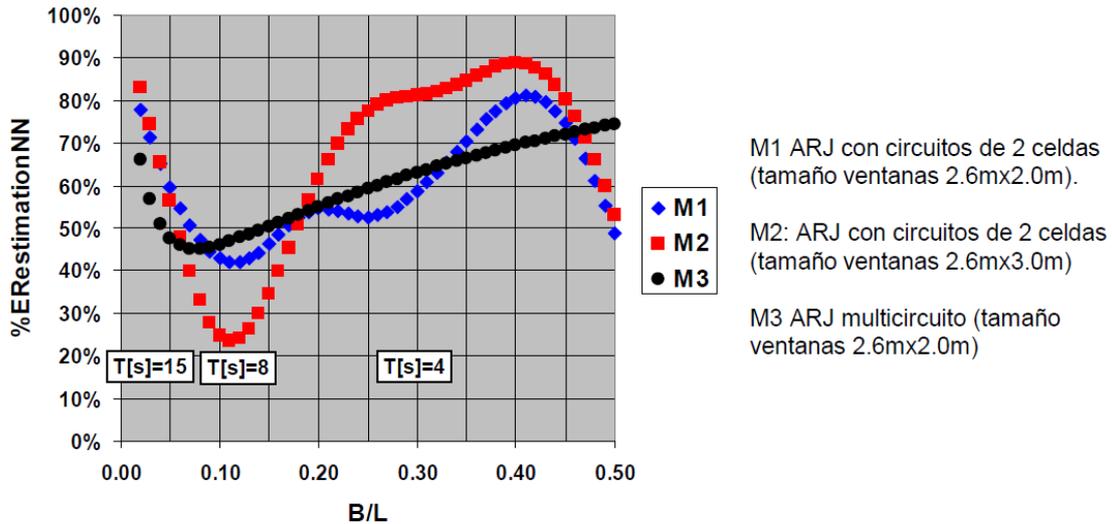


Figura IV.4 Comportamiento de los distintos cajones para obtener los coeficientes de absorción. Fuente: MARTÍNEZ et al, (2010).

Se puede ver en la gráfica que el cajón M3 multicircuito presenta una respuesta mucho más homogénea en comparación con las otras 2 tipologías, este será el diseño más idóneo para los distintos oleajes y temporales, debido a que cubre un mayor rango de periodos para un mismo valor de B/L, sin embargo, el principal problema es la baja reducción de la energía de disipación que existirá dando un coeficiente máximo de 55% de reducción.

Con todo ello se pretende proponer 3 alternativas, las cuales incluyan todo lo que hemos comentado, y sabiendo que los nuevos coeficientes de absorción para los cajones a diseñar que manejaremos están entorno a un 0.5

Alternativa 1:

Con estos datos y sabiendo cuales son nuestros periodos resonantes, se ha podido estimar cuales pueden ser los coeficientes de absorción para nuestro caso, oleaje:

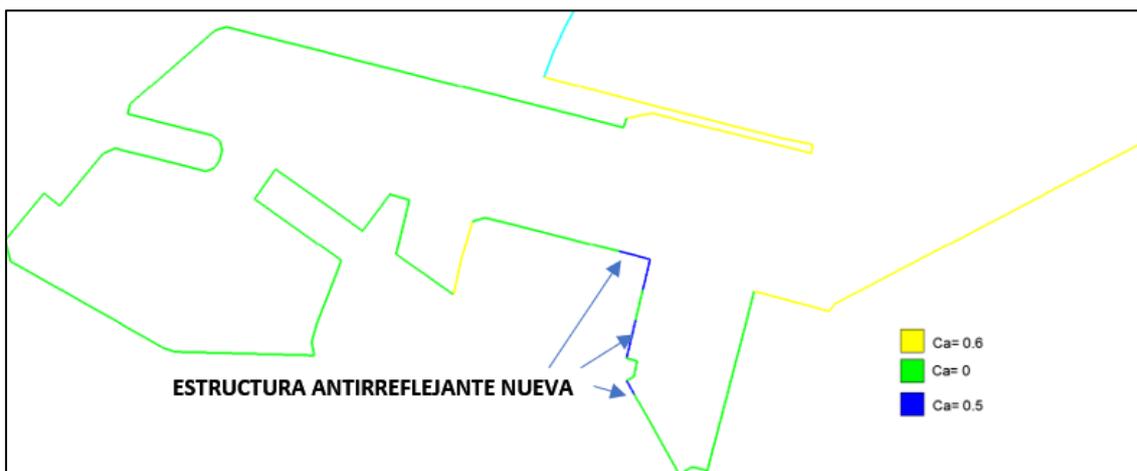


Figura IV.5. Coeficientes de absorción para el oleaje en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Se puede ver como los elementos antirreflejantes se sitúan donde incide directamente con las direcciones que provienen de la bocana para reducir al máximo la agitación. El total de cajones

a emplear son 1 en la dársena exterior y la realización de aperturas en el cajón antirreflejante existente, junto con la introducción de 3 cajones completos y uno de la mitad de la longitud.

Coefficientes de absorción propuestos para las ondas de periodo largo.

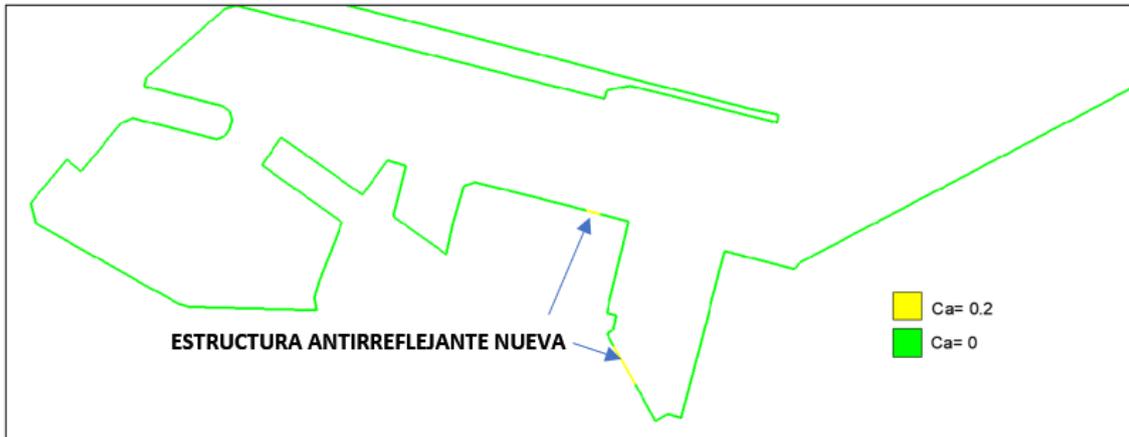


Figura IV.6. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Los restantes elementos del muelle 15 y 11 se disponen como antirreflejante para periodo largo y realizar así una solución combinada de ambos. La cantidad de cajones a emplear es de 1 en la dársena exterior y de 3 en la dársena central.

Alternativa 2:

La diferencia básica de esta alternativa con la anterior es que no se intercalan los elementos antirreflejantes de para periodos largos y para los del oleaje medio, sino que quedan separados, de igual modo se ha prolongado el antirreflejante en el muelle 11 para el periodo medio y así obtener mejores resultados en las dársenas interiores y el muelle deportivo.

Coefficientes de absorción propuestos para las ondas de gravedad.

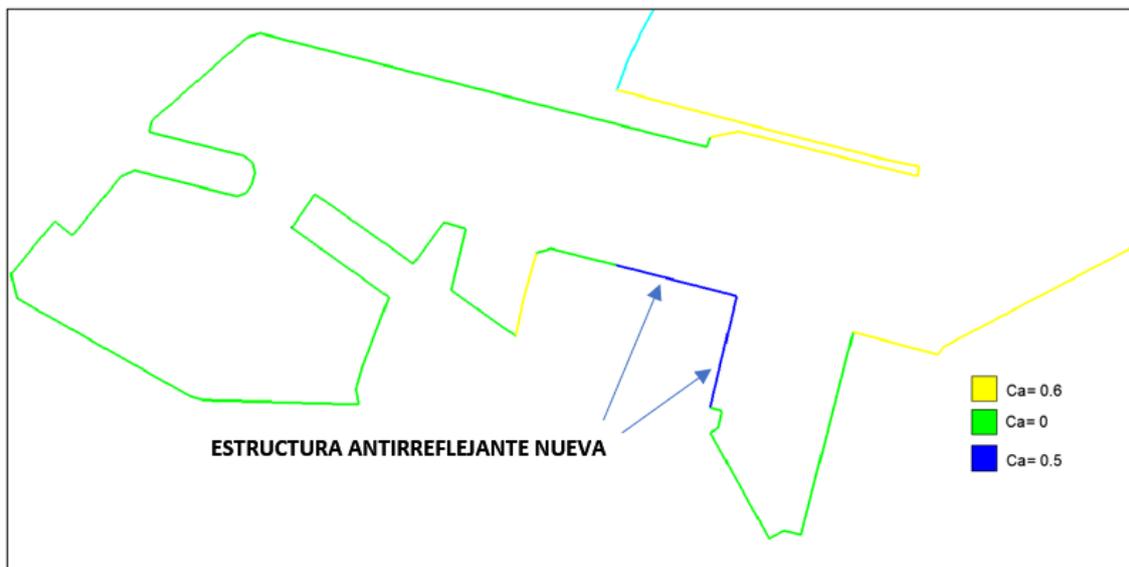


Figura IV.7. Coeficientes de absorción para el oleaje en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Se puede ver como los elementos antirreflejantes se sitúan donde incide directamente con las direcciones que provienen de la bocana para reducir al máximo la agitación. El total de cajones a emplear son 7 en la dársena exterior y la realización de aperturas en el cajón antirreflejante existente, junto con la introducción de 4 cajones completos y uno de la mitad de la longitud.

Coefficientes de absorción propuestos para las ondas de periodo largo.

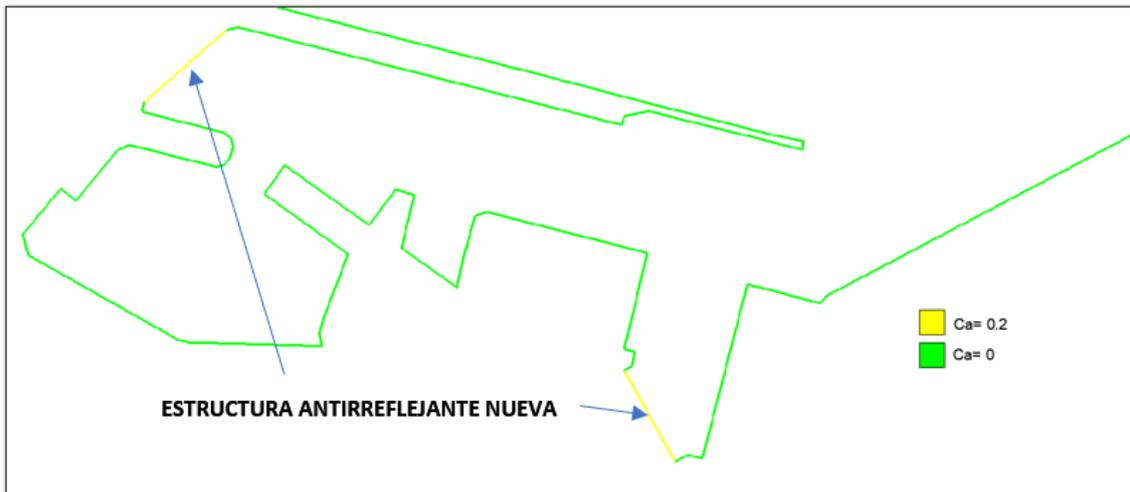


Figura IV.8. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

A su vez se cambiará todo el muelle 12, la sección recta, de elementos antirreflejantes, así como todo el muelle 15.

Alternativa 3:

Con esta alternativa se trata de ver si el colocar un antirreflejante a lo largo del muelle numero 11 es necesario, es por ello que para esta alternativa no se ha decidido prescindir del antirreflejante en dicho muelle y compara los resultados.

Coefficientes de absorción propuestos para el oleaje de gravedad.



Figura IV.9. Coeficientes de absorción para el oleaje en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

El total de cajones a necesitar será de 4 cajones completos y uno de la mitad de la longitud en la dársena central.

Coefficientes de absorción propuestos para las ondas de periodo largo.

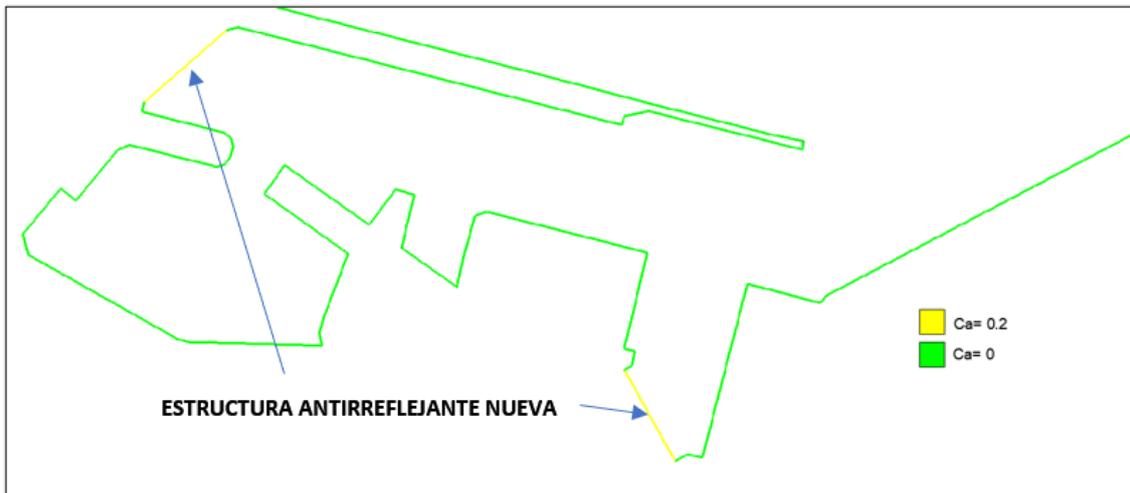


Figura IV.10. Coeficientes de absorción para las ondas de infragravedad en la alternativa 3. Fuente: Elaboración propia con uso del GIS

En este caso la alternativa 3 para ondas de periodo largo es la misma que la alternativa 2, con lo que se cambiará todo el muelle 12, la sección recta, de elementos anti-reflejanetes, así como todo el muelle 15.

Una vez conocidas las alternativas se muestran cuáles son los distintos coeficientes de agitación que se obtendrían con las distintas situaciones, el modo de obtener estos coeficientes ha sido el mismo que en la situación actual, pero haciendo énfasis en aquellos puntos en los cuales no cumplían, pues en los que si cumplen seguirán dando el mismo valor o menor ya que no se ha introducido ningún elemento que modifique la geometría del lugar.

Para el Oleaje tendremos:

ALTERNATIVA 1									
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	8.23	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	9.97	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1
SSE	7.94	0.6	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3
	9.93	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
S	4.12	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	6.54	0.9	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
	8.14	0.8	0.6	0.2	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2

Tabla IV.2. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia

ALTERNATIVA 2									
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	8.23	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	9.97	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1
SSE	7.94	0.6	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	9.93	0.8	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
S	4.12	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	6.54	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	8.14	1	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2

Tabla IV.3. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 2. Fuente: Propia

ALTERNATIVA 3									
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	8.23	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	9.97	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1
SSE	7.94	0.7	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.8	0.8
	9.93	0.8	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
S	4.12	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	6.54	0.6	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1
	8.14	1	0.6	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3

Tabla IV.4. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 3. Fuente: Propia

Para ondas de infragravedad:

Alternativa 1					
		Coef. De agitación		Hs (cm)	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 6	ZONA 1	ZONA 6
ENE	240.00	3.50	3.20	8.65	7.30
E	240.00	5.90	5.00	7.40	6.54
ESE	240.00	6.50	5.50	9.99	8.46

Tabla IV.5. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia

Alternativa 2 y 3					
		Coef. De agitación		Hs (cm)	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 6	ZONA 1	ZONA 6
ENE	240.00	2.30	2.00	5.68	4.94
E	240.00	3.50	3.20	4.58	4.18
ESE	240.00	3.20	2.80	4.92	4.30

Tabla IV.6. Coeficientes de agitación según zonas para la alternativa 2 y 3. Fuente: Propia

Se puede ver como las alternativas tanto 2 como 3 reducen en su completo la agitación del oleaje, mientras que la alternativa 1 solo la reduce parcialmente, aunque obteniendo buenos resultados para la dirección ESE no cumple con la operatividad.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para la elección de la solución técnica idónea se utilizará la técnica del Análisis Multicriterio, teniendo en cuenta lo funcional que es la alternativa, el carácter estético de la misma, su impacto ambiental y la justificación económica.

En primer lugar, se muestran los porcentajes de mejora de cada una de las alternativas respecto a la situación base.

ALTERNATIVA 1									
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	8.23	0%	67%	0%	60%	50%	75%	67%	67%
	9.97	50%	40%	50%	67%	25%	25%	50%	50%
SSE	7.94	60%	0%	50%	67%	0%	43%	17%	29%
	9.93	75%	50%	25%	50%	60%	50%	75%	75%
S	4.12	0%	33%	33%	33%	0%	0%	50%	50%
	6.54	56%	50%	33%	0%	71%	67%	67%	67%
	8.14	47%	25%	75%	75%	50%	50%	50%	50%

Tabla IV.7. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia

ALTERNATIVA 2									
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	8.23	0%	67%	0%	60%	50%	75%	67%	67%
	9.97	33%	60%	50%	67%	25%	25%	50%	50%
SSE	7.94	60%	33%	50%	67%	75%	86%	83%	86%
	9.93	33%	50%	25%	50%	60%	50%	75%	50%
S	4.12	0%	33%	33%	33%	0%	0%	50%	50%
	6.54	67%	50%	67%	33%	71%	67%	67%	67%
	8.14	33%	38%	75%	75%	63%	75%	50%	50%

Tabla IV.8. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 2. Fuente: Propia

ALTERNATIVA 3									
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8
SE	8.23	0%	67%	0%	60%	50%	75%	67%	67%
	9.97	33%	60%	50%	67%	25%	25%	50%	50%
SSE	7.94	53%	0%	50%	67%	0%	57%	33%	14%
	9.93	33%	50%	25%	50%	40%	0%	25%	25%
S	4.12	0%	33%	33%	33%	0%	0%	50%	50%
	6.54	67%	50%	67%	0%	43%	33%	67%	67%
	8.14	33%	25%	75%	63%	38%	50%	25%	25%

Tabla IV.9. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 3. Fuente: Propia

Como parece lógico la incorporación de cojones antirreflejantes en la parte final del muelle número 11 (alternativa 1) ayuda a tener un muy buen comportamiento en la en la dársena central a diferencia de las alternativas 2 y 3 que solo incorporan antirreflejante, pero para ondas largas. De igual modo mediante la alternativa 3 se puede observar como

	Según ROM 2.0-11		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de excedencias	Número de excedencias
Muelle graneles solidos	10	24 h	240	0	76
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	0	76
Muelle crucero	10	6 h	60	0	0
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	0	15

Tabla IV.10. Número de horas de excedencia según alternativas. Fuente: Propia

En cuanto al a la mejora de la operatividad respecto de las ondas largas:

		Alternativa 1			
		Hs (cm)		% Mejora	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2
ENE	240.00	8.65	7.30	34%	34%
E	240.00	7.40	6.54	13%	28%
ESE	240.00	9.99	8.46	28%	28%

Tabla IV.11. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 1. Fuente: Propia

		Alternativa 2 y 3			
		Hs (cm)		% Mejora	
DIR	Tp(s)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 1	ZONA 2
ENE	240.00	5.68	4.94	57%	56%
E	240.00	4.58	4.18	46%	54%
ESE	240.00	4.92	4.30	64%	63%

Tabla IV.12. Porcentajes de mejora según zonas para la alternativa 2 y 3. Fuente: Propia

Se puede apreciar como el porcentaje de mejora de la Alternativa 1 es significativamente inferior respecto de las otras alternativas, esto es debido a la diferencia en el número de cajones empleados entre las distintas Alternativas. Con todo ello se recogen como quedarían el número de horas de excedencia para cada una de las alternativas:

	Según ROM 2.0-11		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
	Nm	Duraciones máximas de paradas	Nº de horas al año	Número de excedencias	Número de excedencias	Número de excedencias
Muelle graneles solidos	10	24 h	240	43	0	0
Muelle mercancías generales	10	6 h	60	43	0	0
Muelle crucero	10	6 h	60	0	0	0
Muelle Náutico-Deportivo	5	3 h	15	0	0	0

Tabla IV.13. Número de horas de excedencia para ondas de infragravedad según alternativas. Fuente: Propia

Como se puede ver, para la alternativa 1 aunque se ha conseguido reducir en un porcentaje alto la agitación de la dársena, aún no ha sido suficiente, produciéndose para las direcciones ENE y ESE un cierto exceso de ocurrencia para la operatividad. En cuanto a las alternativas 2 y 3 ambas las reducen en gran medida evitando que el oleaje supere los umbrales mencionados anteriormente.

En cuanto a un valor económico no hace falta saber que tanto la alternativa 2 y 3 requieren un mayor coste tanto de construcción como de demolición, dicho coste puede rondar desde el doble al triple teniendo en cuenta de la necesidad de un mayor número de cajones.

5. CONCLUSIONES:

A partir de las combinaciones de ubicaciones idóneas y muelles antirreflejantes, se han definido 3 alternativas que se consideran como solución que reduciría los efectos de la agitación/resonancia en el Puerto de Alicante.

La alternativa 1 palia la problemática de la agitación para el oleaje de corto periodo, no obstante, para las ondas largas no se consigue eliminar totalmente el número de horas de excedencia para la operatividad. Se podría aumentar el número de cajones como puede verse en las alternativas 2 y 3 pero con un sobrecoste difícilmente justificable de manera objetiva dada la incertidumbre asociada a la probabilidad de presentación del oleaje de infragravedad. La principal apuesta de la alternativa 1 es el bajo número de cajones necesarios para poder conseguir la reducción, por ello su estrategia de la colocación de los mismos de la manera más efectiva posible.

Para las alternativas 2 y 3 se ha buscado lo que sería una solución teórica, es decir, ver donde puede reflejarse la energía y colocar de manera masiva un gran número de cajones. Sin embargo, para el oleaje de corto periodo, en la dársena central sería necesario colocar cajones en la parte más orientada hacia el norte del muelle 11 para poder cumplir.

En la alternativa 3 se ha podido comprobar la gran importancia que puede tener la colocación de cajones en el muelle 13 para evitar problemas en la dársena exterior y en el muelle náutico-deportivo. También, para ondas largas se ha podido ver como se ha conseguido reducir en una gran medida la agitación de la zona, no obstante, la difícil justificación del sobrecoste del mismo.



Con todo ello, la alternativa que se propone como óptima con los criterios seleccionados es la número 1, pues es la que nos proporciona resultados adecuados con una menor inversión.

6. BIBLIOGRAFÍA

- GID (1987) Universitat Politècnica de Catalunya. <https://www.gidhome.com/> [Consulta: 20 de junio de 2020]
- GONZÁLEZ-ESCRIVÁ, J. A. (2017). Análisis de la efectividad de las estructuras antirreflejantes en la atenuación de la resonancia en puertos. Tesis doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/86183> [Consulta 15 de mayo de 2020]
- JARLAN, G.E (1961). “*A perforated vertical breakwater*”, The Dock and Harbour Authority.
- MARTÍNEZ et al, (2010). Designing a new Low-Reflexivity Quay wall caisson. PIANC Proceedings.
- MARUCA (2009). Caracterización climática del medio físico español para la optimización de la explotación portuaria y navegación marítima. Ministerio de fomento, <http://maruca.ihcantabria.es/> [Consulta: 28 de junio de 2020]
- ROM 2.0-11 (2012). *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de Atraque y Amarre*. Madrid: Puertos del Estado.
- UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. *Manual del usuario MSP*. <https://ihcantabria.com/specialized-software/msp/> [Consulta: 20 de junio de 2020]

CAPÍTULO V: SOLUCIÓN ADOPTADA



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	113
2. DISEÑO Y GEOMETRÍA.....	113
3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	119
4. VALORACIÓN ECONÓMICA	126
5. BIBLIOGRAFÍA	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura V.1. Elementos antirreflejantes de la alternativa propuesta. Fuente: Propia	113
Figura V.2. Elementos antirreflejantes de la alternativa propuesta. Fuente: Propia	113
Figura 3. Tabla para la estimación de la energía según cajón. Fuente: MARTÍNEZ et al, (2010).	114
Figura V.4. Geometría del cajón antirreflejante en planta. Fuente: Propia.....	117
Figura V.5. Geometría del cajón antirreflejante en perfil. Fuente: Propia	117
Figura V.6. Diseño del circuito antirreflejante para el oleaje. Fuente: Propia	118
Figura V.7. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para el oleaje. Fuente: Propia.....	118
Figura V.8. Diseño del circuito antirreflejante para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia	119
Figura V.9. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla V.1. Longitud de onda junto con la longitud del circuito según periodos. Fuente: Propia	115
Tabla V.2. Longitud de onda junto con la longitud del circuito según periodos. Fuente: Propia	115
Tabla V.3. Tabla experimental de las características de los distintos cajones. Fuente: GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017)	116
Tabla V.4. Métodos de comprobación. Fuente: ROM 0.0.....	120
Tabla V.5. Datos generales del cajón. Fuente: Propia.....	120
Tabla V.6. Características geométricas del cajón. Fuente: Propia	121
Tabla V.7. Datos generales para el empuje de tierras. Fuente: Propia.....	121
Tabla V.8. Cálculo de empujes de tierra. Fuente: Propia	121
Tabla V.9. Resumen de las cargas del empuje de tierra. Fuente: Propia.....	121
Tabla V.10. Datos generales para la sobrecarga de operación. Fuente: Propia	122
Tabla V.11. Resumen de las cargas de la sobrecarga de operación. Fuente: Propia	122
Tabla V.12. Datos generales para la sobrecarga de almacenamiento. Fuente: Propia	122
Tabla V.13. Resumen de las cargas de la sobrecarga de almacenamiento. Fuente: Propia	122
Tabla V.14. Datos generales para la sobrecarga del tiro bolardo. Fuente: Propia	122
Tabla V.15. Resumen de las cargas de la sobrecarga de tiro bolardo. Fuente: Propia	122
Tabla V.16. Datos generales para la sobrecarga sobre muro. Fuente: Propia.....	122
Tabla V.17. Resumen de las cargas de la sobrecarga sobre muro. Fuente: Propia	123
Tabla V.18. Datos generales para la sobrecarga sobre muro 2. Fuente: Propia	123
Tabla V.19. Resumen de las cargas de la sobrecarga sobre muro 2. Fuente: Propia.....	123
Tabla V.20. Resumen de las cargas que actúan. Fuente: Propia.....	123
Tabla V.21. Cargas ponderadas para el cálculo del vuelco. Fuente: Propia.....	124
Tabla V.22. Cargas ponderadas para el cálculo del deslizamiento. Fuente: Propia.....	124
Tabla V.23. Cargas ponderadas para el cálculo del hundimiento. Fuente: Propia	124
Tabla V.24. Resumen de los factores de seguridad al vuelco. Fuente: Anejo 7 “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante”	125
Tabla V.25. Resumen de los factores de seguridad al vuelco. Fuente: Anejo 7 “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante”	125



Tabla V.26. Combinación de acciones más desfavorable para el vuelco y su factor de seguridad. Fuente: Propia 125

Tabla V.27. Combinación de acciones más desfavorable para el deslizamiento y su factor de seguridad. Fuente: Propia 125

Tabla V.28. Tabla resumen de los precios de demolición. Fuente: Propia 126

Tabla V.29. Tabla resumen de los precios para el cajón del régimen medio. Fuente: Propia .. 126

Tabla V.30. Tabla resumen de los precios para el cajón de infragravedad. Fuente: Propia 127

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente apartado del Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante es definir la tipología estructural adoptada y el diseño geométrico y realizar las comprobaciones estructurales recomendadas en la ROM 2.0-11, estimar el plazo de ejecución y efectuar una valoración económica que asegure la viabilidad de la solución.

Como recordatorio la solución adoptada pasa por la inclusión de elementos antirreflejantes en los muelles tanto para el régimen medio ver Fig.1 como para el oleaje de infragravedad ver Fig.2

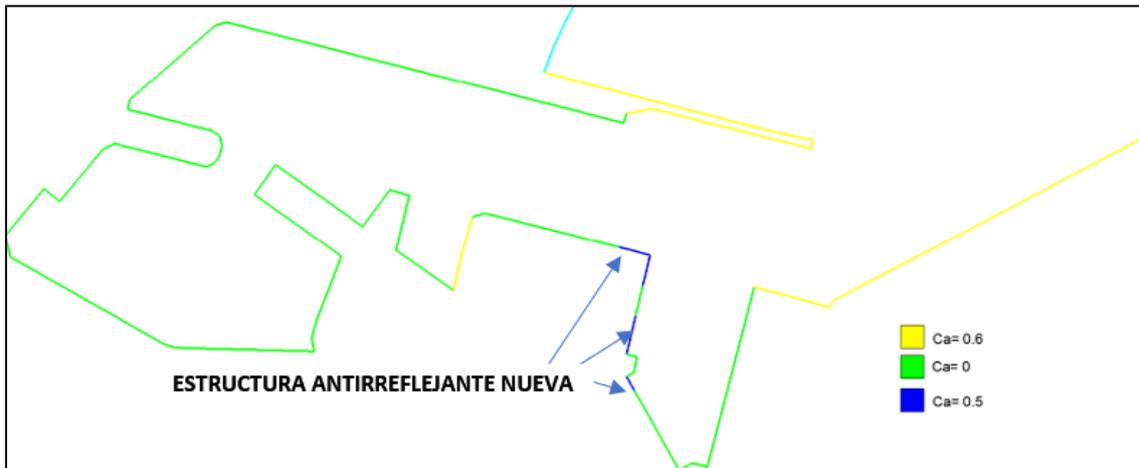


Figura V.1. Elementos antirreflejantes de la alternativa propuesta. Fuente: Propia



Figura V.2. Elementos antirreflejantes de la alternativa propuesta. Fuente: Propia

2. DISEÑO Y GEOMETRÍA

Como ya se ha comentado anteriormente la alternativa escogida ha sido la 1, la cual consta de dos elementos antirreflejantes uno para ondas largas cuyo coeficiente debe de estar en los 0.2 de absorción y otro para el régimen medio el cual debe de tener un coeficiente de absorción de 0.5. Para poder generar un elemento antirreflejante como tal nos basaremos en los libros de MARTÍNEZ et al, (2010) y la tesis doctoral de GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017) para su elaboración, en dichos libros se recogen tanto los cálculos como las secciones tipo a emplear.

En primer lugar, analizaremos la solución para ondas de gravedad, el modelo más idóneo para nuestra zona es elementos antirreflejantes de cámaras circulares para ello se va a aplicar los resultados recogidos en el libro de MARTÍNEZ et al, (2010) el cual muestra la estimación de la energía reflejada de cajones perforados tras el análisis experimental de los mismos. En dicha gráfica emplean tres modelos distintos los cuales son, M1 al cajón de celdas circulares tipo Jarlan de ventana corta, M2 al cajón de celdas circulares tipo Jarlan de ventana larga y M3 al cajón con celdas circulares y tipología de recorridos.

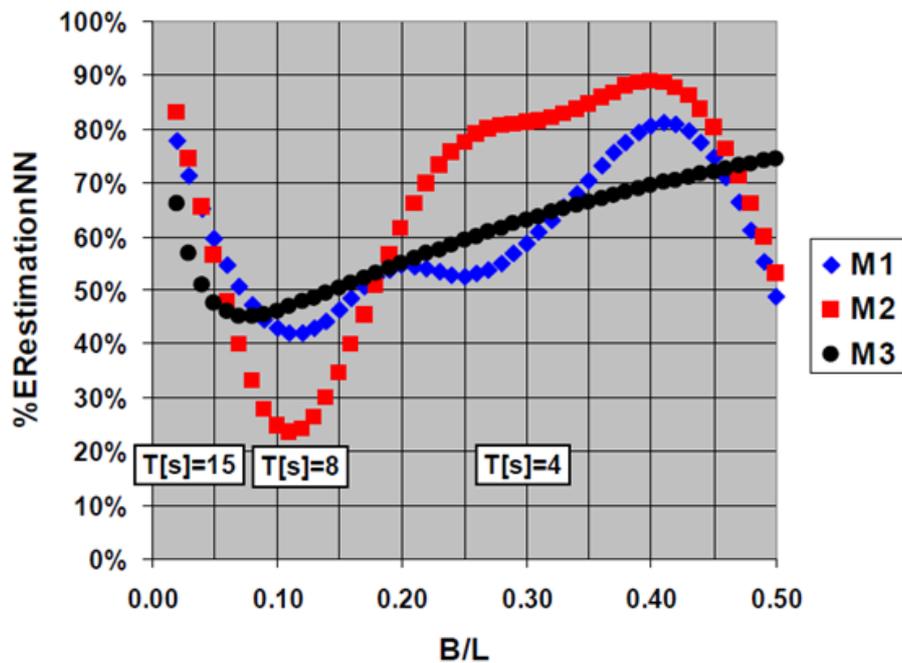


Figura 3. Tabla para la estimación de la energía según cajón. Fuente: MARTÍNEZ et al, (2010).

Como se puede apreciar en estas gráficas el factor determinante para la estimación de la energía reflejada es la relación entre B/L, donde B es el ancho del cajón mientras que L es la longitud de la onda en el interior de las cámaras. De igual modo B se puede entender de otra manera, no como el ancho del cajón sino como la longitud de las cámaras el cual será uno de los objetivos de diseño.

Las características principales que se buscan son:

- Ancho de abertura en la pared frontal de 2.4 metros
- Que la profundidad en el interior de las cámaras sea de 2 metros y 1 metro de resguardo. Es decir, que la altura total de la cámara sea de 3 metros.
- El ancho del interior de las cámaras sea de 1,6 metros.
- El diámetro de las cámaras será de 3.5 metros
- Que el coeficiente de absorción este comprendido entre 0.5 y 0.6.

Para poder lograr que los coeficientes de agitación estén comprendidos entre dichos valores, la relación entre B/L debe de situarse entre 0.1 y 0.2 tal y como se indica en la gráfica anterior, para ello conocidos cuales son los distintos periodos y cuáles son sus respectivas longitudes de onda obtenemos la siguiente tabla:

T_p (s)	L_c (m)	$0.1*B$ (m)	$0.2*B$ (m)	N.º celdas
7	30.16	3.02	6.03	1.72
8	34.69	3.47	6.94	1.98
9	39.20	3.92	7.84	2.24

Tabla V.1. Longitud de onda junto con la longitud del circuito según periodos. Fuente: Propia

Donde L_c representa la longitud de la onda en el interior de la cámara, $0.1B$ y $0.2B$ representan la longitud del circuito, sabiendo que el diámetro de las celdas es de 3.5 metros, se obtiene que para poder obtener los coeficientes de absorción que buscamos son necesarios un total de 2 celdas.

En cuanto a ondas largas el procedimiento es similar pero más complejo para ello nos basaremos en GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017) en donde se recogen algunas tablas experimentales con varios resultados para distintos periodos. En primer lugar, las características que se buscan son similares a las de ondas de gravedad:

- Ancho de abertura en la pared frontal de 2.4 metros
- Que la profundidad en el interior de las cámaras sea de 2 metros y 1 metro de resguardo. Es decir, que la altura total de la cámara sea de 3 metros.
- El ancho del interior de las cámaras sea de 1,6 metros.
- El diámetro de las cámaras será de 3.5 metros

En primer lugar, en la tesis de GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017), se demuestra que para ondas largas el óptimo teórico de la longitud efectiva para multicircuitos circulares se encuentra entorno a los 0.05 de B/L , mediante el mismo razonamiento que en los párrafos anteriores se obtienen cuáles serían el número de celdas totales a necesitar:

T_p (s)	L_c (m)	$0.05*B$ (m)	$0.1*B$ (m)	N celdas
30	132.69	6.63	13.27	1.90
120	531.48	26.57	53.15	7.59
240	1063.04	53.15	106.30	15.19

Tabla V.2. Longitud de onda junto con la longitud del circuito según periodos. Fuente: Propia

Sin embargo, para el diseño óptimo del cajón de dimensiones de 36.95m X 15.7m X 17.00m (eslora x manga x puntal) y los datos geométricos anteriormente mencionados se obtienen los siguientes coeficientes.

	Tipología					
	CI (celdas circulares)			CU (celdas cuadradas)		
$(Be_c / L_c)_+$	0.05			0.25		
$C_{r,c+}$	0.58			0.57		
$\beta_{c,+}$	0.01211	0.00605	0.00404	0.01249	0.00625	0.00416
$T [s]$	45	90	135	45	90	135
Be_{c+}	9.96	19.92	29.88	49.81	99.61	149.42
$N_{máx,teo}$	8.0	8.0	5.4	4.1	2.0	1.4
%celdas	49%	99%	100%	100%	100%	100%
$\ell_{x,teo} [m]$	7.8	15.5	15.7	15.7	15.7	15.7
β_+	0.00629	0.00315	0.00141	0.00329	0.00082	0.00037
$C_{r,+}$	0.75	0.75	0.83	0.86	0.93	0.95

Tabla V.3. Tabla experimental de las características de los distintos cajones. Fuente: GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017)

Estos son los valores experimentales obtenidos, donde la última fila corresponde a los coeficientes de reflexión de la estructura óptima, sabiendo que se ha realizado para los periodos de 45s, 90s y 135s.

En nuestro caso se sabe que la problemática reside para los periodos de 60s, 120s y 240s, es decir múltiplos de los mismos periodos. Como la tabla anterior son los únicos valores que existen respecto a cajones antirreflejantes para ondas largas, lo que se realiza es una interpolación entre los 90s y los 135s para obtener cuales sería nuestro coeficiente de reflexión. Dicho valor sería de entrono a los 0.8, lo cual significa un coeficiente de absorción de 0.2 para un cajón que tenga el mismo diseño que el experimental.

Por ello, se partirá del cajón diseñado en las tablas experimentales que se han visto antes, la elección de este diseño es debido a que es uno de los pocos de los cuales se han realizado ensayos y se tienen resultados tanto para ondas de gravedad como de infragravedad, si es cierto que existen otros cajones con una geometría muy parecida, pero estos simplemente se basan en adoptar una geometría muy parecida a los que se han experimentado sin saber si se siguen obteniendo valores similares o distintos. Lo más lógico en una obra de gran importancia o con un gran presupuesto sería realizar una serie de ensayos de laboratorio para conocer cuál es la mejor geometría, así como los coeficientes de absorción que tendrían lugar. Sin embargo, al no poseer dichos ensayos nos debemos basar en aquellos ya realizados. La geometría de nuestro cajón será:

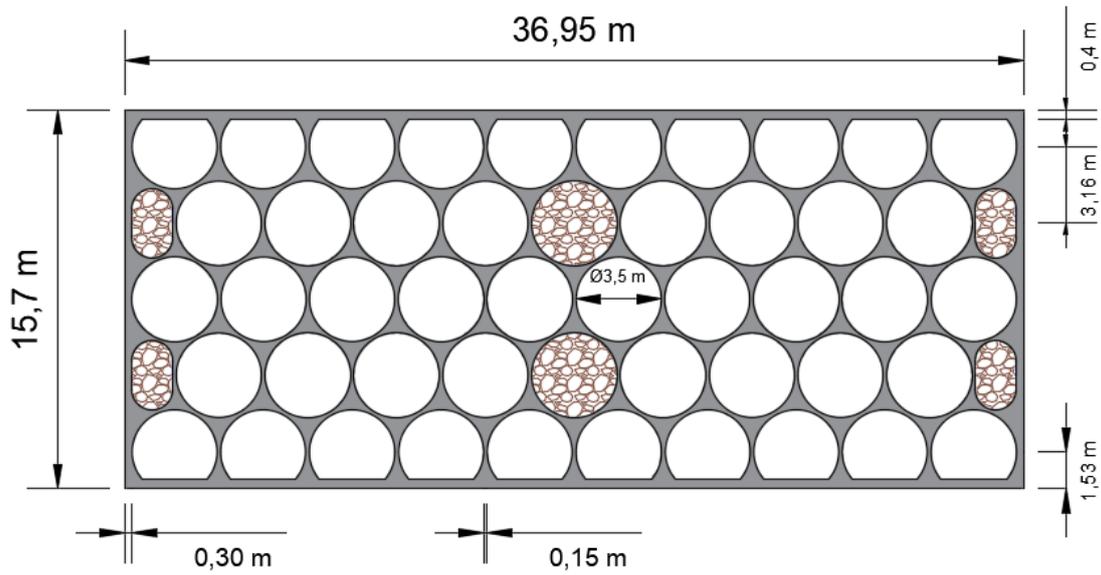


Figura V.4. Geometría del cajón antirreflejante en planta. Fuente: Propia

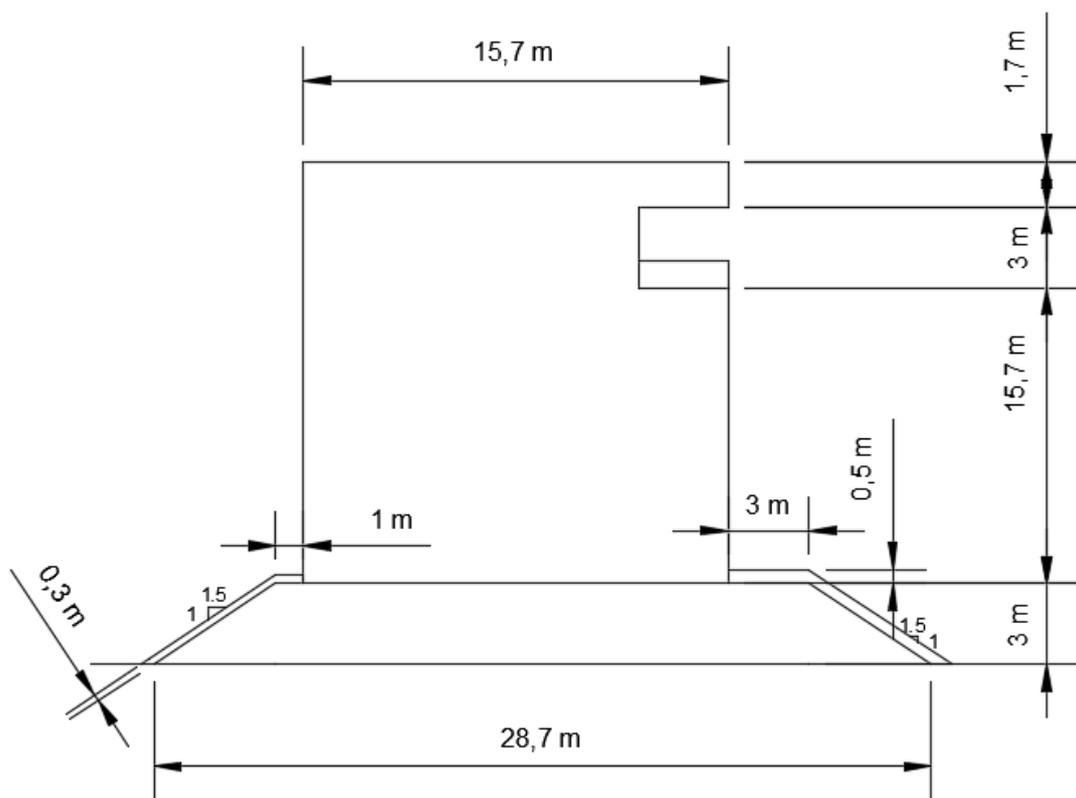


Figura V.5. Geometría del cajón antirreflejante en perfil. Fuente: Propia

Esta es la geometría básica para cualquiera de los dos tipos de ondas que tenemos, las de gravedad y las de infragravedad, la diferencia radicará en el circuito interior. Siendo para las ondas de gravedad:

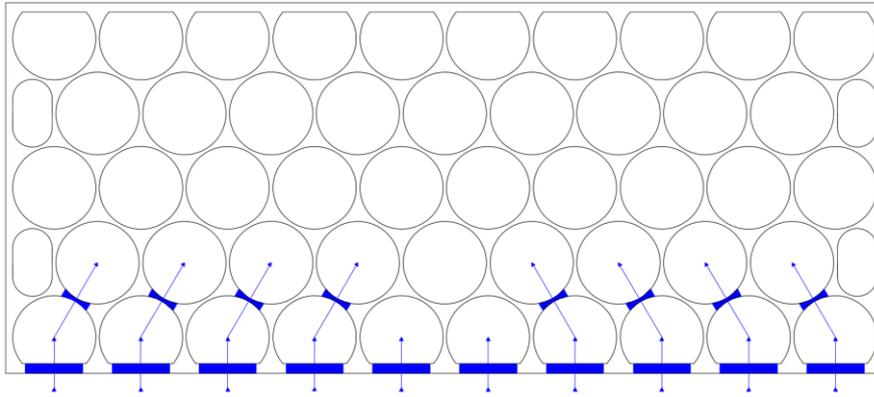


Figura V.6. Diseño del circuito antirreflejante para el oleaje. Fuente: Propia

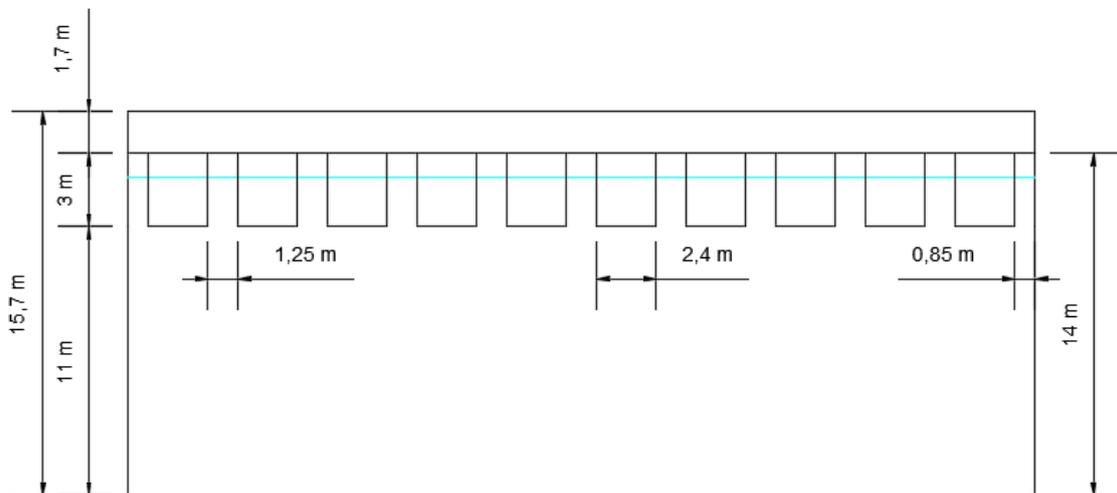


Figura V.7. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para el oleaje. Fuente: Propia

Se trata de un recorrido de dos cámaras cuya longitud total se encuentra en torno a los 7 metros, con ello se verifica la relación $B/Lc \approx 0.2$ para los periodos comprendidos entre los 7 seg. y los 9 seg. El circuito central es solo de una cámara, esto se ha realizado de esta manera por dos razones la primera aprovechar esta zona ya que la cámara contigua se deja para estabilidad y la segunda razón para la mejora de los periodos inferiores, logrando de esta forma tener una mejor respuesta, aunque solo sea mínima pues solo constara de dos aperturas contiguas.

Los datos geométricos se corresponden con el cajón de geometría básica, pero incorporando lo que habíamos mencionado anteriormente, unas aperturas de 2,4 metros entre el exterior del cajón y la primera celda y de 1,2 metros entre las distintas celdas.

Ondas de infragravedad:

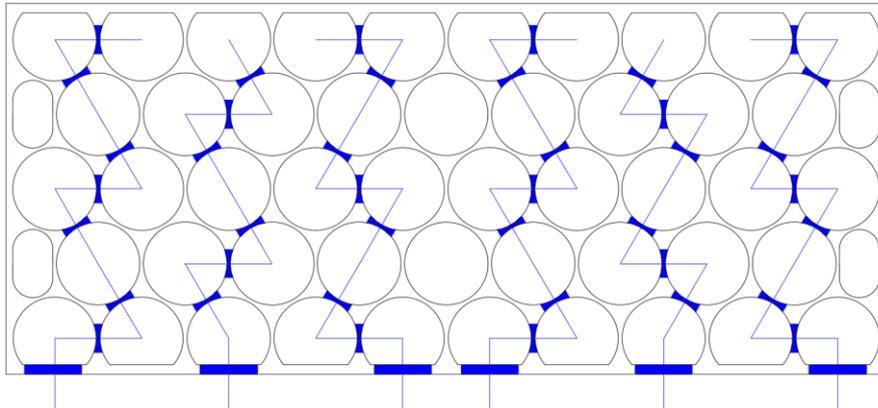


Figura V.8. Diseño del circuito antirreflejante para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia

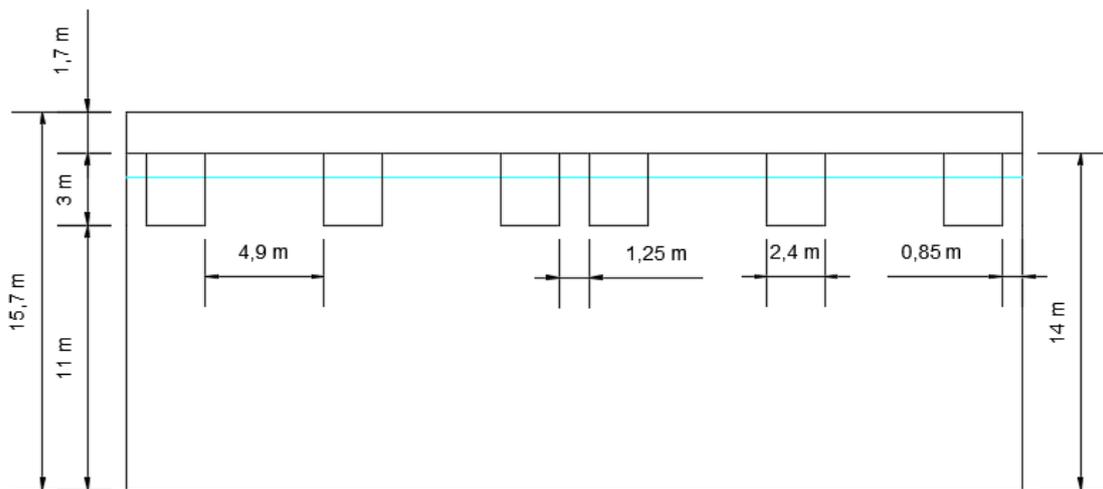


Figura V.9. Geometría del cajón antirreflejante en alzado para las ondas de infragravedad. Fuente: Propia

Para el cajón de ondas de periodo largo, se ha realizado un diseño muy similar al que se puede encontrar en el capítulo IV.2 la tesis de GONZÁLEZ-ESCRIVÁ (2017), donde los circuitos mostrados son distintos a los que necesitamos pues no existe para periodo de 120 segundos. Sin embargo, de ellos se deriva el circuito que se ha mostrado anteriormente, en donde hay un total de 4 circuitos de 8 celdas y 2 circuitos de 7 celdas, con ello se consigue que la relación B/Lc se encuentre muy próxima al valor de los 0.05. Con lo que se puede conseguir un coeficiente de reflexión en torno a los 0.8 tal y como hubimos estipulado en el estudio de alternativas.

Los datos geométricos se corresponden con el cajón de geometría básica, pero incorporando lo que habíamos mencionado anteriormente, unas aperturas de 2,4 metros entre el exterior del cajón y la primera celda y de 1,2 metros entre las distintas celdas.

3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

En cuanto a la estabilidad de la solución adoptada se pretende realizar la comprobación de manera simplificada del deslizamiento, vuelco y hundimiento. Para ello nos apoyaremos en el Anejo 7 del “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13” de donde se obtendrán las características geotécnicas de los materiales que se encuentran en el puerto, así como las

hipótesis que se han supuesto junto con las fuerzas. Sin embargo, solo se pretende realizar una pequeña comparación con respecto a dicho anejo, es pues que se simplificaran muchas hipótesis, así como algunas de las sobrecargas.

Las comprobaciones que se realizaran son las referentes a la (CT1), condiciones de trabajo operativas, el emplear esta condición y no la CT2 es debido a que en el propio anejo 7 emplean estas condiciones y no las extrémalas. En cuanto al ISA y al IRE salían valores tanto de r2 como de s2 en su mayoría, pero también de nivel 3.

Tabla 3.3.5.1. Métodos de resolución de la ecuación de verificación en función de los Índices de Repercusión Económica (IRE) y de Impacto Social y Ambiental (ISA)

IRE	ISA			
	s1	s2	s3	s4
r1	(1)	(2)	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
r2	(2)	(2)	(2) y [(3) ó (4)]	(2) y [(3) ó (4)]
r3	(2) y [(3) ó (4)]			

(1) Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad global.
 (2) Métodos de Nivel I: Coeficientes de seguridad parciales.
 (3) Métodos de Nivel II: Momentos estadísticos y técnicas de optimización.
 (4) Métodos de Nivel III: Integración y simulación numérica.

Tabla V.4. Métodos de comprobación. Fuente: ROM 0.0.

Con ello quedaría que los métodos de comprobación deben de situarse como mínimo el nivel I con coeficientes de seguridad parciales, y añadir tanto los métodos de nivel II como los de nivel III, sin embargo, en el Anejo 7 de cálculo realizado del “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13”, únicamente emplean los coeficientes parciales, será pues que tomemos como referencia únicamente estos coeficientes, de modo que podamos comparar los resultados.

En primer lugar, lo que más difiere nuestro proyecto respecto del Anejo 7 es el cálculo de los cajones, por ello a continuación se muestra las tablas donde se resumen las características:

DATOS DEL CAJÓN	
Eslora	36.95 m
Manga	15.7 m
Puntal	14 m
Cota coronación cajón	1 m
Cota coronación	2.7 m
Densidad del agua	1.03 T/m ³
Densidad Hormigón	2.5 T/m ³
Densidad seca del relleno	1.8 T/m ³
Densidad saturada relleno cajón	2.1 T/m ³

Tabla V.5. Datos generales del cajón. Fuente: Propia

Área total	580.11 m ²
Área hormigón	124.46 m ²
Área relleno	455.65 m ²
Área siempre relleno	36.09 m ²
Volumen hormigón	1742.49 m ³
Volumen relleno	5120.45 m ³
Volumen antirreflejante	1258.66 m ³
Volumen solera	986.19 m ³
Peso hormigón	4356.22 T

Peso relleno	10752.95 T
Peso solera	2465.48 T
Peso total	17574.69 T
Peso metro lineal	475.63 T/m
Subpresión hidrostática	210.22 T/m
Peso lineal	265.41 T/m

Tabla V.6. Características geométricas del cajón. Fuente: Propia

Se puede apreciar en comparación con el antiguo cajón existente, que este nuevo transmite más peso, sin embargo, al ser más ancho este producirá que los momentos de estabilidad sean mayores, por ello con toda seguridad se obtendrán mejores resultados.

Emp. Tierras	
Densidad seca	1.8 T/m ³
Densidad sumergida	1.1 T/m ³
Ang. De roz int	40º
Ang. Inc.emp.horiz	26.67º
Coeficiente de empuje activo	0.2
cota superior terreno	2.7 m
Cota agua trasdos	0.13 m
Cota agua intrados	0.13 m
Cota fonfeo del cajon	-13 m
Dist. Trados punto vuelco	12.6 m

Tabla V.7. Datos generales para el empuje de tierras. Fuente: Propia

Cálculo de empujes			
Cotas (m)	2.70 m	0.13 m	-13 m
Fuerza (T/m ²)	0 T/m ²	0.93 T/m ²	3.81 T/m ²

Tabla V.8. Cálculo de empujes de tierra. Fuente: Propia

	Empuje (T)	Comp. H. (T)	Brazo y (m)	Mom. Vol. (Tm)	Comp. Ver (T)	Brazo x (m)	Mom. Est. (Tm)
De 2.6-0.13	1.19	1.06	13.99	14.86	0.53	15.70	8.38
De 0.13- -13	31.11	27.80	5.23	145.43	13.96	15.70	219.24
TOTAL		28.86	5.55	160.29	14.50	15.70	227.62

Tabla V.9. Resumen de las cargas del empuje de tierra. Fuente: Propia

Se va a considerar para el nuevo cajón la misma sobrecarga de operación, con la diferencia del incremento de anchura.

Sobrecarga Operación	
Sobrecarga uniforme área de operación	3 T/m ²
Anchura	4.4 m
Altura	15.7 m
Coef. empuje	0.2
Ang. Inc.emp.horiz	26.67 º
Angulo de rotura	61.88 º

Altura empuje máximo desde coronación	8.24 m
Altura final del empuje coronación	12.35 m

Tabla V.10. Datos generales para la sobrecarga de operación. Fuente: Propia

	Resultante (T)	Comp H. (T)	Brazo y (m)	Mom. Vol. (Tm)	Comp. Ver. (T)	Brazo x (m)	Mom. Est. (Tm)
TOTAL	6.18	5.52	10.38	57.32	2.77	15.70	43.55

Tabla V.11. Resumen de las cargas de la sobrecarga de operación. Fuente: Propia

A falta de datos más concretos, y debido a que se trata de una comparación con los cajones existentes, se van a considerar las mismas características tanto de sobrecargas como de distancia al cajón que en los del “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13”

Sobrecarga Almacenamiento	
Sobrecarga uniforme área de operación	6 T/m ²
Anchura	4.4 m
Ang. Inc.emp.horiz	26.67 °
Angulo de rotura	61.88 °
Altura empuje máximo desde coronación	3.69 m
Altura final del empuje coronación	8.24 m

Tabla V.12. Datos generales para la sobrecarga de almacenamiento. Fuente: Propia

	Resultante (T)	Comp H. (T)	Brazo y (m)	Mom. Vol. (Tm)	Comp. Ver. (T)	Brazo x (m)	Mom. Est. (Tm)
TOTAL	11.57	10.34	4.91	50.76	5.19	15.70	81.53

Tabla V.13 Resumen de las cargas de la sobrecarga de almacenamiento. Fuente: Propia

La carga considerada por la acción de los buques se simplifica considerando únicamente la fuerza horizontal que transmiten los mismos:

Tiro Bolardo	
Horizontal	4.08 T
Vertical	0 T

Tabla V.14. Datos generales para la sobrecarga del tiro bolardo. Fuente: Propia

	Comp. H. (T)	Brazo y (m)	Mom. Vol. (Tm)	Comp. Ver (T)	Brazo x (m)	Mom. Est. (Tm)
TOTAL	4.08	15.70	63.65	0.00	0.00	0.00

Tabla V.15 Resumen de las cargas de la sobrecarga de tiro bolardo. Fuente: Propia

Se considera una sobrecarga de explotación sobre el propio cajón de:

Sobrecarga Sobre Muro	
Sobrecarga uniforme área de operación	3 T/m ²
Anchura	15.7 m

Tabla V.16. Datos generales para la sobrecarga sobre muro. Fuente: Propia

	Resultante (T)	Comp. H. (T)	Brazo y (m)	Mom. Vol. (Tm)	Comp. Ver. (T)	Brazo x (m)	Mom. Est. (Tm)
TOTAL	47.10	0.00	0.00	0.00	47.10	7.85	369.74

Tabla V.17 Resumen de las cargas de la sobrecarga sobre muro. Fuente: Propia

Se considera una sobrecarga de explotación sobre el propio cajón de:

Sobrecarga Sobre Muro 2	
Sobrecarga uniforme área de operación	1 T/m ²
Anchura	15.7 m

Tabla V.18. Datos generales para la sobrecarga sobre muro 2. Fuente: Propia

	Resultante (T)	Comp. H. (T)	Brazo y (m)	Mom. Vol. (Tm)	Comp. Ver. (T)	Brazo x (m)	Mom. Est. (Tm)
TOTAL	15.70	0.00	0.00	0.00	15.70	7.85	123.25

Tabla V.19 Resumen de las cargas de la sobrecarga sobre muro 2. Fuente: Propia

En cuanto a la sobrecarga producida por el movimiento de grúas es existente, pero para la consideración de las hipótesis del “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13” no se han considerado debido a que estas generan un momento estabilizador muy superior y en cuanto a la carga de hundimiento es casi irrelevante, por ello no procede el considerarlo en este apartado. Sin embargo, si se realizara dicha construcción sería necesario elaborar un informe más detallado en el cual se incluyan todas y cada una de las sobrecargas.

Con todo ello las fuerzas quedan resumidas de la siguiente manera:

	H (T)	Mom. Vol. (Tm)	V (T)	Mom. Est. (Tm)
PESO PROPIO	0.00	0.00	265.41	2083.47
EMPUJE TIERRAS	28.86	160.29	14.50	227.62
SOBRECARGA OPERACIÓN	5.52	57.32	2.77	43.55
SOBRECARGA ALM.	10.34	50.76	5.19	81.53
SOBRECARGA SOBRE MURO	0.00	0.00	47.10	369.74
SOBRECARGA SOBRE MURO 2	0.00	0.00	15.70	123.25
TIRO BOLARDO	4.08	64.06	0.00	0.00

Tabla V.20. Resumen de las cargas que actúan. Fuente: Propia

Una vez conocidas cuales son las fuerzas que actúan es necesario aplicar cuales serían los coeficientes de ponderación para cada una de las hipótesis consideradas, por ello nos basaremos en los coeficientes aplicados en el “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13”

VUELCO

	Coef. Ponderación	H (T)	Mom. Vol. (Tm)	V (T)	Mom. Est. (Tm)
PESO PROPIO	1.00	0.00	0.00	265.41	2083.47
EMPUJE TIERRAS	1.00	28.86	160.29	14.50	227.62
SOBRECARGA OPERACIÓN	1.50	8.28	85.99	4.16	65.33
SOBRECARGA ALM.	1.50	15.51	76.15	7.79	122.30
SOBRECARGA SOBRE MURO	1.50	0.00	0.00	70.65	554.60
SOBRECARGA SOBRE MURO 2	1.50	0.00	0.00	23.55	184.87
TIRO BOLARDO	1.50	6.12	96.08	0.00	0.00

Tabla V.21. Cargas ponderadas para el cálculo del vuelco. Fuente: Propia

DESLIZAMIENTO

	Coef. Ponderación	H (T)	Mom. Vol. (Tm)	V (T)	Mom. Est. (Tm)
PESO PROPIO	1.00	0.00	0.00	265.41	2083.47
EMPUJE TIERRAS	1.00	28.86	160.29	14.50	227.62
SOBRECARGA OPERACIÓN	1.30	7.18	74.52	3.61	56.62
SOBRECARGA ALM.	1.30	13.44	65.99	6.75	105.99
SOBRECARGA SOBRE MURO	1.30	0.00	0.00	61.23	480.66
SOBRECARGA SOBRE MURO 2	1.30	0.00	0.00	20.41	160.22
TIRO BOLARDO	1.30	5.30	83.27	0.00	0.00

Tabla V.22. Cargas ponderadas para el cálculo del deslizamiento. Fuente: Propia

HUNDIMIENTO

	Coef. Ponderación	H (T)	Mom. Vol. (Tm)	V (T)	Mom. Est. (Tm)
PESO PROPIO	1.00	0.00	0.00	265.41	2083.47
EMPUJE TIERRAS	1.00	28.86	160.29	14.50	227.62
SOBRECARGA OPERACIÓN	1.00	5.52	57.32	2.77	43.55
SOBRECARGA ALM.	1.00	10.34	50.76	5.19	81.53
SOBRECARGA SOBRE MURO	1.00	0.00	0.00	47.10	369.74
SOBRECARGA SOBRE MURO 2	1.00	0.00	0.00	15.70	123.25
TIRO BOLARDO	1.00	4.08	64.06	0.00	0.00

Tabla V.23. Cargas ponderadas para el cálculo del hundimiento. Fuente: Propia

Una vez conocidas las fuerzas y momentos mayorados por los coeficientes de ponderación parciales, se realiza las combinaciones de las distintas cargas para proceder a la realización de las distintas comprobaciones. En lugar de realizar un gran número de ellas lo que se procederá será a buscar cual es la hipótesis más desfavorable en el "Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13" y se comparará con la obtenida.

FACTOR DE SEGURIDAD AL VUELCO. Fv.				
HIPÓTESIS		MÍNIMO ROM	NUEVOS CAJONES	DUQUE DE ALBA
CT1	Nivel bajo	-	3.71	-
CT3.32	Nivel bajo	-	2.91	2.690

Nota.- En la ROM 0.5-05 no se establece un coeficiente de seguridad al vuelco rígido. Se debe cumplir que el punto de paso de la resultante en el plano de contacto de la zapata con el terreno quede dentro del área de apoyo. Para las solicitaciones permanentes o cuasi-permanentes, la resultante efectiva de las acciones se recomienda esté situada dentro del núcleo central de la cimentación. Es suficiente que el coeficiente de seguridad mínimo al vuelco rígido sea 1,00.

Tabla V.24. Resumen de los factores de seguridad al vuelco. Fuente: Anejo 7 "Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante"

FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO. Fd				
HIPÓTESIS		MÍNIMO ROM	NUEVOS CAJONES	DUQUE DE ALBA
CT1	Nivel bajo	1.300	2.090	-
CT3.32	Nivel bajo	1.100	1.780	1.380

Tabla V.25. Resumen de los factores de seguridad al vuelco. Fuente: Anejo 7 "Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante"

Para la condición de vuelco se va a considerar la combinación de las acciones de peso propio + empuje de tierras + sobrecarga de almacenamiento + tiro bolardo. Con lo que obtendremos los siguientes resultados:

H	V	MY	MX	fv
50.49	287.69	332.52	2433.39	7.31

Tabla V.26. Combinación de acciones más desfavorable para el vuelco y su factor de seguridad. Fuente: Propia

Como se puede apreciar el factor de seguridad frente al vuelco queda muy por encima del lado de la seguridad.

Para la condición de deslizamiento se va a considerar la combinación de las acciones de peso propio + empuje de tierras + sobrecarga de almacenamiento + tiro bolardo. Con lo que obtendremos los siguientes resultados:

H	V	MY	MX	tg	alfa	fd
47.61	309.56	286.66	2417.09	0.15	8.74	4.06

Tabla V.27. Combinación de acciones más desfavorable para el deslizamiento y su factor de seguridad. Fuente: Propia

El factor de seguridad frente al deslizamiento queda por encima del valor crítico descrito por la norma y por encima del que se encuentra en el "Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13" de comparación, esto es debido a que nuestro cajón tiene mucho más canto que el que estamos comparando por lo cual el deslizamiento tendrá siempre un factor de seguridad superior.

En cuanto al hundimiento, la normativa de la ROM recomienda el empleo de la formulación de Brinch-Hansen, sin embargo, esta está concebida para suelos homogéneos, los cuales en nuestro caso no se cumple siendo la situación de dos cajas que equivalen a un suelo homogéneo equivalente.

Para poder resolver esta problemática se emplea la norma japonesa "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan" la cual trata el cálculo del hundimiento

mediante el empleo de círculos de deslizamiento, esta idea es recogida y calculada en el “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13” mediante el programa Slope. En nuestro caso ante la dificultad de no poseer dicho programa y realizar una comparación entre los valores obtenidos, se va a proceder a la comparación de la única fuerza que cambia completamente, en este caso hablamos del peso propio. Sabiendo que el peso lineal en nuestro caso es de 265.41 T/m y un ancho de 15.7 metros, el resultado nos da de 16.9 T, mientras que en el anejo 7 el resultado es de 167,27 T/m con un ancho de 12.6 metros con lo que se obtiene un total de 13,27 T es decir tenemos un 21% más de fuerza. Si aun del lado de la seguridad aplicáramos este porcentaje para incrementar los resultados del “Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13” seguirían dando del lado de la seguridad, por ello se considera que se cumple con la estabilidad al hundimiento.

4. VALORACIÓN ECONÓMICA

En este apartado se pretende realizar una valoración económica a grandes rasgos, debido a la falta de información que existe en cuanto a precios de cajones nuevos con estas tipologías, así como la propia demolición de los muelles existentes, se ha realizado comparaciones con trabajos existentes para poder obtener cuales podrían ser los precios reales de tal modo que entren dentro del orden de magnitud.

Demolición				
ELEMENTO	UNIDAD	MEDICION	PRECIO	TOTAL (€)
Demolición de cajón existente	m3	2401.75	135.36	325100.88
Excavación de material existente y reutilización del mismo	m3	5139.74	35.22	181021.64
Dragado de tierras y escolleras asiento	m3	5633.40	10.27	57855.02
				563977.54
Unidades totales		8.50		
Precio final				4793809.10

Tabla V.28. Tabla resumen de los precios de demolición. Fuente: Propia

Oleaje				
ELEMENTO	UNIDAD	MEDICIÓN	PRECIO	TOTAL (€)
Escollera 50-250 Kg banqueteta	t	5633.40	10.68	60164.68
Escollera 1-2t protección	t	438.80	12.05	5287.54
Hormigón HA-30 em cajones	m3	1742.49	130.98	228231.21
Relleno granular	m3	5894.11	2.01	11847.16
Junta entre cajones	u	1.00	4540.68	4540.68
Hormigón HA-30 losa	m3	986.20	106.34	104872.03
				414943.30
Unidades totales		4.50		
Precio final				1867244.84

Tabla V.29. Tabla resumen de los precios para el cajón del régimen medio. Fuente: Propia

Infragravedad				
ELEMENTO	UNIDAD	MEDICIÓN	PRECIO	TOTAL (€)
Escollera 50-250 Kg banquetta	t	5633.40	10.68	60164.68
Escollera 1-2t protección	t	438.80	12.05	5287.54
Hormigón HA-30 em cajones	m3	1742.49	130.98	228231.21
Relleno granular	m3	5120.46	2.01	10292.12
Junta entre cajones	u	1.00	4540.68	4540.68
Hormigón HA-30 losa	m3	986.20	106.34	104872.03
				413388.25
Unidades totales		4.00		
Precio final				1653553.01

Tabla V.30. Tabla resumen de los precios para el cajón de infragravedad. Fuente: Propia

Como se puede apreciar de los siguientes precios es el alto coste que tienen tanto para la incorporación y creación de un nuevo cajón como la eliminación de los muelles existentes, en ambos casos rondan un precio de medio millón de euros, lo cual concuerda con los precios que aportan las empresas constructoras de cajones.

La estimación del tiempo de amortización es bastante compleja con los datos disponibles es por ello que solo podremos realizar hipótesis de cuánto podría ser dicho tiempo, es por ello que aunque el precio final sea elevado, con la gran reducción de las paradas operativas, se piensa que es posible que al cabo de 10 años se pudiera amortizar dicho coste, para esta suposición se han tenido en cuenta cual es el precio de amarre de un barco tanto porta contenedores como de graneles sólidos, así como el precio que podría suponer que dicho barco no fondeara en el puerto debido al mal oleaje en el interior del mismo. De igual es sabido que la dársena central irá cobrando mayor importancia en los próximos años, pues desean ampliar la zona de almacenamiento para dotar a los muelles 13,15,17 de una mayor capacidad para el tráfico de líneas regulares. De esta manera se justifica los costes para la incorporación de los nuevos cajones ARJ-R.

A continuación, se muestra cual podría ser la duración de las distintas tareas, se ha de mencionar que se han simplificado/agrupado en pequeños capítulos debido a que este apartado excede los objetivos del presente estudio, por ello al no conocerse con gran exactitud los distintos rendimientos que pudieran existir, se ha decidido la realización de una media de la duración del tiempo de las distintas tareas que se recogen en distintos proyectos de la misma índole. En nuestro caso se han agrupado los trabajos por muelles, con dos tajos trabajando al mismo tiempo para la reducción del tiempo de obra.

5. CONCLUSIONES

Se han definido dos diseños geométricos adaptados a cajones antirreflejantes ARJ-R para la atenuación del oleaje de corto periodo y para la atenuación de las ondas de infragravedad a ubicar en las posiciones previamente seleccionadas como óptimas.

El diseño geométrico del cajón antirreflejante ha seguido la metodología expuesta en González-Escrivá (2017) estimando el coeficiente de reflexión en ambos casos

Las comprobaciones de estabilidad estructural se han llevado a cabo siguiendo las recomendaciones de la ROM 2.0-11, empleando el método de nivel I con coeficientes de seguridad parciales. Las combinaciones para los modos de fallo habituales de vuelco y deslizamiento han sido:

- Vuelco: combinación de las acciones de peso propio + empuje de tierras + sobrecarga de almacenamiento + tiro bolardo
- Deslizamiento: combinación de las acciones de peso propio + empuje de tierras + sobrecarga de almacenamiento + tiro bolardo

Para el cálculo del hundimiento se emplea la norma japonesa “Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan” (OCDI, 2002)

La valoración de los cajones antirreflejantes obtenida es aproximadamente de 500000 € lo que concuerda con la consulta particular a responsables de empresa constructora con división marítima de cajones y experiencia en la construcción de cajones antirreflejantes con tipología Jarlan. En cuanto al tiempo de construcción entra dentro de los valores que nos indica la empresa constructora.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AUTORIDAD PORTUARIA DE ALICANTE. “*Proyecto de construcción de la prolongación del muelle 13 del puerto de Alicante*”.
<https://www.puertoalicante.com/wp-content/uploads/2017/01/> [Consulta:24 de abril de 2020]
- BENÍTEZ SESMILLO, P. (2014). “*Proyecto de Ampliación del club marítimo San Antonio de la Playa (Ca’n Pastilla)*”.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21245/Pressupuesto%20def.pdf> [Consulta:24 de agosto de 2020]
- GONZÁLEZ-ESCRIVÁ, J. A. (2017). Análisis de la efectividad de las estructuras antirreflejantes en la atenuación de la resonancia en puertos. Tesis doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/86183> [Consulta 15 de mayo de 2020]
- JARLAN, G.E (1961). “*A perforated vertical breakwater*”, The Dock and Harbour Authority.
- MARTÍNEZ et al, (2010). Designing a new Low-Reflexivity Quay wall caisson. PIANC Proceedings.
- ROM 2.0-11 (2012). *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de Atraque y Amarre*. Madrid: Puertos del Estado.
- OVERSEAS COASTAL AREA DEVELOPMENT INSTITUTE OF JAPAN (OCDI) (2009). “*Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*”
<http://ocdi.or.jp/en/technical-st-en> [Consulta 30 de junio de 2020]

ANEXO I



ÍNDICE

1. ANÁLISIS ESCALAR.....	136
2. ANÁLISIS EXTREMAL POR DIRECCIONES	142
3. ANÁLISIS DEL RÉGIMEN MEDIO POR DIRECCIONES	148
4. REFRACCIÓN INVERSA.	154
5. PROPAGACIÓN.....	156
6. PROPAGACIÓN SMC.	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A.I.1. Serie histórica Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	136
Figura A.I.2. Histograma de Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	136
Figura A.I.3. Función de distribución empírica de Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	137
Figura A.I.4. Rosa de oleaje para Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	137
Figura A.I.5. Régimen medio de Hs, dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	138
Figura A.I.6. Serie histórica Tp de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	139
Figura A.I.7. Histograma de Tp de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	139
Figura A.I.8. Función de distribución empírica de Tp de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	140
Figura A.I.9. Rosa de oleaje para Tp de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	140
Figura A.I.10. Régimen medio de Tp, dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	141
Figura A.I.11. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	142
Figura A.I.12. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	142
Figura A.I.14. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	143
Figura A.I.13. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección E, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	143
Figura A.I.16. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	144
Figura A.I.15. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección ESE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	144
Figura A.I.17. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección SE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	145
Figura A.I.18. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección SE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	145
Figura A.I.19. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección SSE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	146
Figura A.I.20. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección SSE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	146
Figura A.I.21. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección S, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	147
Figura A.I.22. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección S, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	147
Figura A.I.23. Régimen medio de Hs, dirección ENE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.....	148

Figura A.I.24. Régimen medio de Tp, dirección ENE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	148
Figura A.I.25. Régimen medio de Hs, dirección E de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	149
Figura A.I.26. Régimen medio de Tp, dirección E de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	149
Figura A.I.27. Régimen medio de Hs, dirección ESE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	150
Figura A.I.28. Régimen medio de Tp, dirección ESE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	150
Figura A.I.29. Régimen medio de Hs, dirección SE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	151
Figura A.I.30. Régimen medio de Tp, dirección SE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	151
Figura A.I.31. Régimen medio de Hs, dirección SSE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	152
Figura A.I.32. Régimen medio de Tp, dirección SSE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	152
Figura A.I.33. Régimen medio de Hs, dirección S de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	153
Figura A.I.34. Régimen medio de Tp, dirección S de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL	153
Figura A.I.35. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE (Hs=0.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	158
Figura A.I.36. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE (Hs= 0.95 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	159
Figura A.I.37. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE (Hs=1.34 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	160
Figura A.I.38. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE (Hs= 1.75 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	161
Figura A.I.39. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE (Hs= 2.16 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	162
Figura A.I.40. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE (Hs= 2.62 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	163
Figura A.I.41. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección E (Hs= 0.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	164
Figura A.I.42. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección E (Hs= 1 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)	165
Figura A.I.43. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs= 1.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	166
Figura A.I.44. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección E (Hs=2 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)	167
Figura A.I.45. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs= 2.49 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	168
Figura A.I.46. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs=2.98 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	169
Figura A.I.47. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs=0.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	170

Figura A.I.48. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs= 0.99 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	171
Figura A.I.49. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs=1.47 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	172
Figura A.I.50. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE (Hs=1.94 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	173
Figura A.I.51. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SE (Hs=0.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	174
Figura A.I.52. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SE (Hs= 0.97 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	175
Figura A.I.53. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SE (Hs= 1.46 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	176
Figura A.I.54. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SSE (Hs= 0.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	177
Figura A.I.55. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SSE (Hs=0.97 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	178
Figura A.I.56. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SSE (Hs= 1.43 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	179
Figura A.I.57. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección S (Hs= 0.5 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	180
Figura A.I.58. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección S (Hs= 0.94 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	181
Figura A.I.59. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección S (Hs=1.25 m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC).....	182

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A.I.1. Estadísticos básicos de la Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.	138
Tabla A.I.2. Estadísticos básicos de la Tp de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.	141
Tabla A.I.3. Refracción inversa para la dirección ENE. Fuente: Propia.	154
Tabla A.I.4. Refracción inversa para la dirección E. Fuente: Propia.	154
Tabla A.I.5. Refracción inversa para la dirección ESE. Fuente: Propia.	155
Tabla A.I.6. Refracción inversa para la dirección SE. Fuente: Propia.	155
Tabla A.I.7. Refracción inversa para la dirección SSE. Fuente: Propia.	155
Tabla A.I.8. Refracción inversa para la dirección S. Fuente: Propia.	155
Tabla A.I.9. Propagación del oleaje con dirección ENE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia.	156
Tabla A.I.10. Propagación del oleaje con dirección E hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia.	156
Tabla A.I.11. Propagación del oleaje con dirección ESE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia.	156
Tabla A.I.12. Propagación del oleaje con dirección SE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia.	156
Tabla A.I.13. Propagación del oleaje con dirección SSE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia.	156
Tabla A.I.14. Propagación del oleaje con dirección S hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia.	157
Tabla A.I.15. Propagación del oleaje con dirección S hasta batimetría 25 m. Fuente: Propia.	157
Tabla A.I.16. Propagación del oleaje con dirección ENE hasta batimetría 25 m. Fuente: Propia.	157

1. ANÁLISIS ESCALAR

- Análisis Altura de ola:

En primer lugar, se van a obtener los descriptores de los datos empleados, en este caso hablamos de la serie temporal, los histogramas, la función de distribución empírica, así como la rosa direccional, para así proceder con los ajustes de las distintas distribuciones.

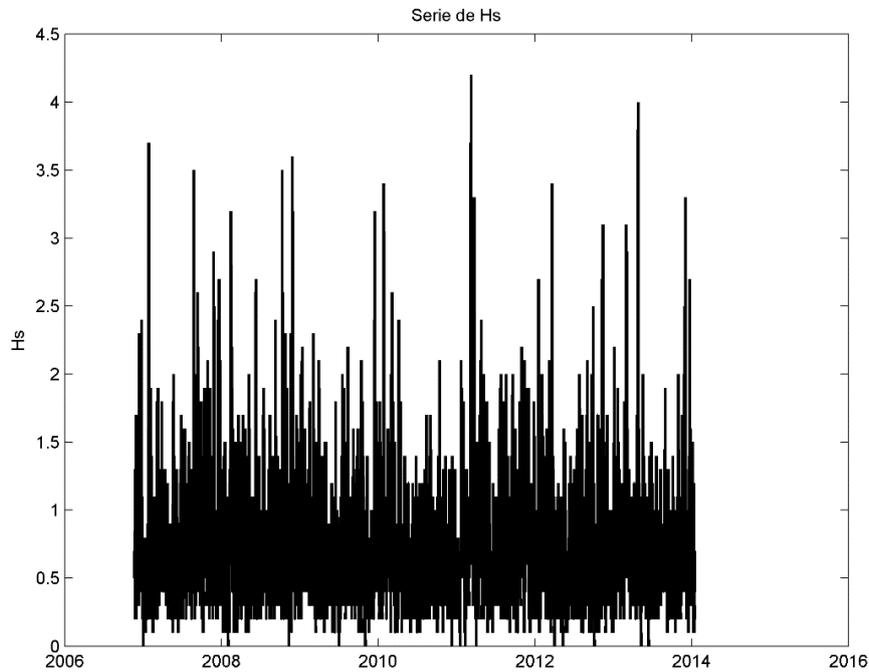


Figura A.I.1. Serie histórica Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

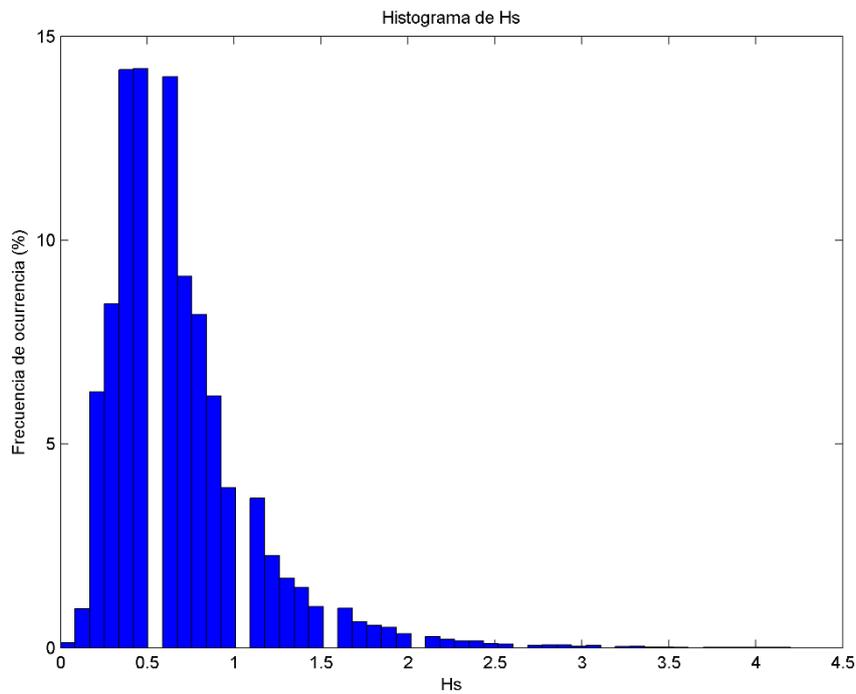


Figura A.I.2. Histograma de Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

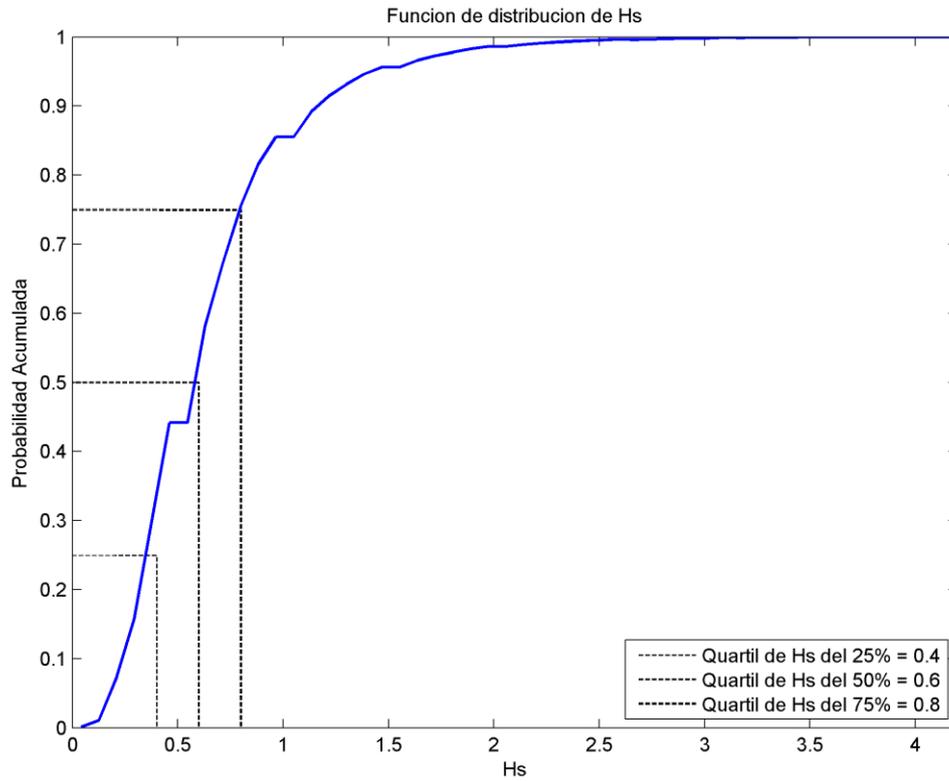


Figura A.I.3. Función de distribución empírica de Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

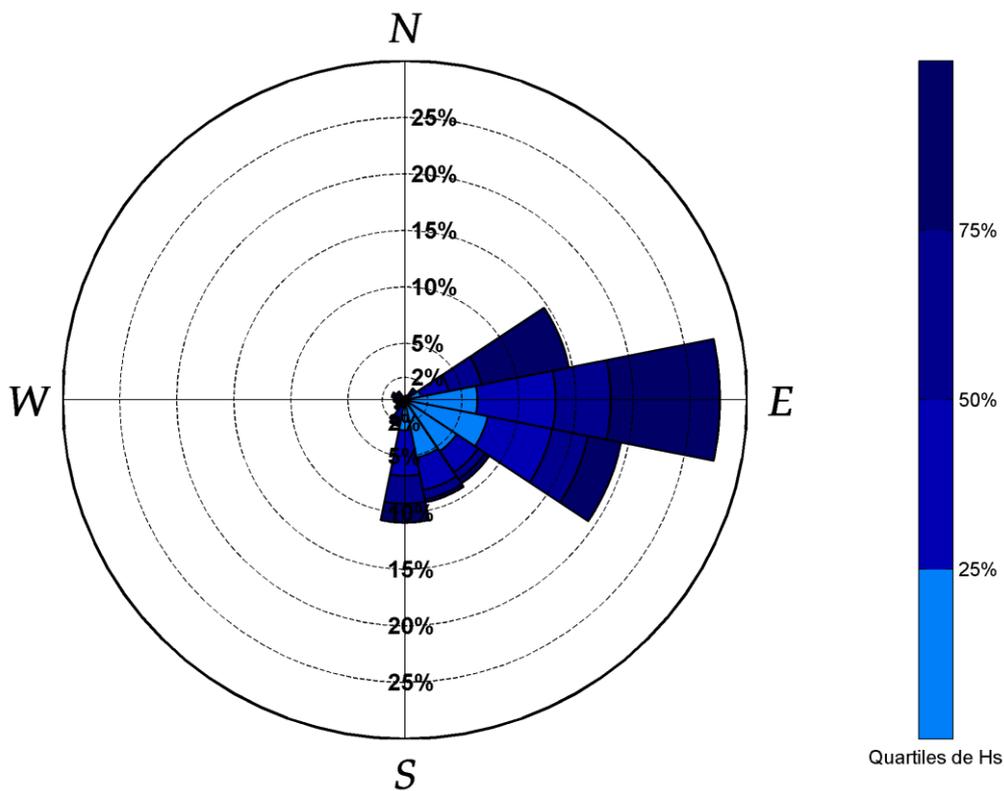


Figura A.I.4. Rosa de oleaje para Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

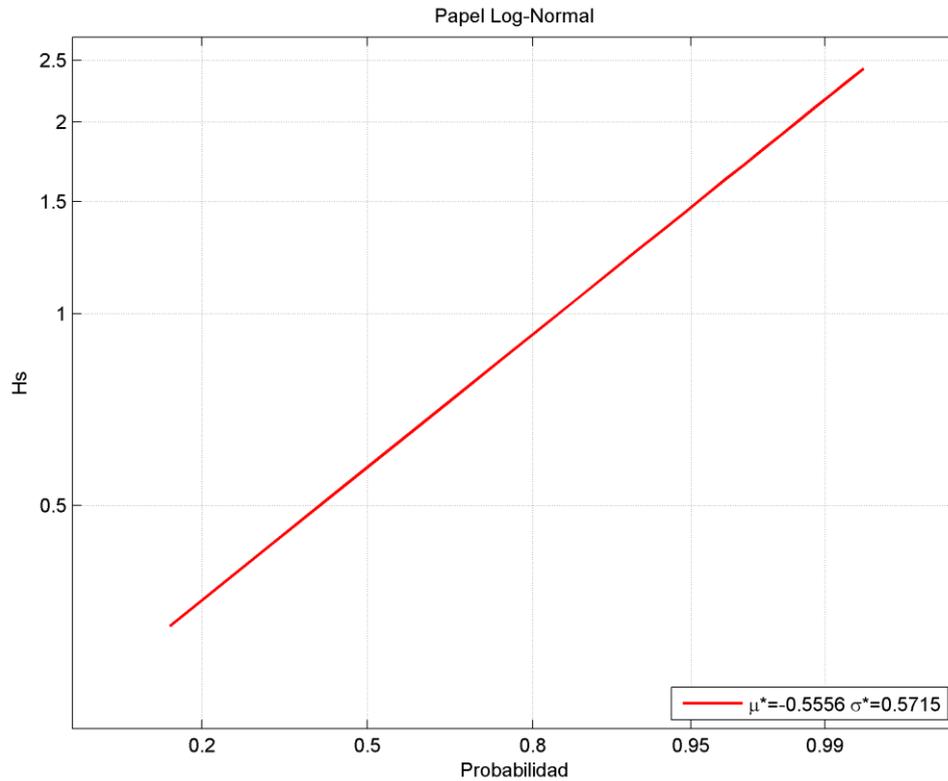


Figura A.I.5. Régimen medio de Hs, dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

Variable medida: Hs					
direcciones(°)	prob.direccion	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.0031	0.6500	1.0000	1.3000	1.4000
NNE	0.0039	0.7000	1.1000	1.3140	1.4000
NE	0.0120	0.7000	1.3000	1.7000	2.0518
ENE	0.1464	0.9000	1.7000	2.8000	3.4000
E	0.2758	0.7000	1.4000	2.5000	3.3923
ESE	0.1930	0.5000	1.0000	1.6000	2.2000
SE	0.0888	0.4000	0.7000	1.1000	1.8000
SSE	0.0923	0.4000	0.7000	1.0000	1.3000
S	0.1085	0.6000	0.9000	1.4000	1.7618
SSW	0.0236	0.5000	0.8000	1.1000	1.4000
SW	0.0109	0.6000	0.8000	1.2000	1.4604
WSW	0.0080	0.6000	0.8000	1.3000	1.4000
W	0.0097	0.6000	0.9000	1.3700	1.5411
WNW	0.0117	0.7000	1.0300	1.5000	1.7538
NW	0.0088	0.8000	1.1000	1.4250	1.5781
NNW	0.0032	0.6000	1.0000	1.2000	1.3000

Tabla A.I.1. Estadísticos básicos de la Hs de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL.

- Análisis periodo Pico

Se procede de igual modo que para la altura de ola significativa

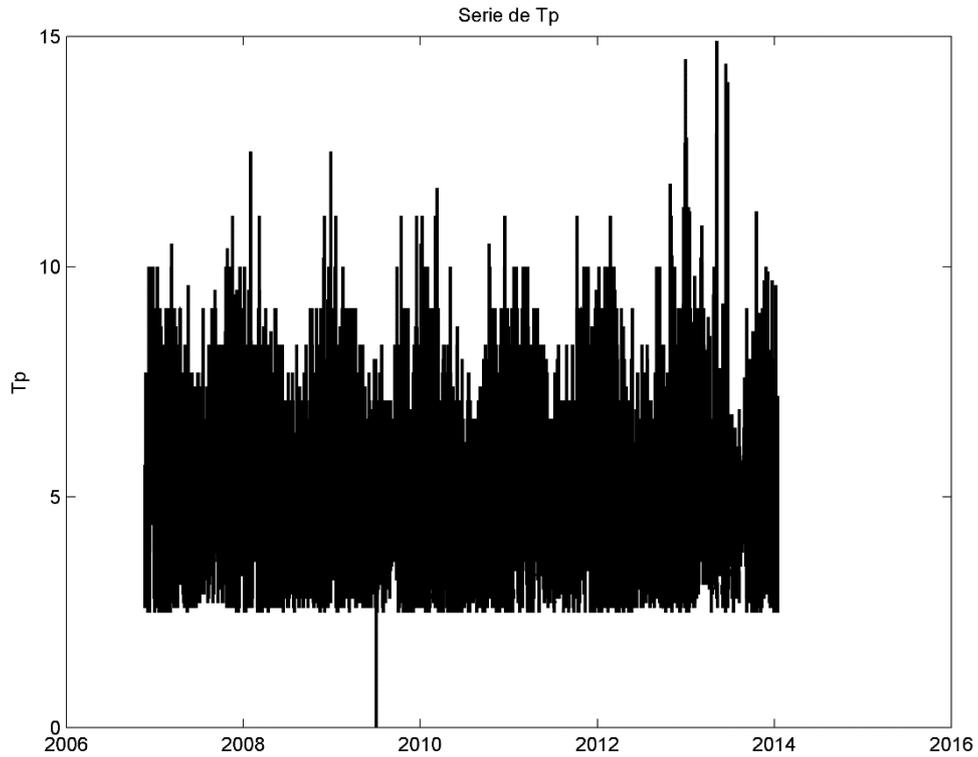


Figura A.I.6. Serie histórica T_p de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

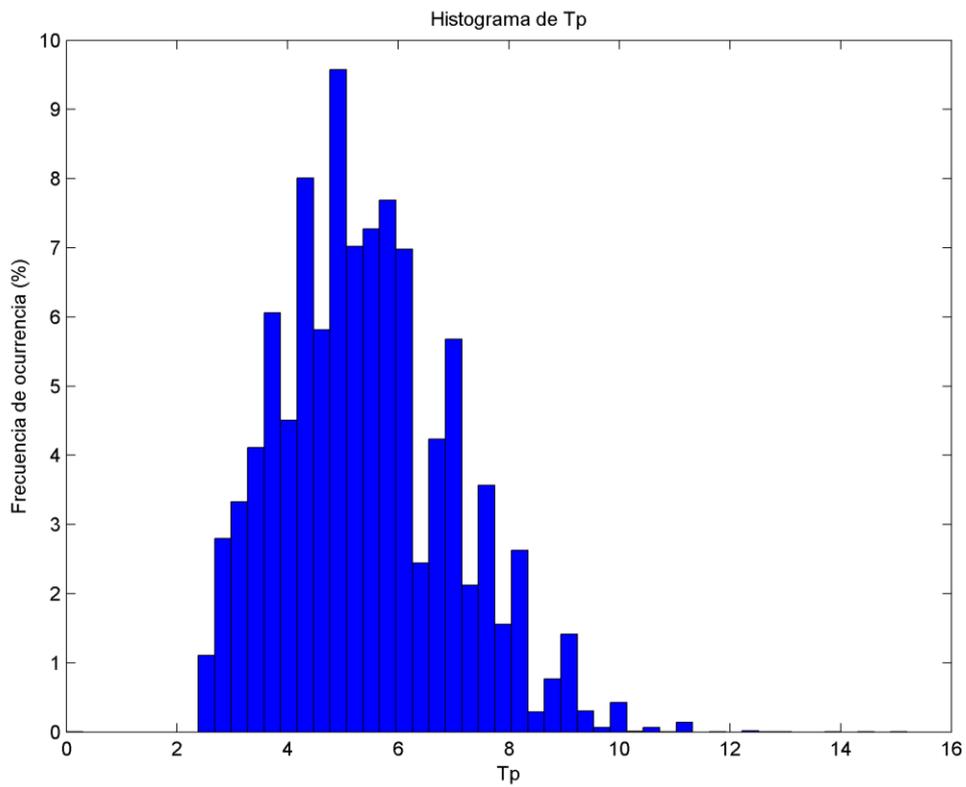


Figura A.I.7. Histograma de T_p de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

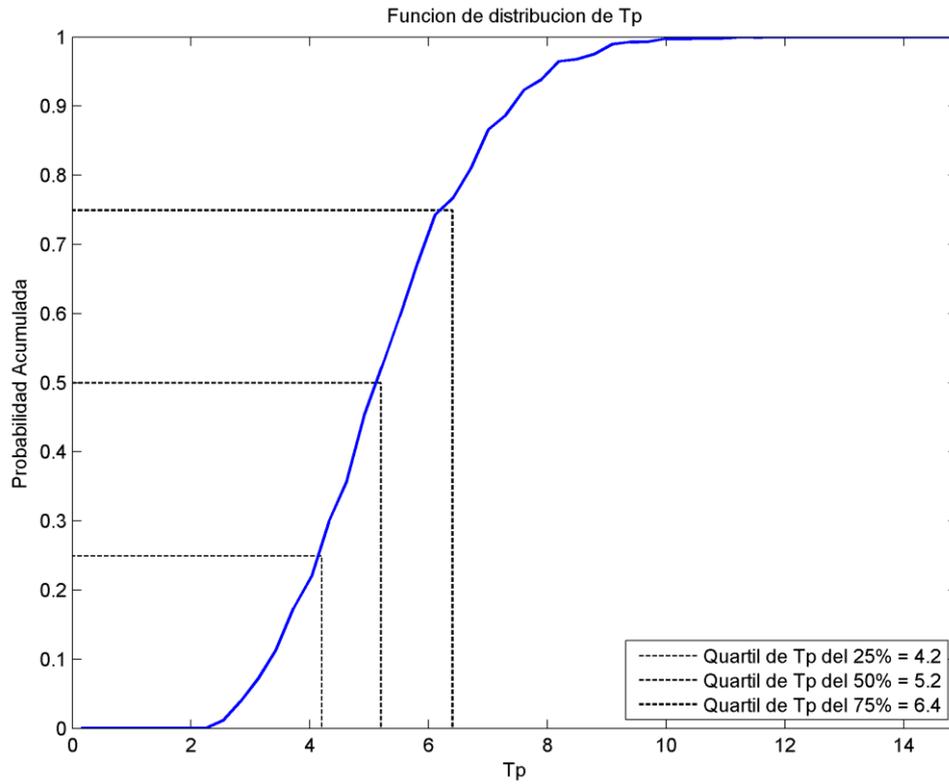


Figura A.I.8. Función de distribución empírica de T_p de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

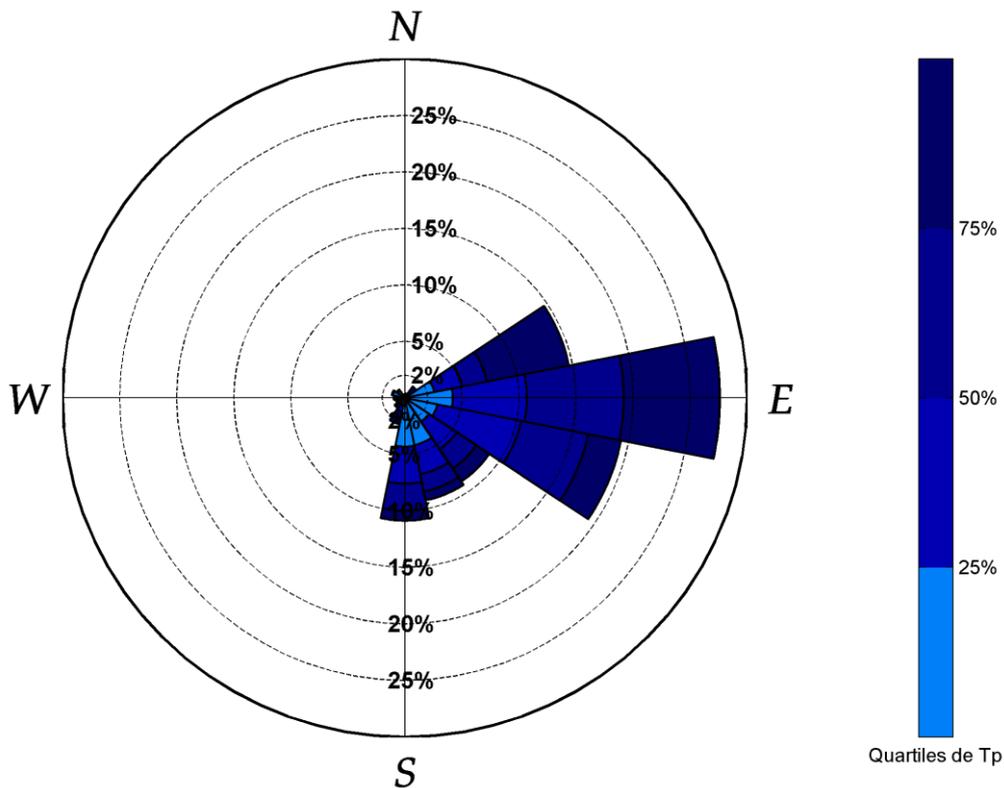


Figura A.I.9. Rosa de oleaje para T_p de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

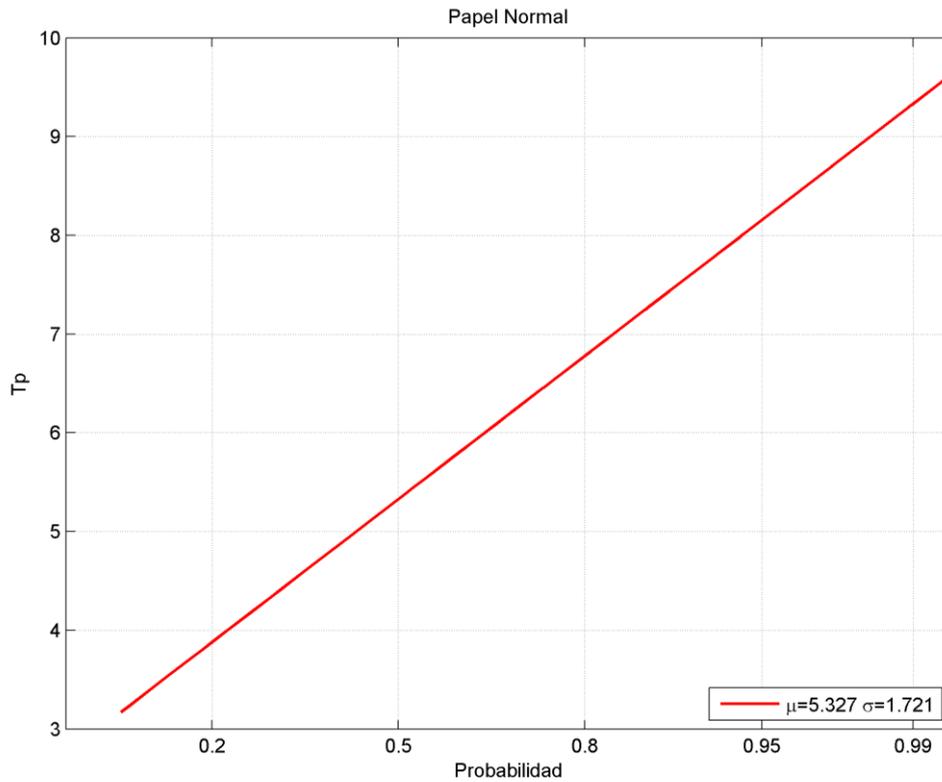


Figura A.I.10. Régimen medio de T_p , dirección escalar de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

Variable medida: T_p

direcciones(°)	prob.direccion	$T_{p_{50\%}}$	$T_{p_{90\%}}$	$T_{p_{99\%}}$	$T_{p_{12}}$
N	0.0031	5.9000	8.0000	9.1000	9.1000
NNE	0.0039	7.1000	8.5000	10.0000	10.5000
NE	0.0120	7.1000	8.7000	10.0000	11.4625
ENE	0.1464	6.5000	8.8000	10.5000	11.7515
E	0.2758	5.7000	7.7000	9.1000	10.4770
ESE	0.1930	5.2000	6.9000	8.7000	10.0000
SE	0.0888	5.0000	7.0000	8.7000	10.0000
SSE	0.0923	4.3500	6.2000	7.8000	9.1000
S	0.1085	4.5000	6.2000	7.7000	9.1000
SSW	0.0236	5.2000	6.9000	8.3000	9.1000
SW	0.0109	5.0000	7.1000	8.3000	10.1311
WSW	0.0080	3.7000	6.9000	9.0070	13.7373
W	0.0097	2.9000	6.2000	8.3700	10.9466
WNW	0.0117	3.1000	4.2000	7.7000	9.6459
NW	0.0088	3.3000	5.9000	8.9500	11.9890
NNW	0.0032	3.4000	7.4200	8.6420	10.0000

Tabla A.I.2. Estadísticos básicos de la T_p de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

2. ANÁLISIS EXTREMAL POR DIRECCIONES

ENE:

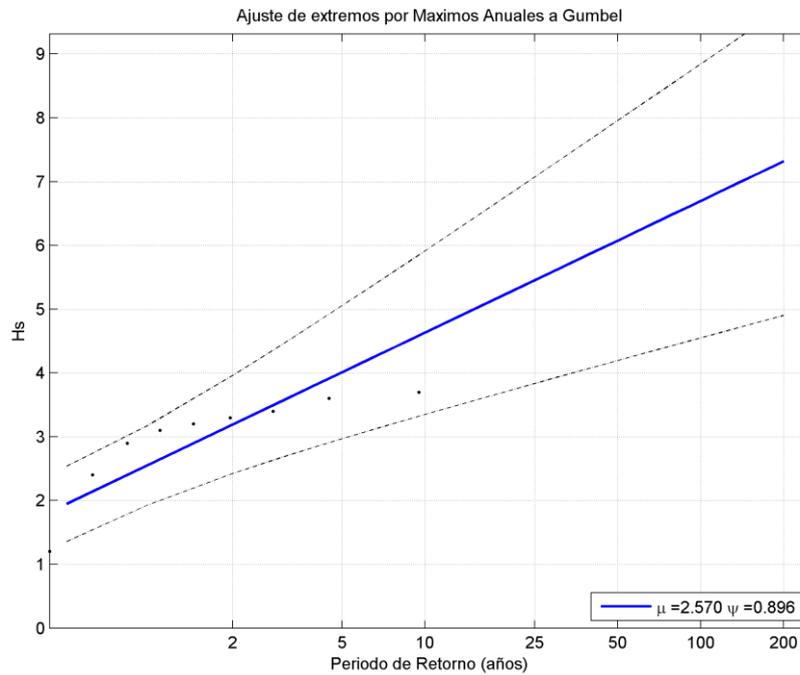


Figura A.I. 11. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

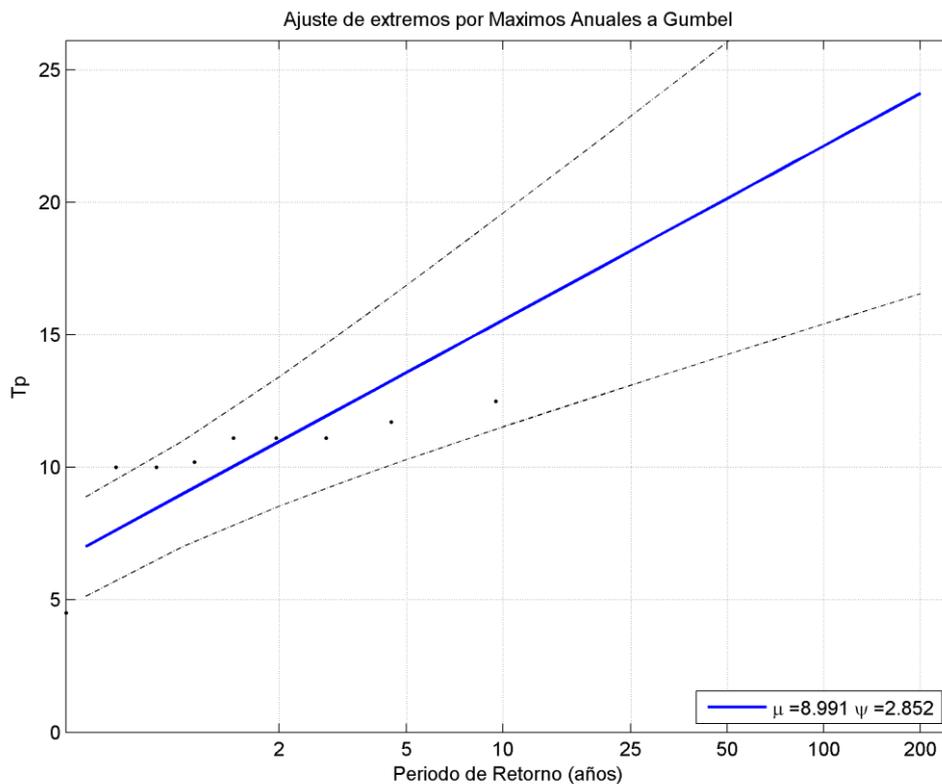


Figura A.I.12. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

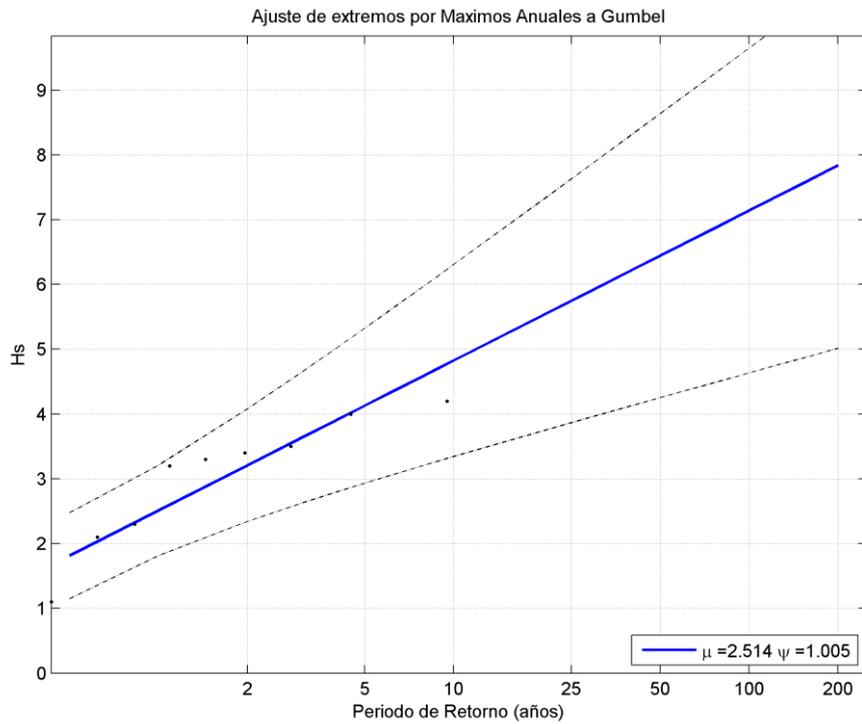
E:

Figura A.I.13. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección ENE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

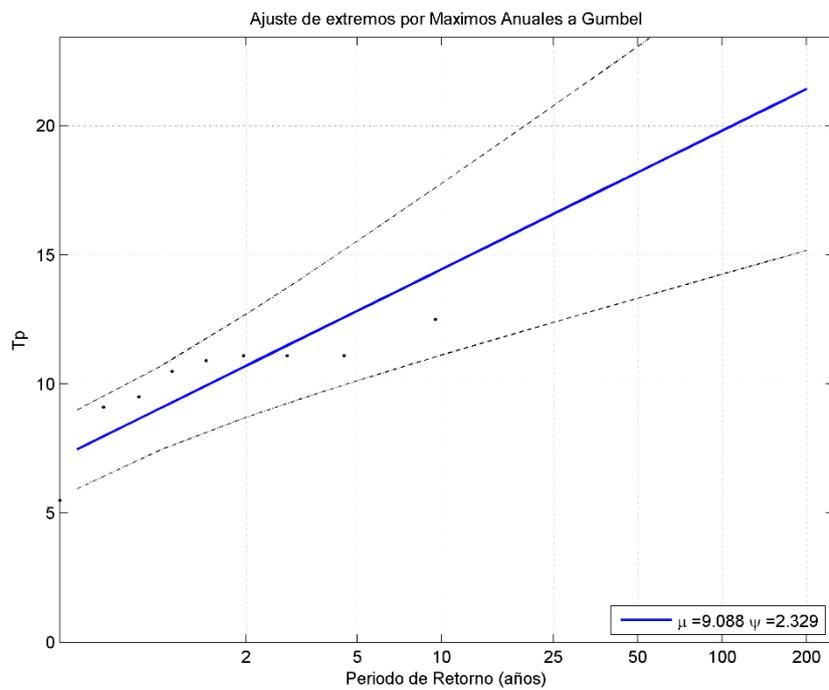


Figura A.I.14. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección E, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

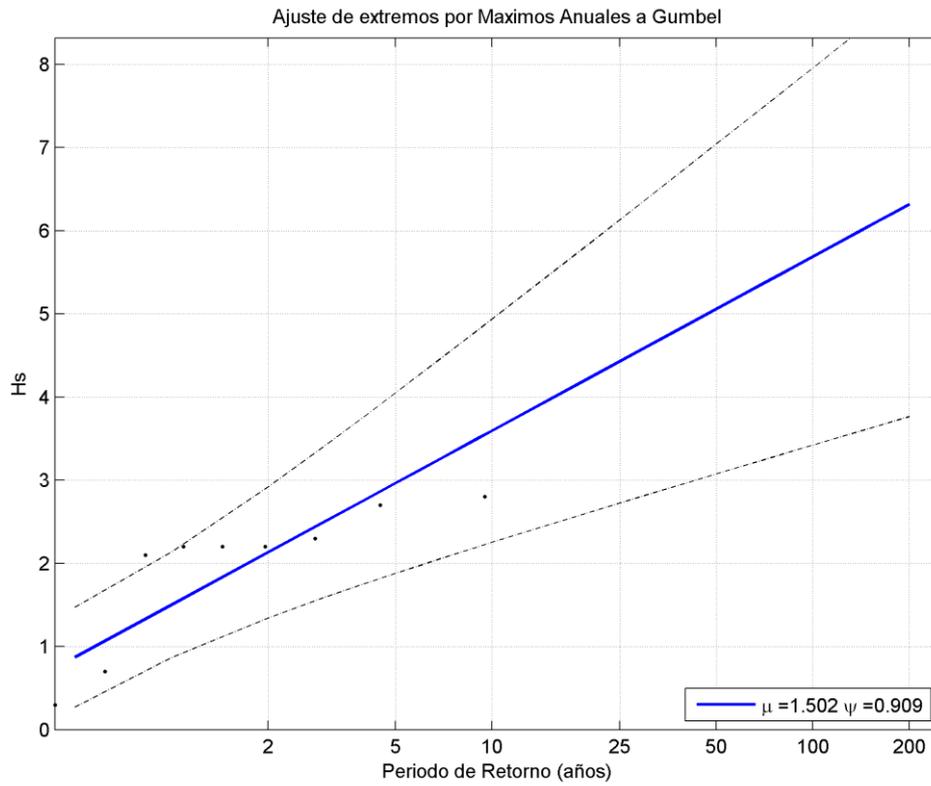
ESE:

Figura A.I.15. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección ENE, de la Boya Alicante.
Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

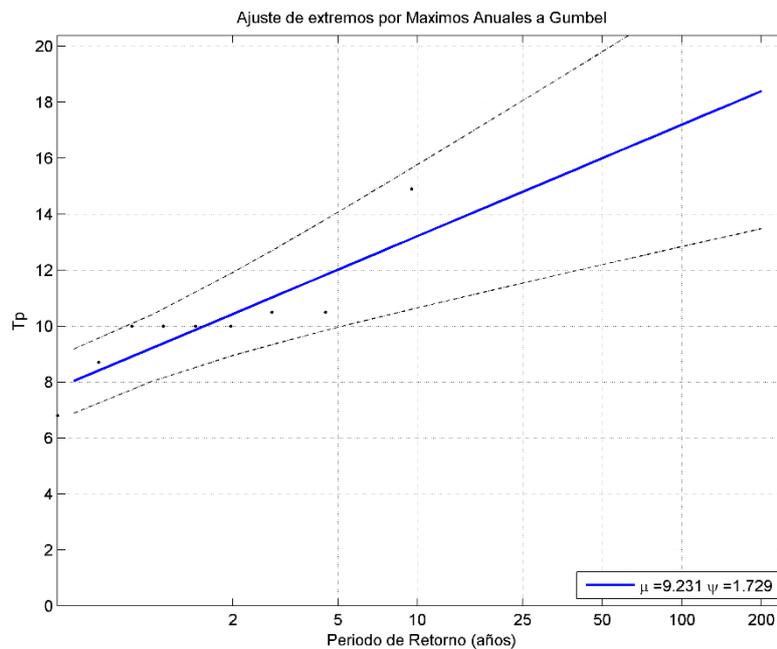


Figura A.I.16. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección ESE, de la Boya Alicante.
Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

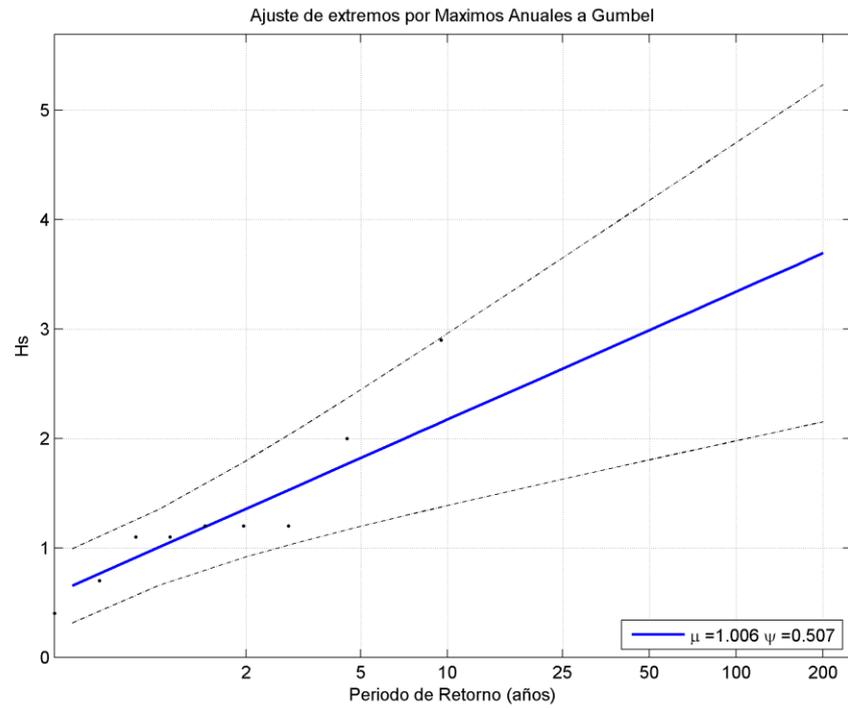
SE:

Figura A.I.17. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección SE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

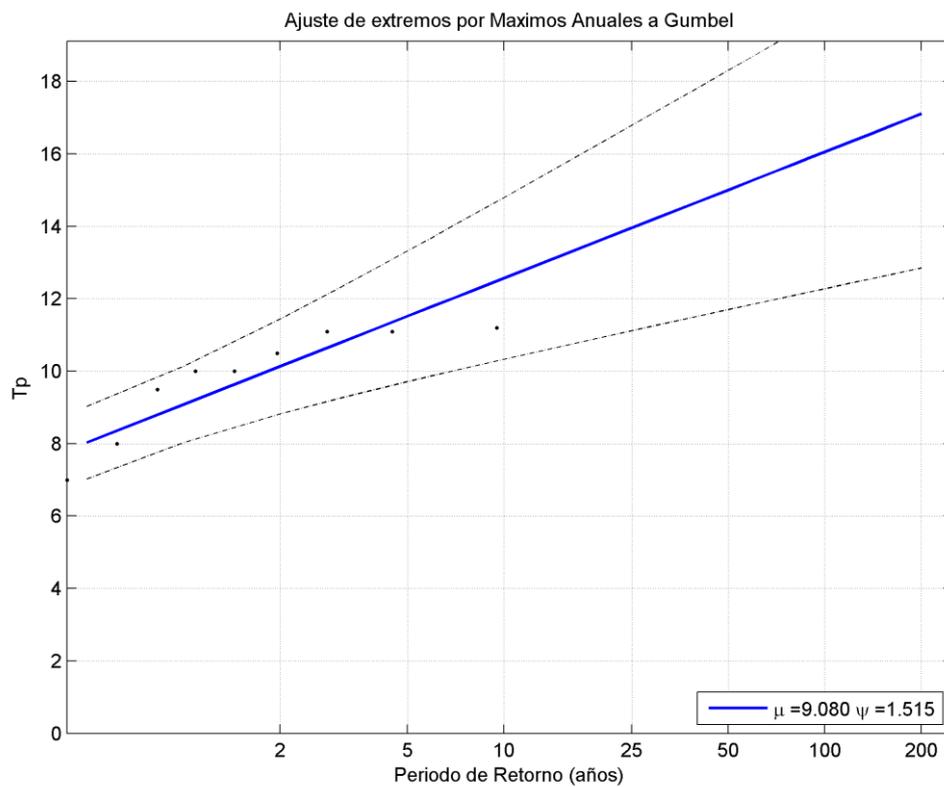


Figura A.I.18. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección SE, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

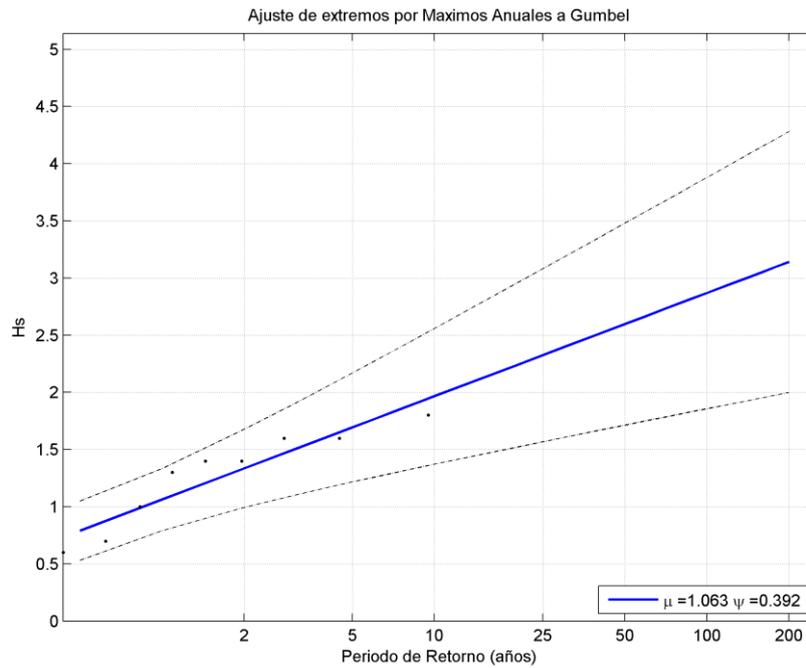
SSE:

Figura A.I.19. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección SSE, de la Boya Alicante.
Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

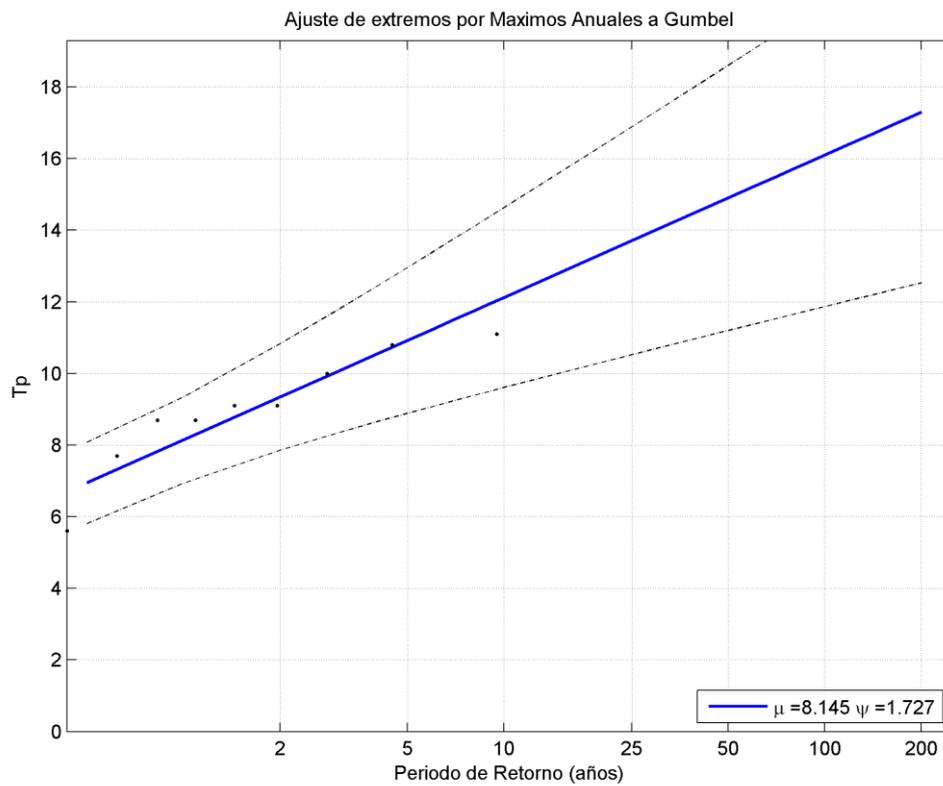


Figura A.I.20. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección SSE, de la Boya Alicante.
Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

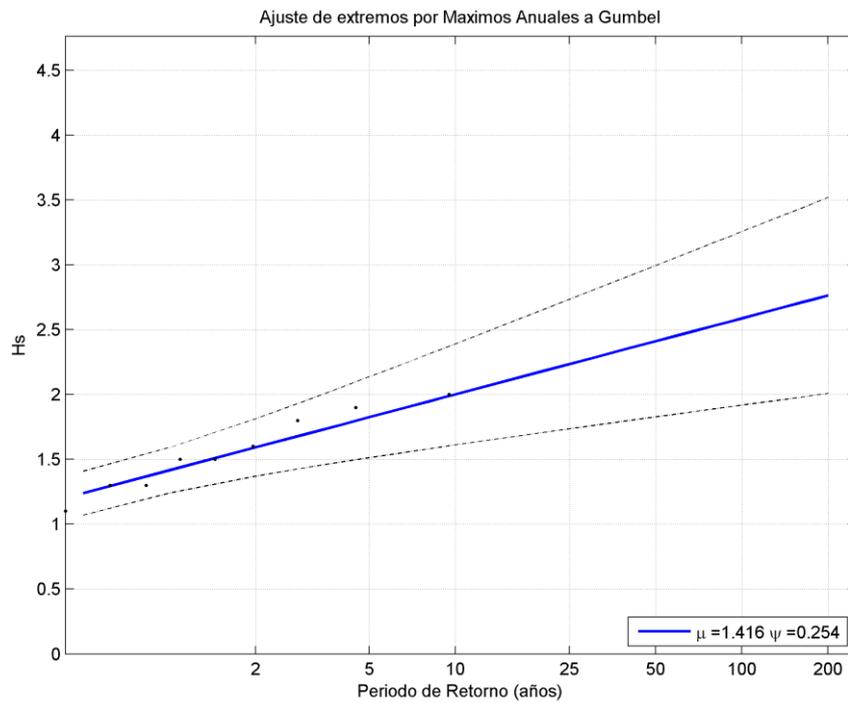
S:

Figura A.I.21. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Hs dirección S, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

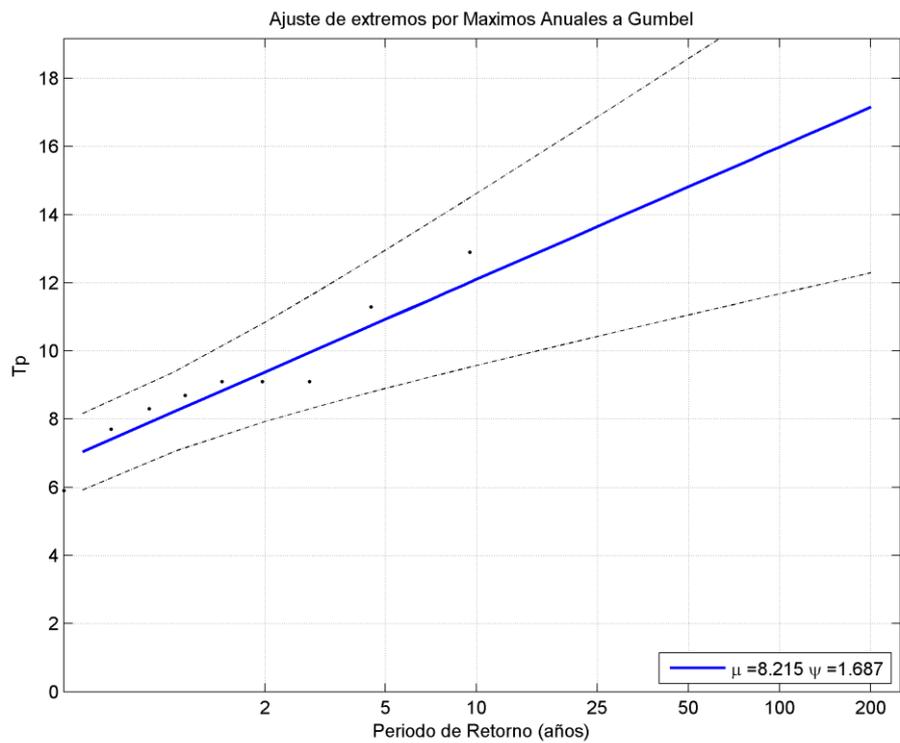


Figura A.I.22. Ajuste de extremos por Máximos anuales de Gumbel para Tp dirección S, de la Boya Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

3. ANÁLISIS DEL RÉGIMEN MEDIO POR DIRECCIONES

ENE:

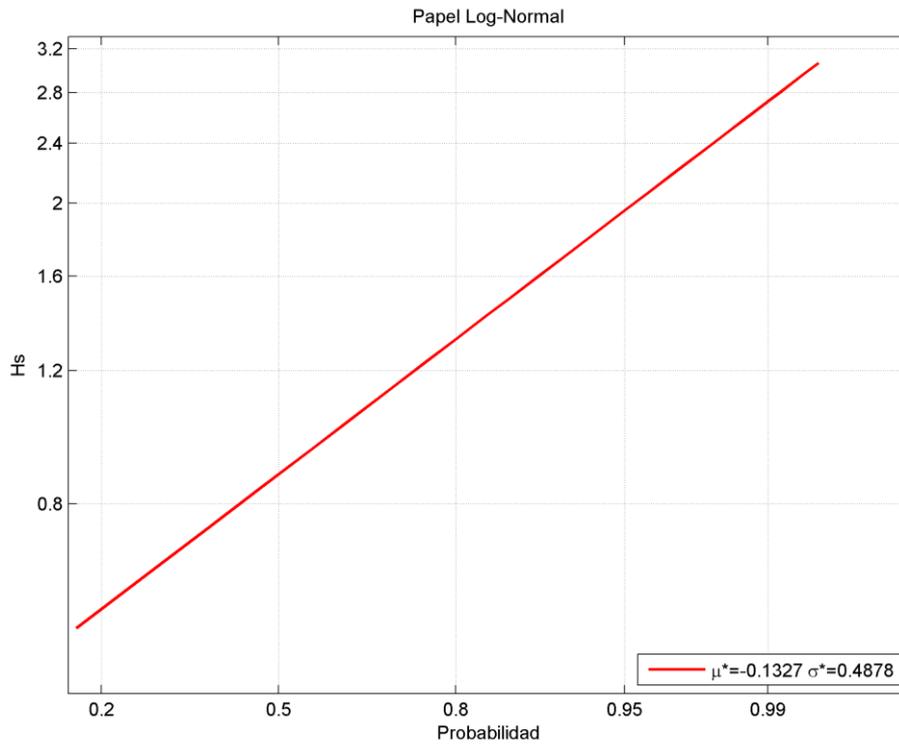


Figura A.I.23. Régimen medio de Hs, dirección ENE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

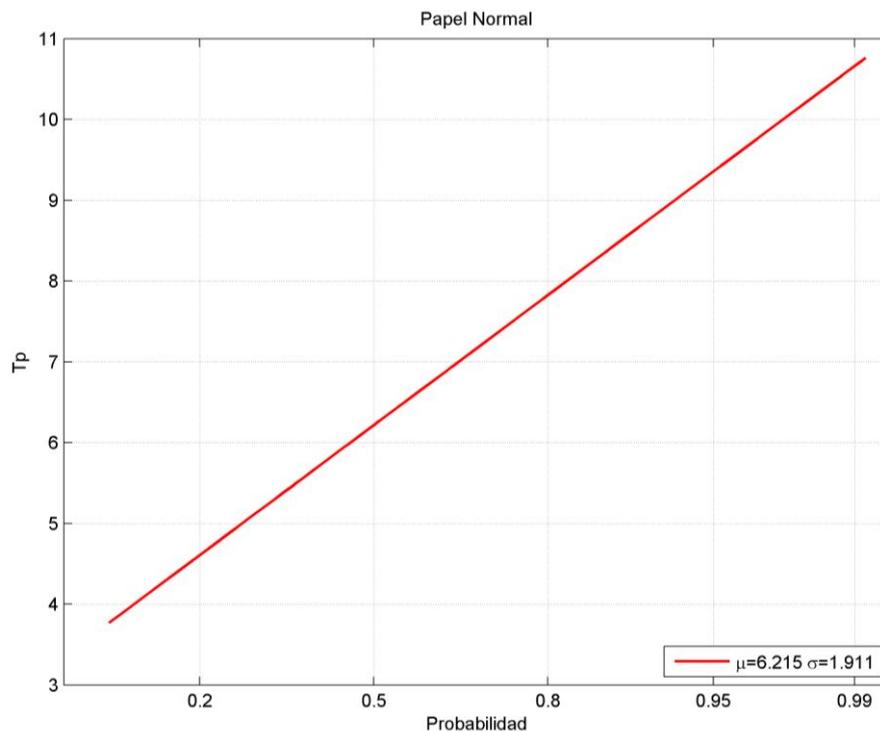


Figura A.I.24. Régimen medio de Tp, dirección ENE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

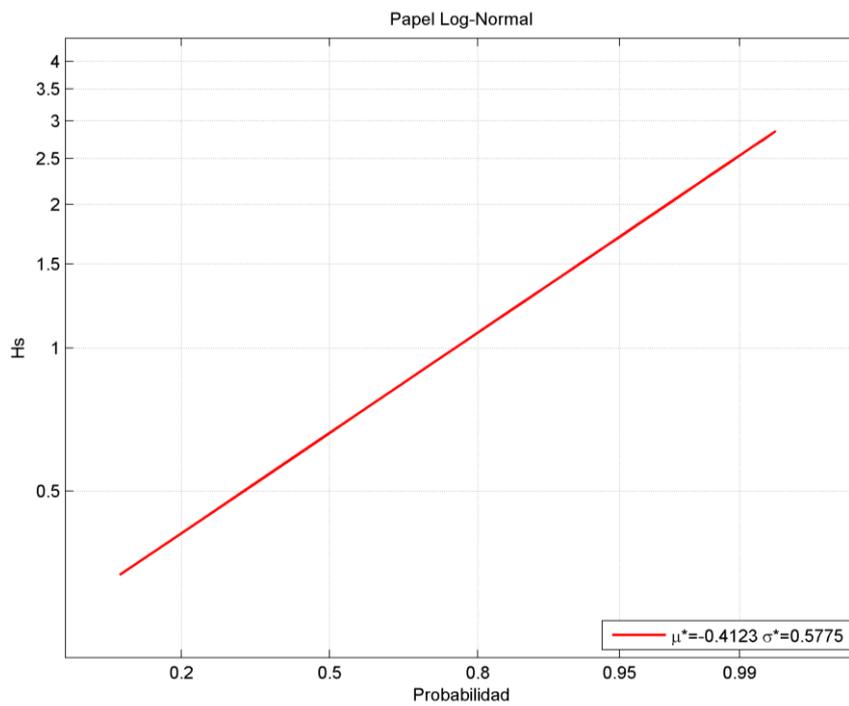
E:

Figura A.I.25. Régimen medio de H_s , dirección E de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

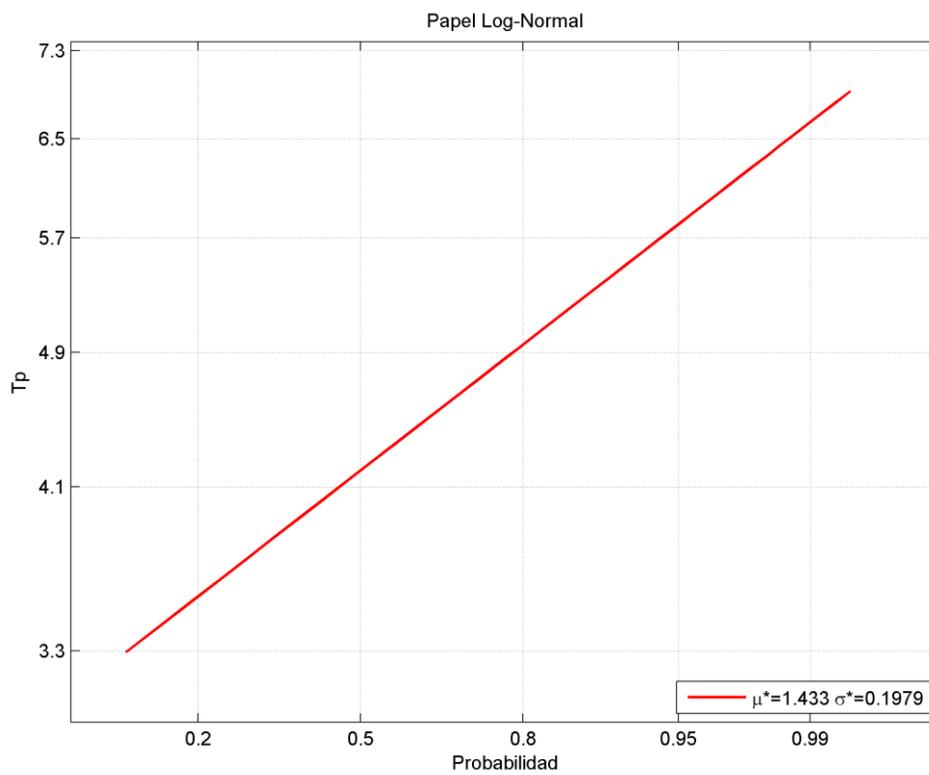


Figura A.I.26. Régimen medio de T_p , dirección E de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

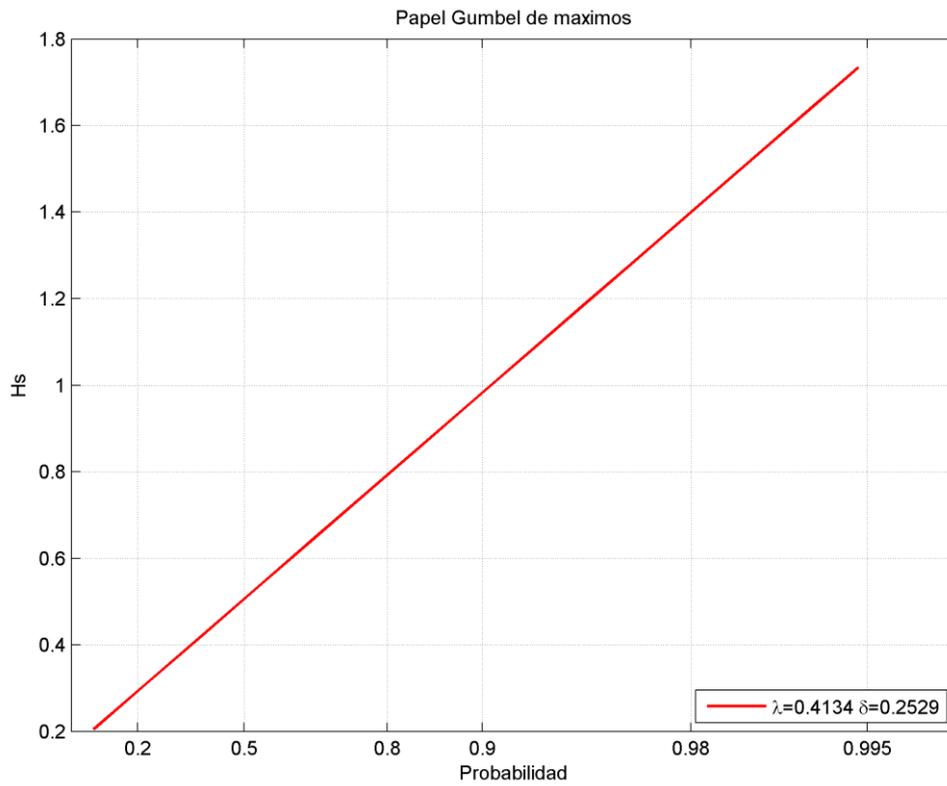
ESE:

Figura A.I.27. Régimen medio de H_s , dirección ESE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

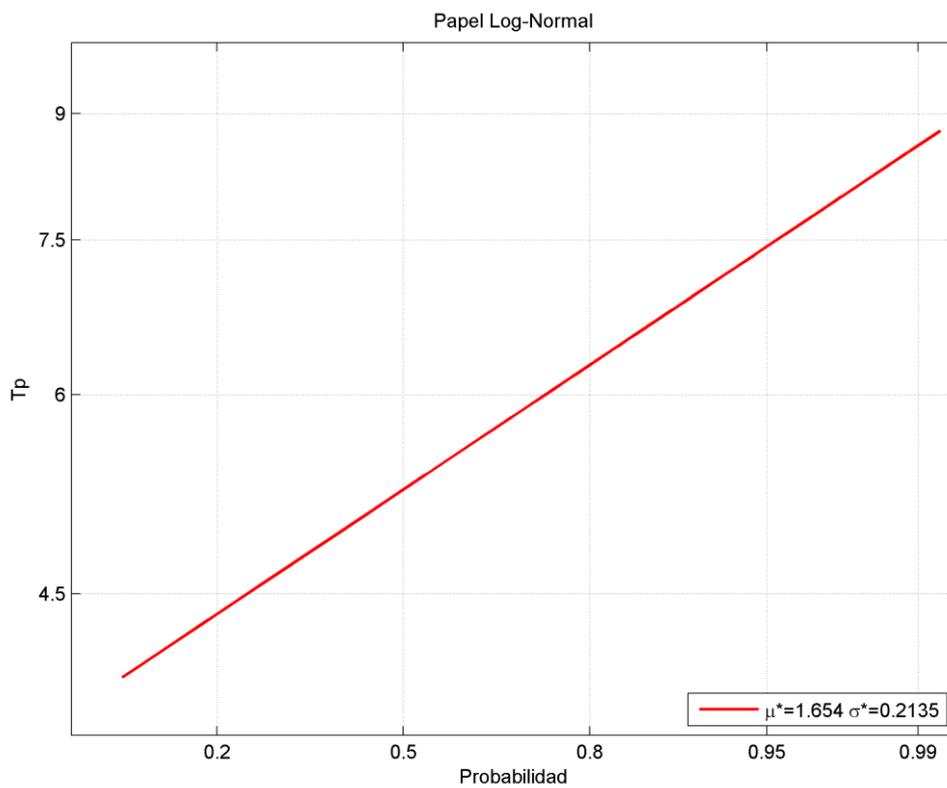


Figura A.I.28. Régimen medio de T_p , dirección ESE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

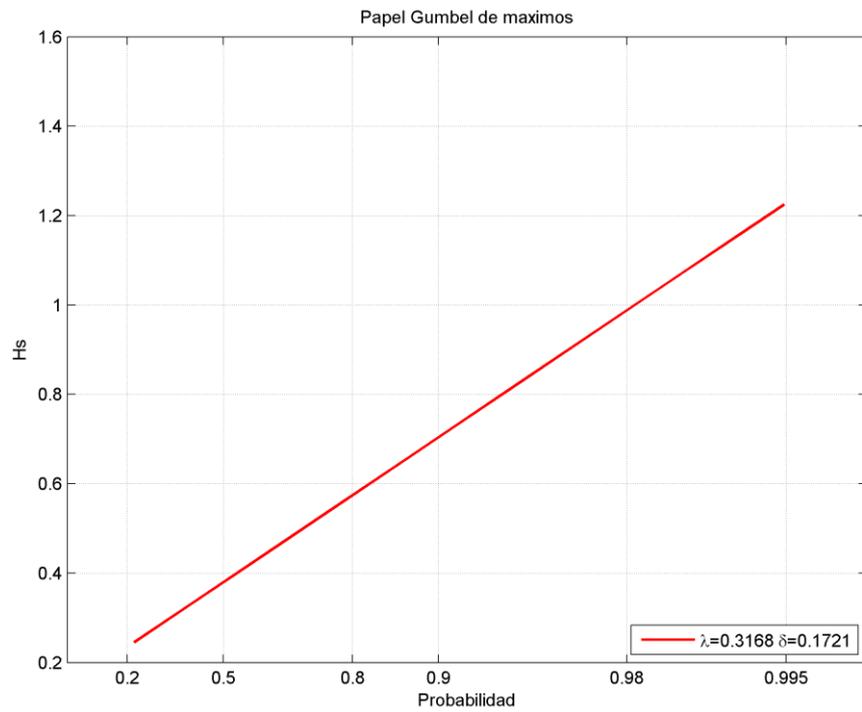
SE:

Figura A.I.29. Régimen medio de H_s , dirección SE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

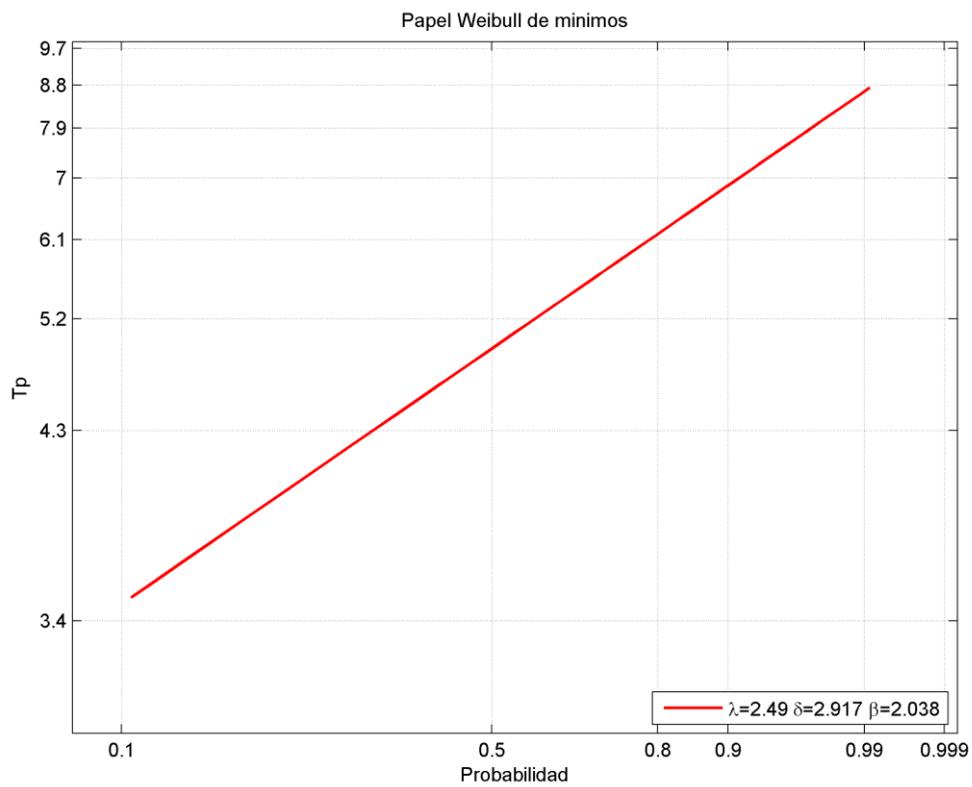


Figura A.I.30. Régimen medio de T_p , dirección SE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

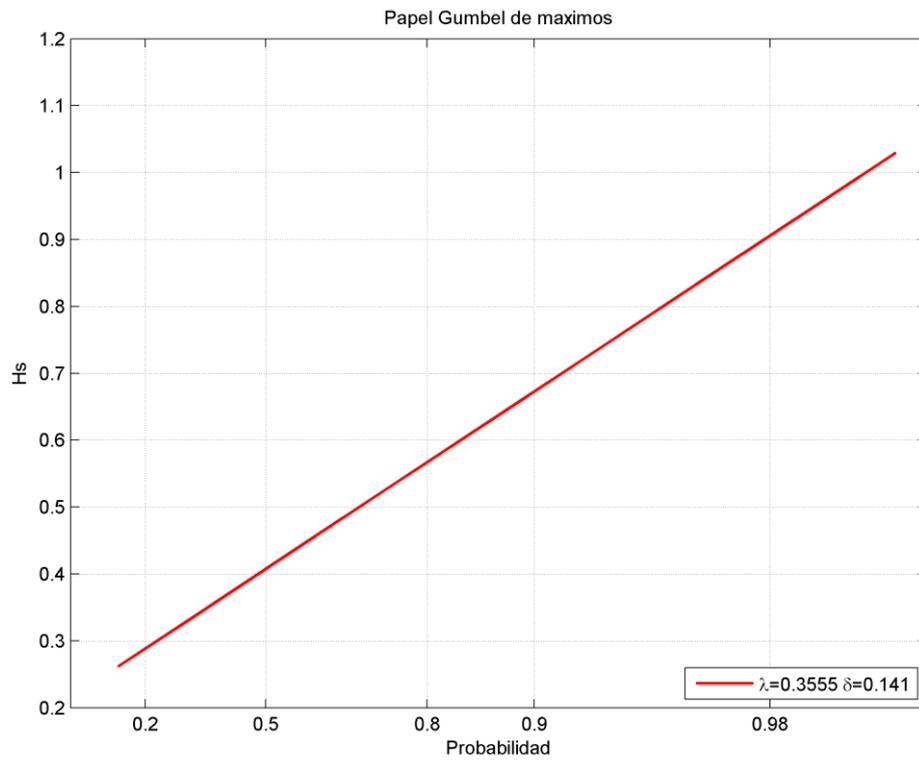
SSE:

Figura A.I.31. Régimen medio de H_s , dirección SSE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

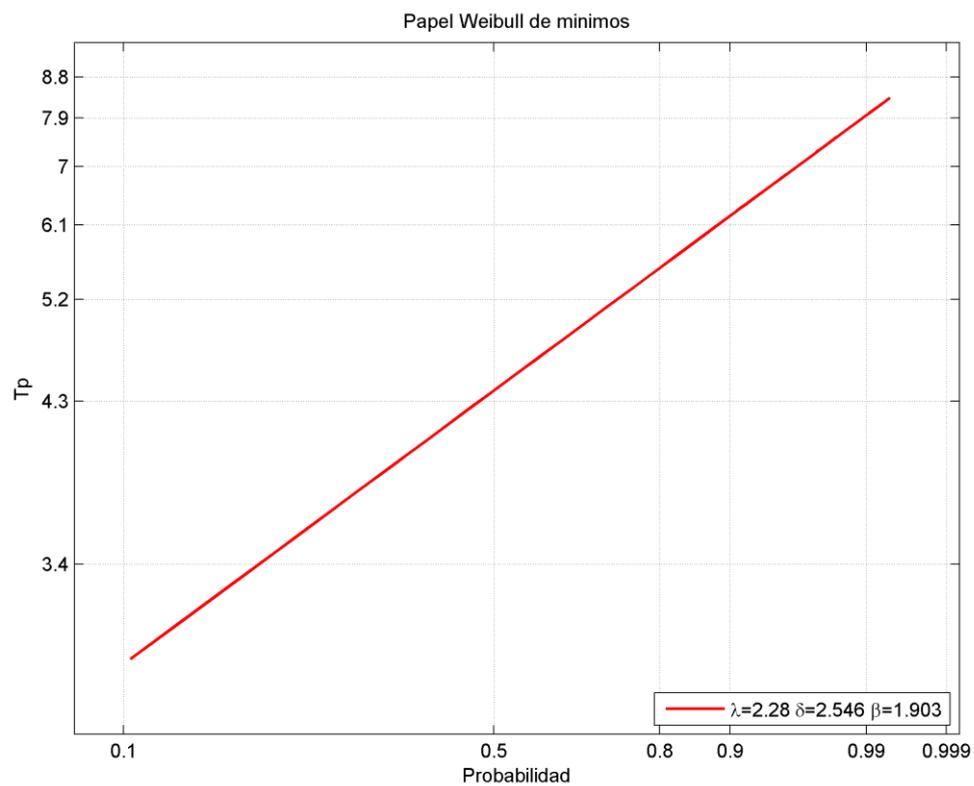


Figura A.I.32. Régimen medio de T_p , dirección SSE de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

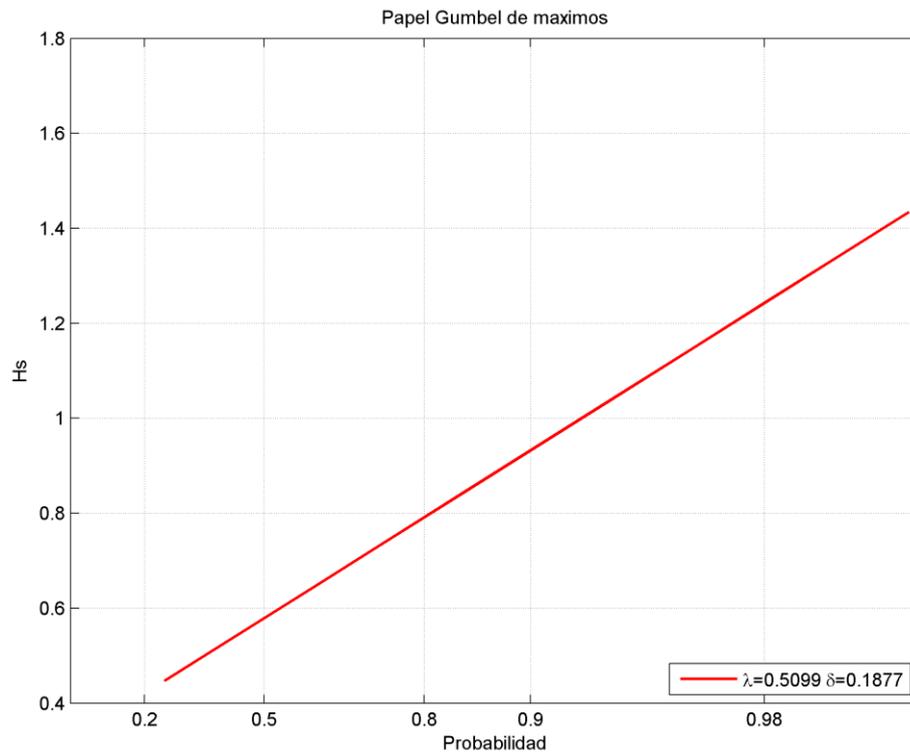
S:

Figura A.I.33. Régimen medio de H_s , dirección S de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

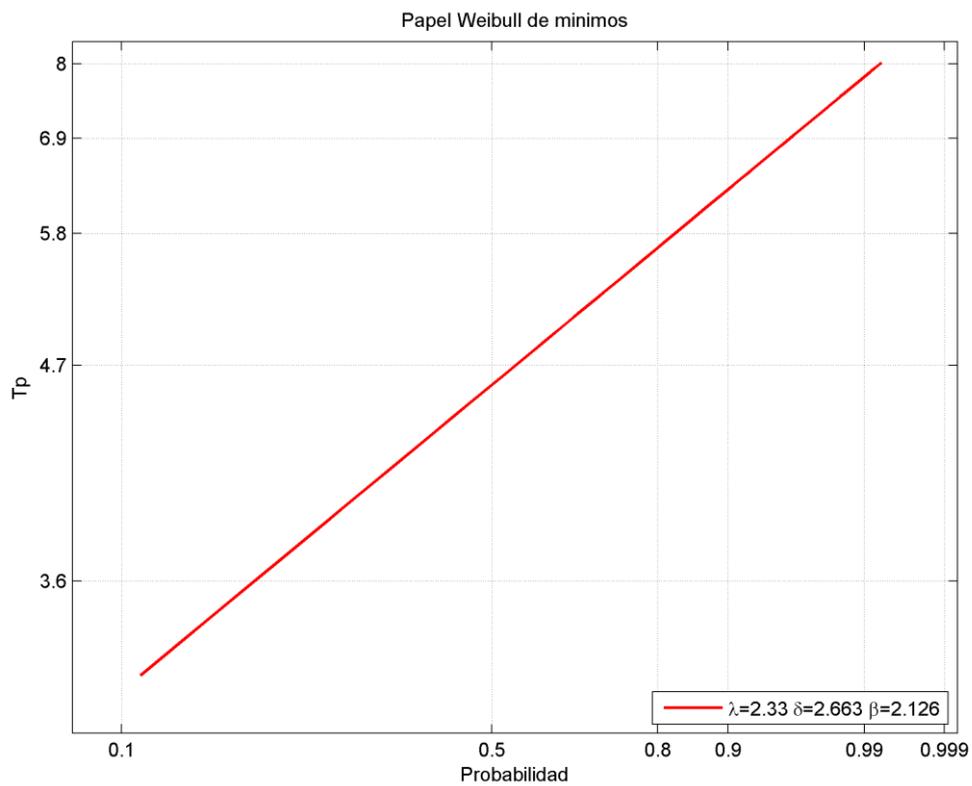


Figura A.I.34. Régimen medio de T_p , dirección S de la boya de Alicante. Fuente: Elaboración propia con uso del CAROL

4. REFRACCIÓN INVERSA.

DIR	Hs (m)	Tp (s)	SITUACIÓN FORMULA SIMPLIFICADA	L (m)	d/L	SITUACIÓN FORMULA COMPLETA	Ks*Kr	Hs aguasprf (m)
ENE	0.50	4.02	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	0.50
	1.00	6.73	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	1.00
	1.50	8.32	AGUAS INTERMEDIAS	107.66	0.48	AGUAS INTERMEDIAS	0.99	1.52
	2.00	9.45	AGUAS INTERMEDIAS	137.08	0.38	AGUAS INTERMEDIAS	0.97	2.06
	2.50	10.32	AGUAS INTERMEDIAS	160.74	0.32	AGUAS INTERMEDIAS	0.96	2.60
	3.00	11.03	AGUAS INTERMEDIAS	180.12	0.29	AGUAS INTERMEDIAS	0.94	3.19

Tabla A.I.3. Refracción inversa para la dirección ENE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)	SITUACIÓN FORMULA SIMPLIFICADA	L (m)	d/L	SITUACIÓN FORMULA COMPLETA	Ks*Kr	Hs aguasprf (m)
E	0.50	3.81	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	0.50
	1.00	4.83	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	1.00
	1.50	5.55	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	1.50
	2.00	6.12	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	2.00
	2.50	6.60	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	2.50
	3.00	6.98	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	3.00

Tabla A.I.4. Refracción inversa para la dirección E. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)	SITUACIÓN FORMULA SIMPLIFICADA	L (m)	d/L	SITUACIÓN FORMULA COMPLETA	Ks*Kr	Hs aguasprf (m)
ESE	0.50	5.20	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	0.50
	1.00	6.87	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	1.00
	1.50	8.38	AGUAS INTERMEDIAS	109.02	0.48	AGUAS INTERMEDIAS	0.99	1.52
	2.00	9.67	AGUAS INTERMEDIAS	142.87	0.36	AGUAS INTERMEDIAS	0.97	2.06

Tabla A.I.5. Refracción inversa para la dirección ESE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)	SITUACIÓN FORMULA SIMPLIFICADA	L (m)	d/L	SITUACIÓN FORMULA COMPLETA	Ks*Kr	Hs aguasprf (m)
SE	0.50	5.72	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	0.50
	1.00	8.23	AGUAS INTERMEDIAS	105.43	0.49	AGUAS INTERMEDIAS	0.99	1.00
	1.50	9.97	AGUAS INTERMEDIAS	151.08	0.34	AGUAS INTERMEDIAS	0.96	1.56

Tabla A.I.6. Refracción inversa para la dirección SE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)	SITUACIÓN FORMULA SIMPLIFICADA	L (m)	d/L	SITUACIÓN FORMULA COMPLETA	Ks*Kr	Hs aguasprf (m)
SSE	0.50	5.08	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	0.50
	1.00	7.94	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	1.00
	1.50	9.93	AGUAS INTERMEDIAS	150.02	0.35	AGUAS INTERMEDIAS	0.96	1.56

Tabla A.I.7. Refracción inversa para la dirección SSE. Fuente: Propia

DIR	Hs (m)	Tp (s)	SITUACIÓN FORMULA SIMPLIFICADA	L (m)	d/L	SITUACIÓN FORMULA COMPLETA	Ks*Kr	Hs aguasprf (m)
S	0.50	4.12	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	0.50
	1.00	6.54	AGUAS PROFUNDAS	-	-	-	1.00	1.00
	1.50	8.14	AGUAS PROFUNDAS	103.16	0.50	AGUAS PROFUNDAS	1.00	1.50

Tabla A.I.8. Refracción inversa para la dirección S. Fuente: Propia

5. PROPAGACIÓN

Propagación hasta batimetría 40 m.

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Norte
ENE	4.02	0.50	50.00	1.00	1.00	50.00	0.50	67.50
	6.73	1.00	50.00	1.00	1.00	49.89	0.99	67.61
	8.32	1.52	50.00	0.99	0.97	48.82	1.45	68.68
	9.45	2.06	50.00	0.97	0.94	47.03	1.89	70.47
	10.32	2.60	50.00	0.96	0.93	45.20	2.31	72.30
	11.03	3.19	50.00	0.94	0.92	43.57	2.77	73.93

Tabla A.I.9. Propagación del oleaje con dirección ENE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Sur
E	3.81	0.50	27.50	1.00	1.00	27.50	0.50	90.00
	4.83	1.00	27.50	1.00	1.00	27.50	1.00	90.00
	5.55	1.50	27.50	1.00	1.00	27.50	1.50	90.00
	6.12	2.00	27.50	1.00	1.00	27.49	2.00	89.99
	6.60	2.50	27.50	1.00	1.00	27.46	2.49	89.96
	6.98	3.00	27.50	1.00	0.99	27.42	2.98	89.92

Tabla A.I.10. Propagación del oleaje con dirección E hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Sur
ESE	5.20	0.50	5.00	1.00	1.00	5.00	0.50	67.50
	6.87	1.00	5.00	1.00	0.99	4.99	0.99	67.49
	8.38	1.52	5.00	1.00	0.97	4.91	1.47	67.41
	9.67	2.06	5.00	1.00	0.94	4.74	1.94	67.24

Tabla A.I.11. Propagación del oleaje con dirección ESE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Sur
SE	5.72	0.50	17.50	1.00	1.00	17.50	0.50	45.00
	8.23	1.00	17.50	1.00	0.97	17.24	0.97	45.26
	9.97	1.56	17.50	1.00	0.93	16.39	1.46	46.11

Tabla A.I.12. Propagación del oleaje con dirección SE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Sur
SSE	5.08	0.50	40.00	1.00	1.00	40.00	0.50	22.50
	7.94	1.00	40.00	1.00	0.98	39.46	0.97	23.04
	9.93	1.56	40.00	0.98	0.94	37.17	1.43	25.33

Tabla A.I.13. Propagación del oleaje con dirección SSE hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Sur
S	4.12	0.50	62.50	1.00	1.00	62.50	0.50	0.00
	6.54	1.00	62.50	1.00	1.00	62.38	0.99	0.12
	8.14	1.50	62.50	0.98	0.97	60.95	1.42	1.55

Tabla A.I.14. Propagación del oleaje con dirección S hasta batimetría 40 m. Fuente: Propia

Propagación hasta batimetría 25 m.

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Sur
S	4.117	0.5	62.5	1	1	62.5	0.5	0
	6.538	1	62.5	0.97	0.97	60.73	0.94	1.77
	8.143	1.5	62.5	0.9	0.93	55.31	1.25	7.19

Tabla A.I.15. Propagación del oleaje con dirección S hasta batimetría 25 m. Fuente: Propia

DIR	Tp (s)	Hs (m)	α_0	Kr	Ks	α	Hs (m)	Dirección respecto Norte
ENE	4.019	0.5	50	1	1	50	0.5	67.5
	6.734	1	50	0.99	0.96	48.57	0.95	68.93
	8.323	1.51515	50	0.95	0.93	44.73	1.34	72.77
	9.45	2.06186	50	0.93	0.91	41.39	1.75	76.11
	10.322	2.60417	50	0.91	0.91	38.85	2.16	78.65
	11.03	3.19149	50	0.9	0.92	36.9	2.62	80.6

Tabla A.I.16. Propagación del oleaje con dirección ENE hasta batimetría 25 m. Fuente: Propia

6. PROPAGACIÓN SMC.

Dirección ENE:

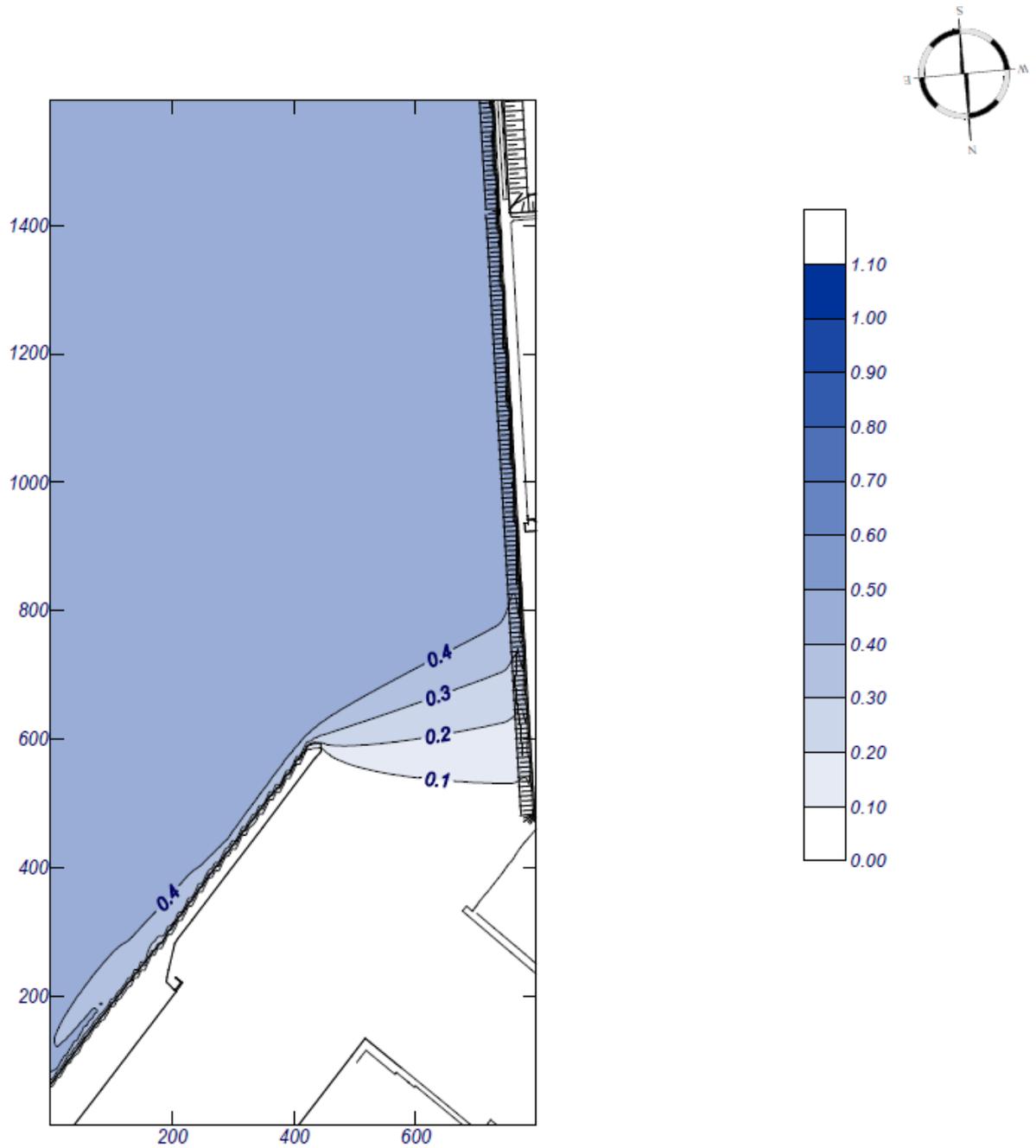


Figura A.I.35. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE ($H_s=0.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

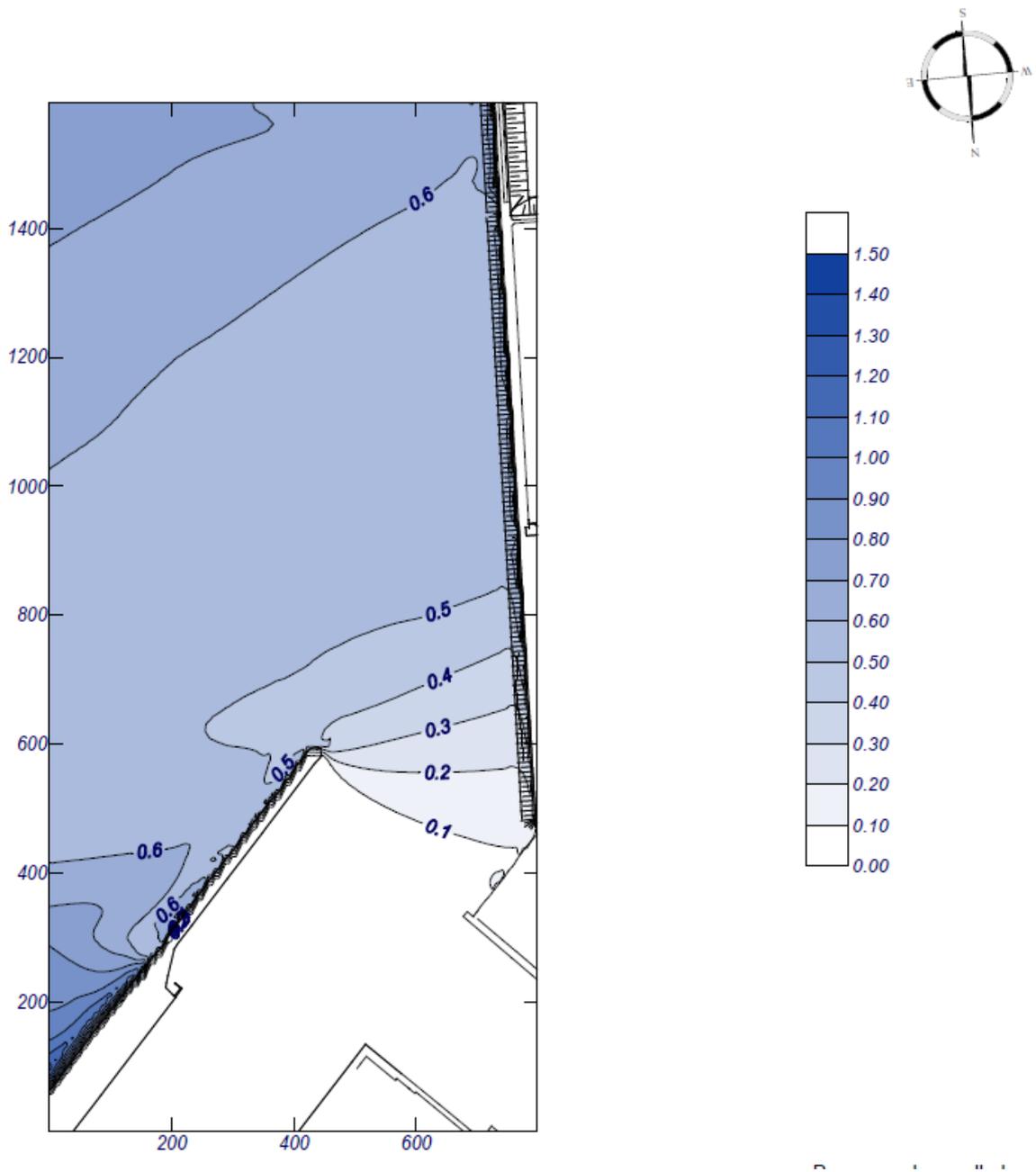


Figura A.I.36. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE ($H_s=0.95$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

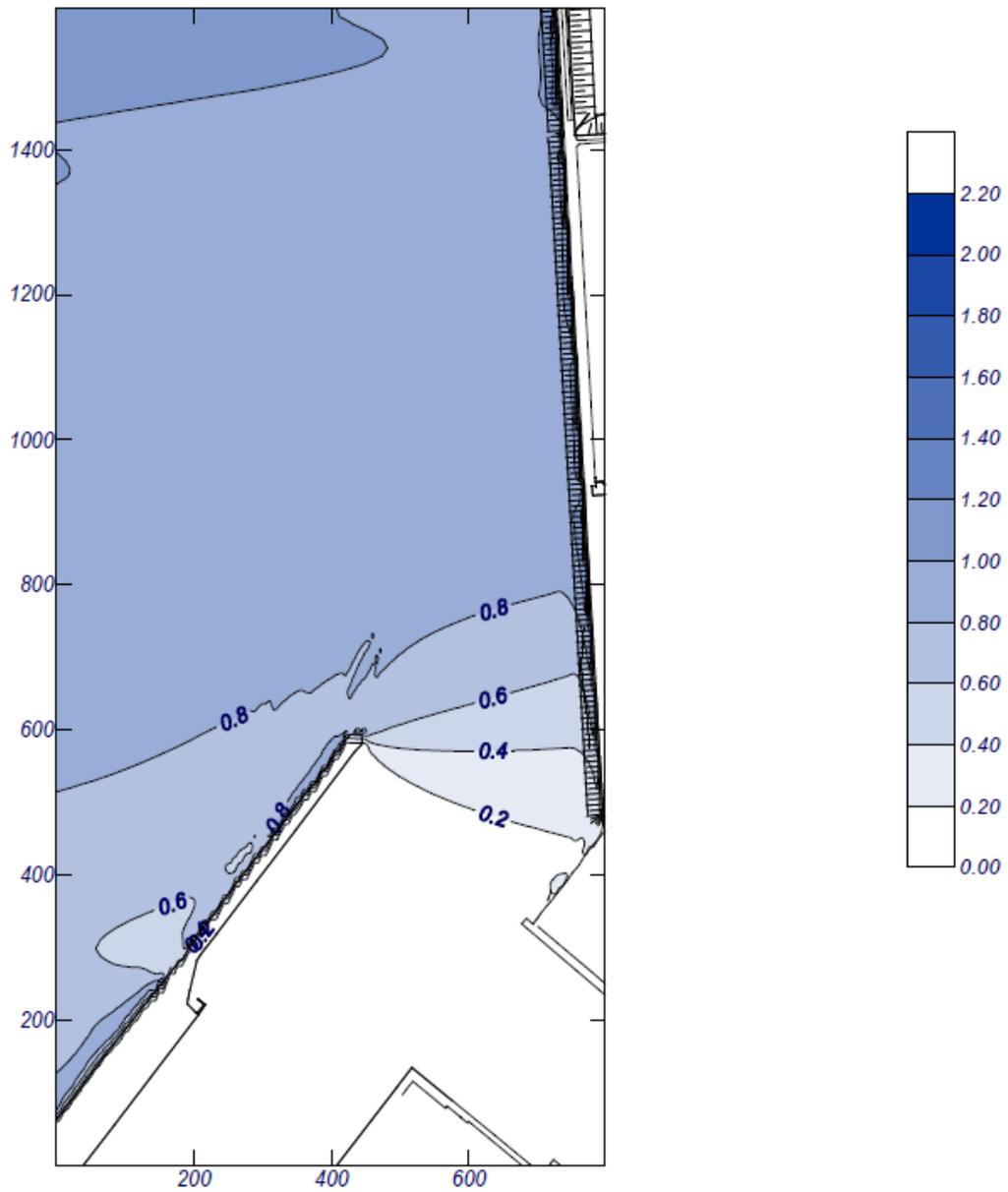
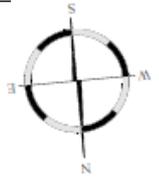


Figura A.I.37. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE ($H_s=1.34$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

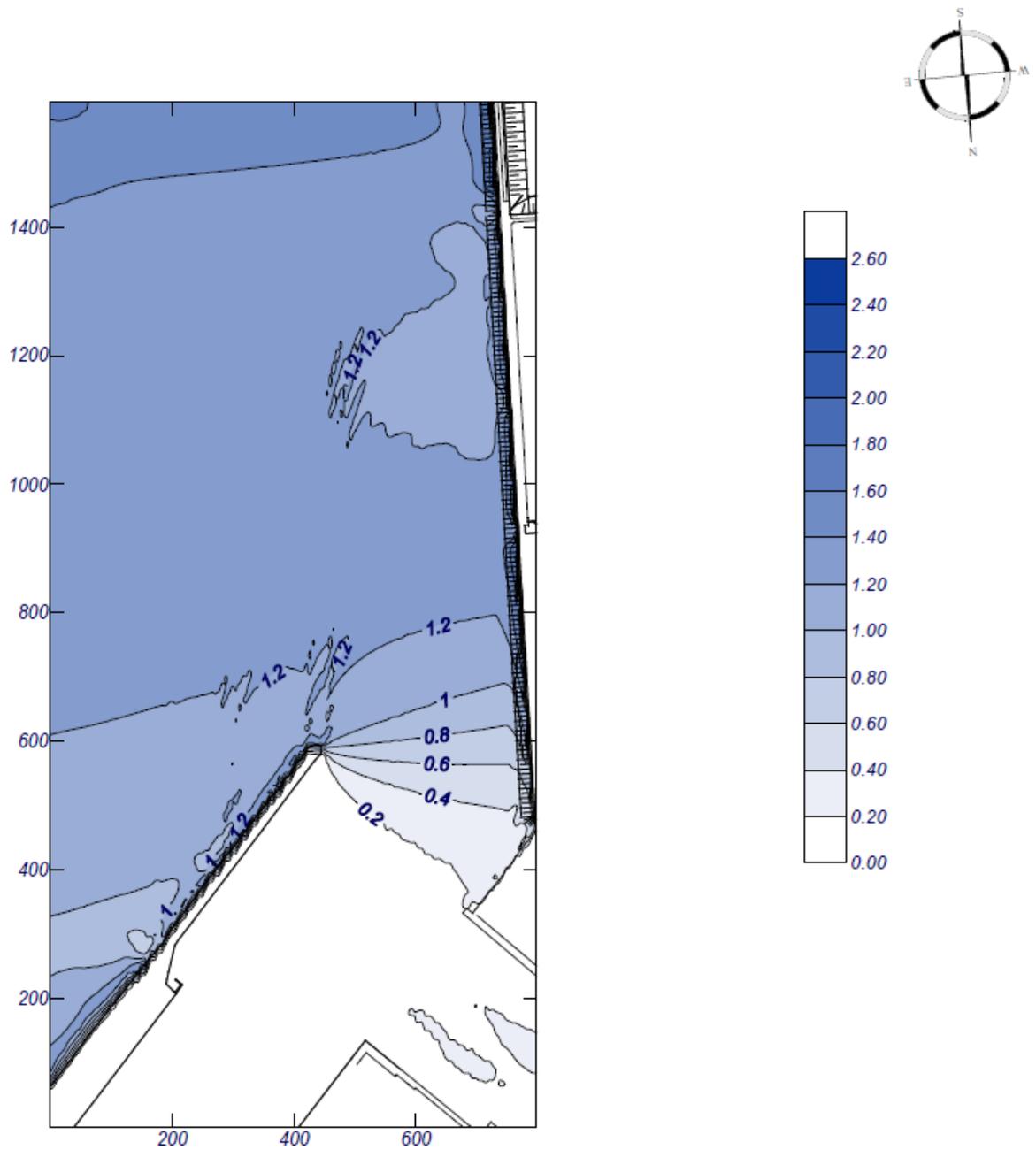


Figura A.I.38. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE ($H_s = 1.75$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

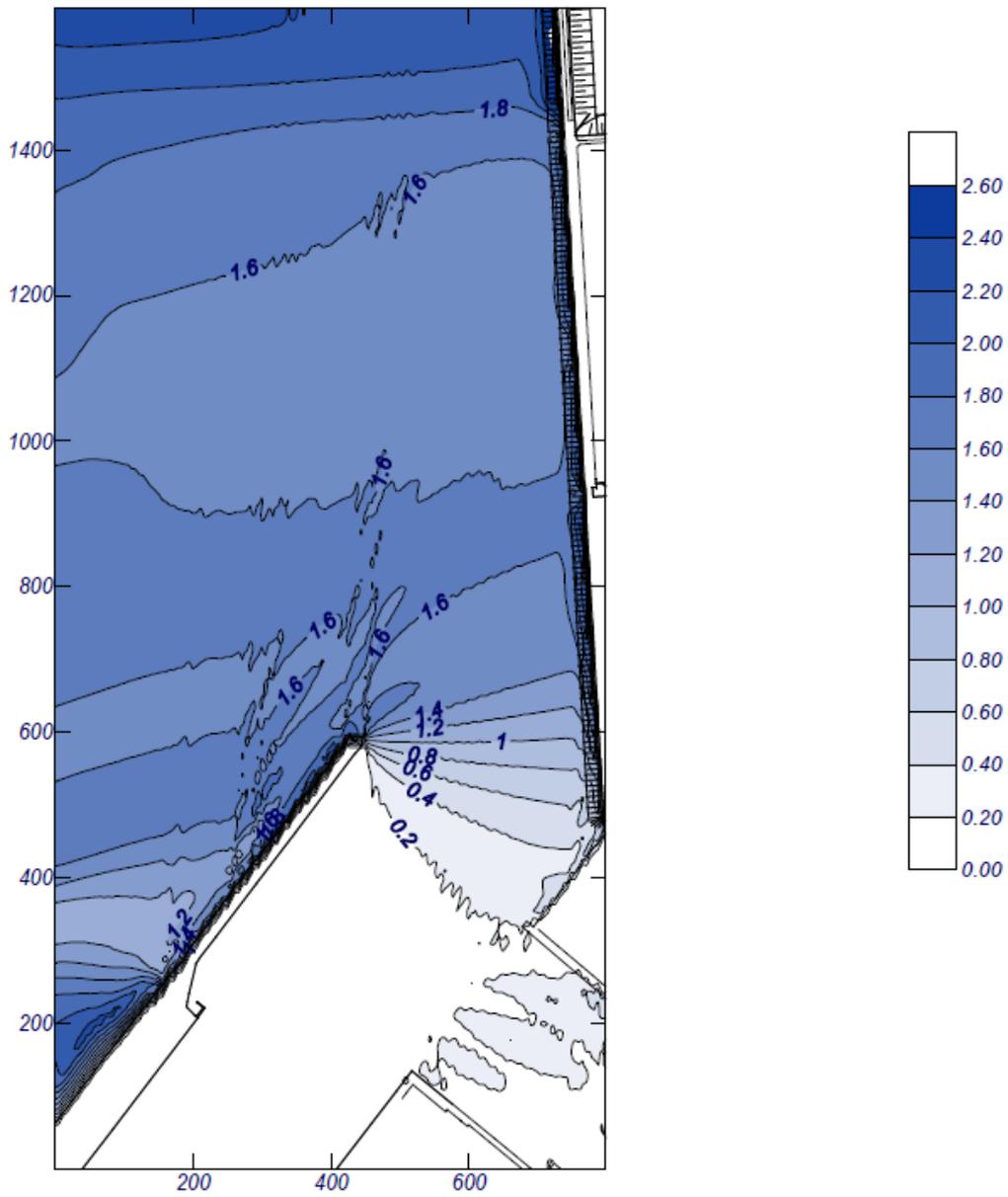
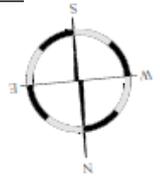


Figura A.I.39. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE ($H_s = 2.16$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

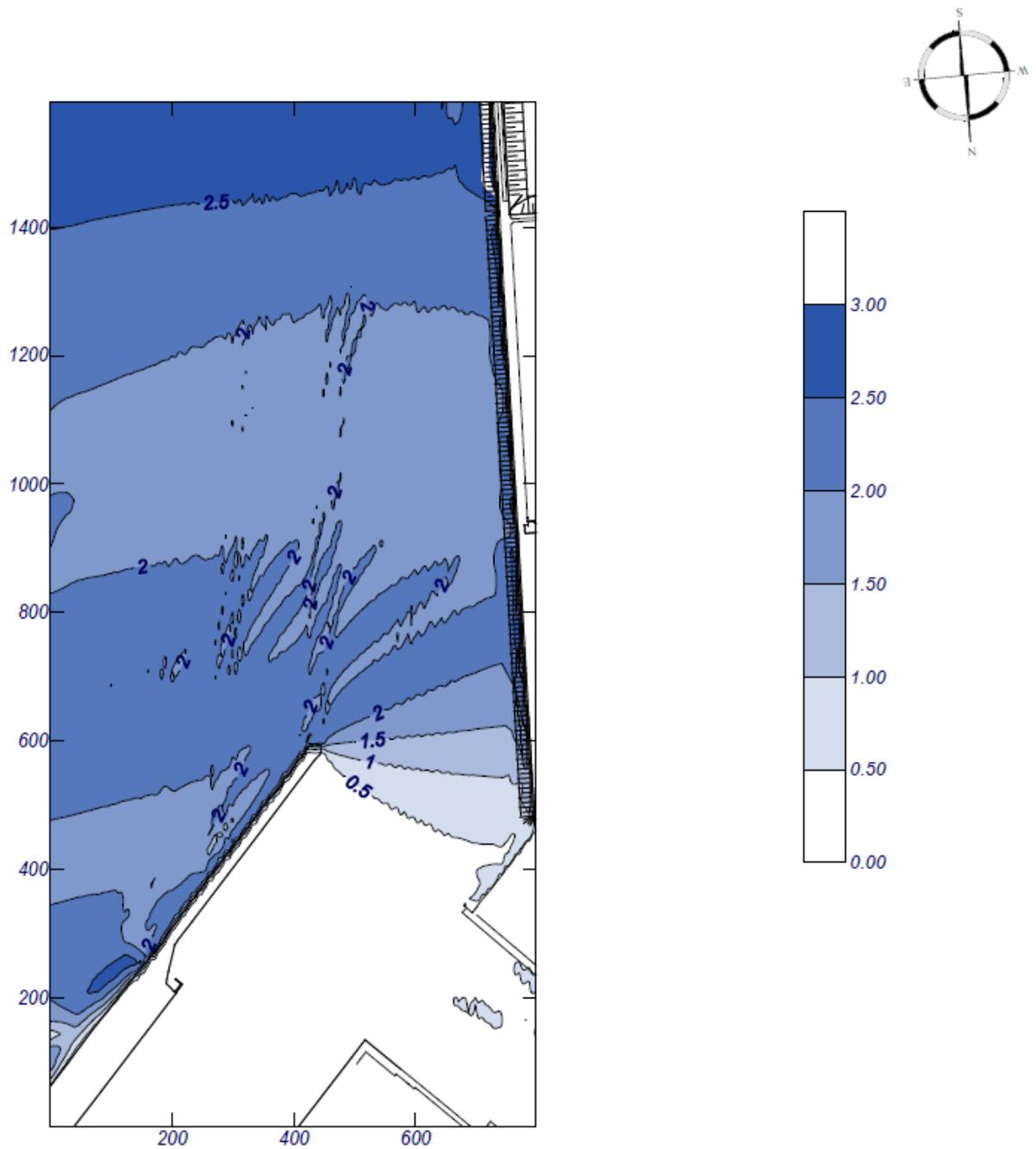


Figura A.I.40. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ENE ($H_s = 2.62$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

Dirección E:

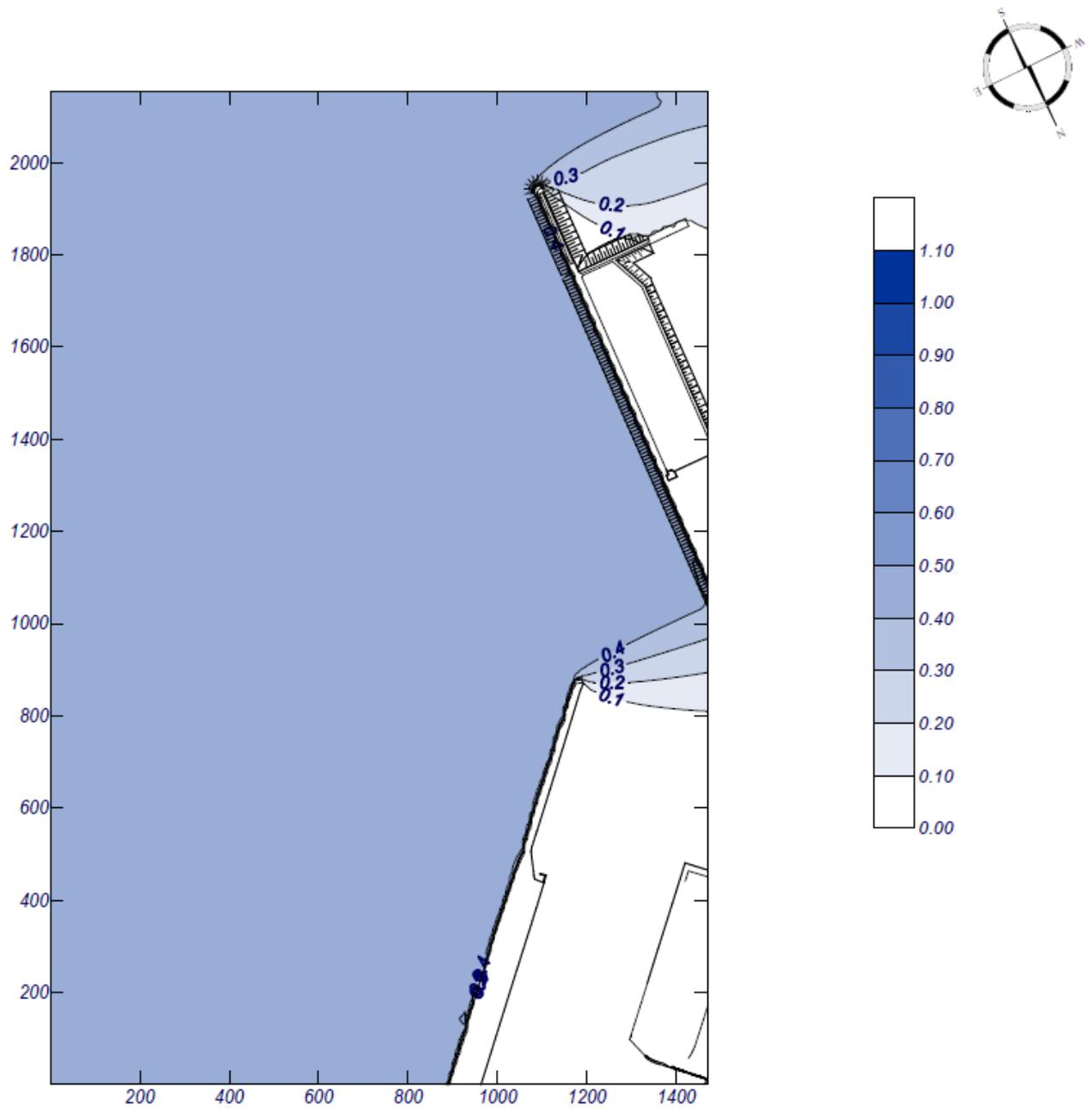


Figura A.I.41. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección E ($H_s = 0.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

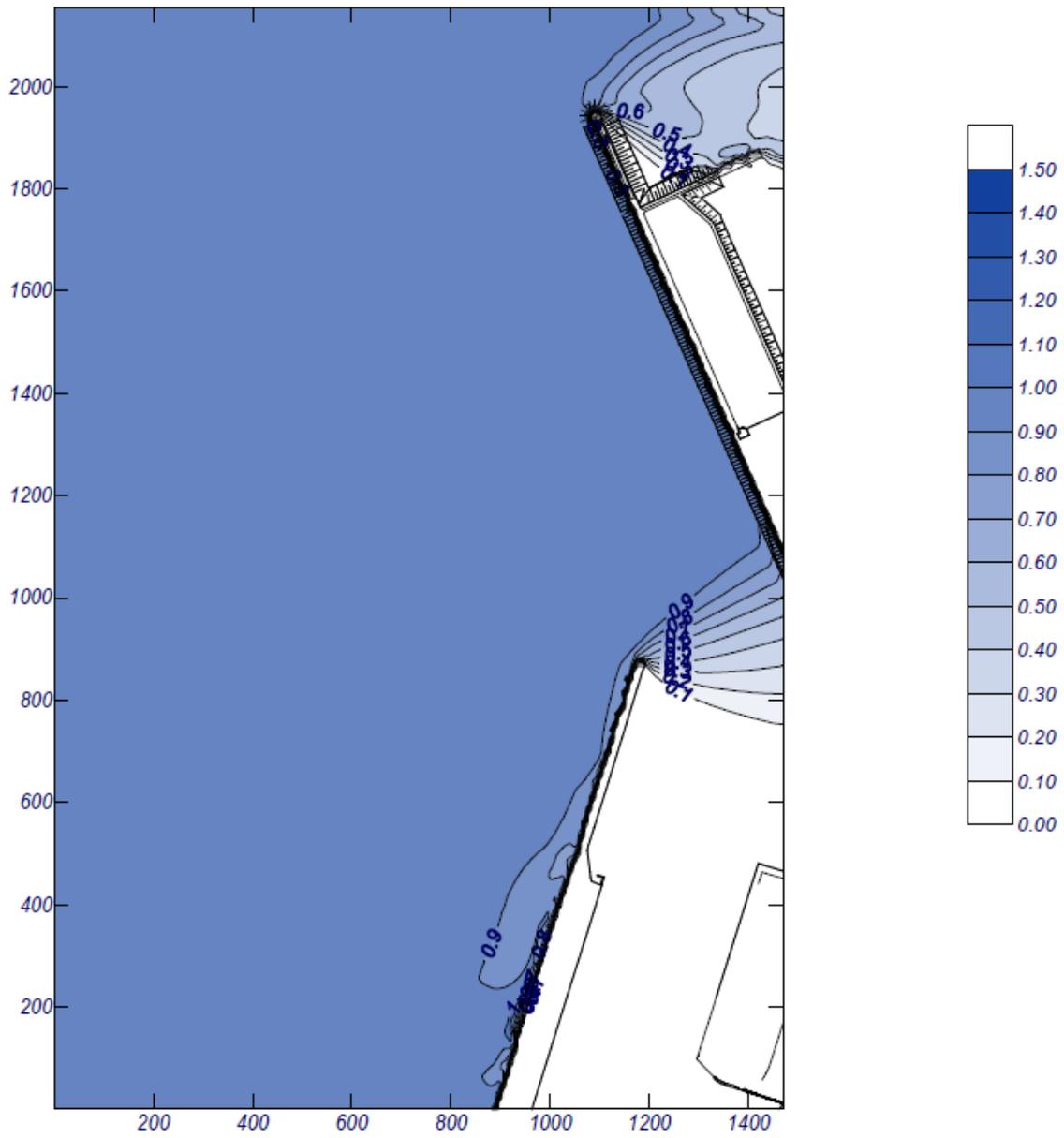


Figura A.I.42. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección E ($H_s = 1 \text{ m}$). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

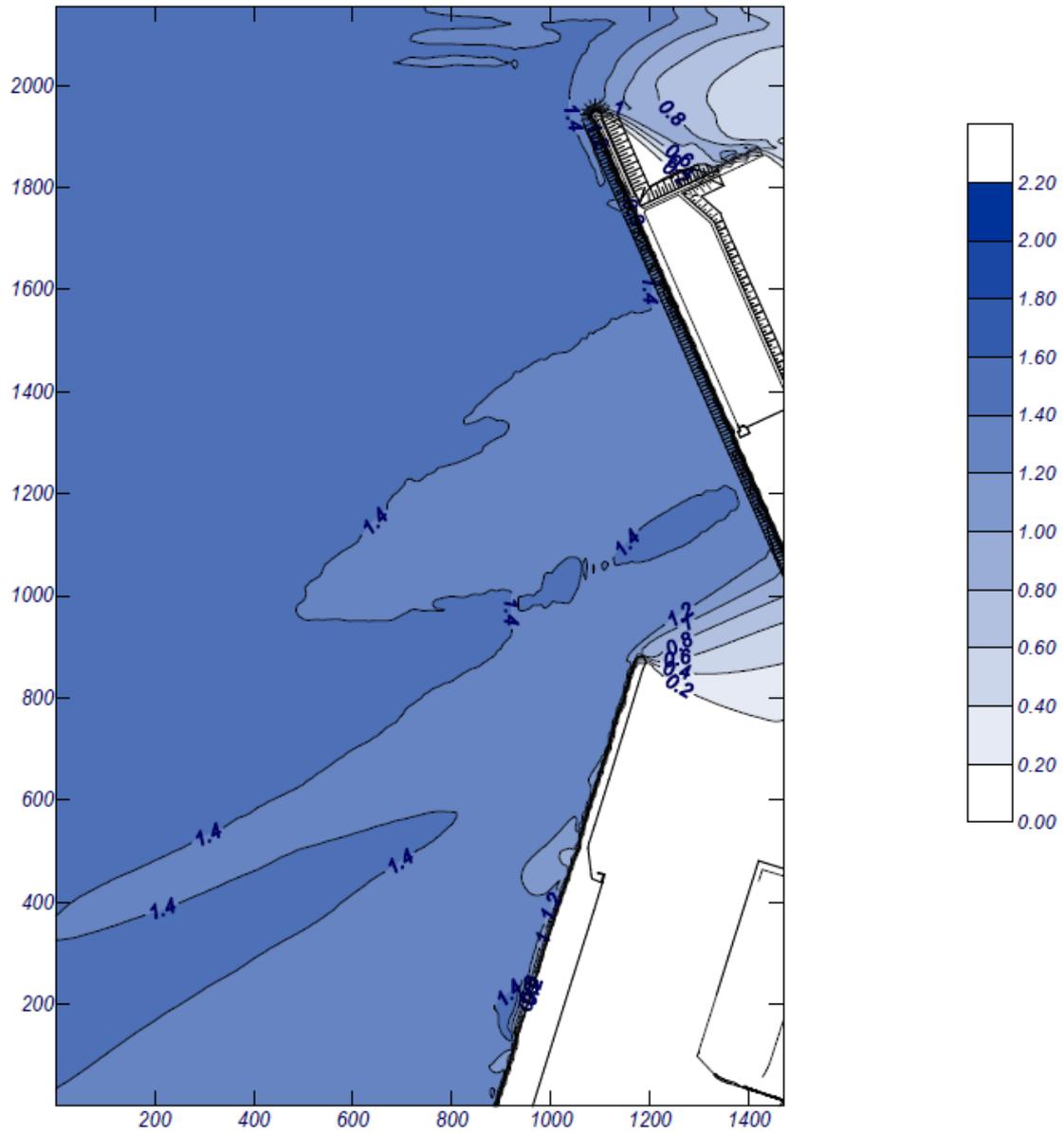


Figura A.I.43. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s = 1.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

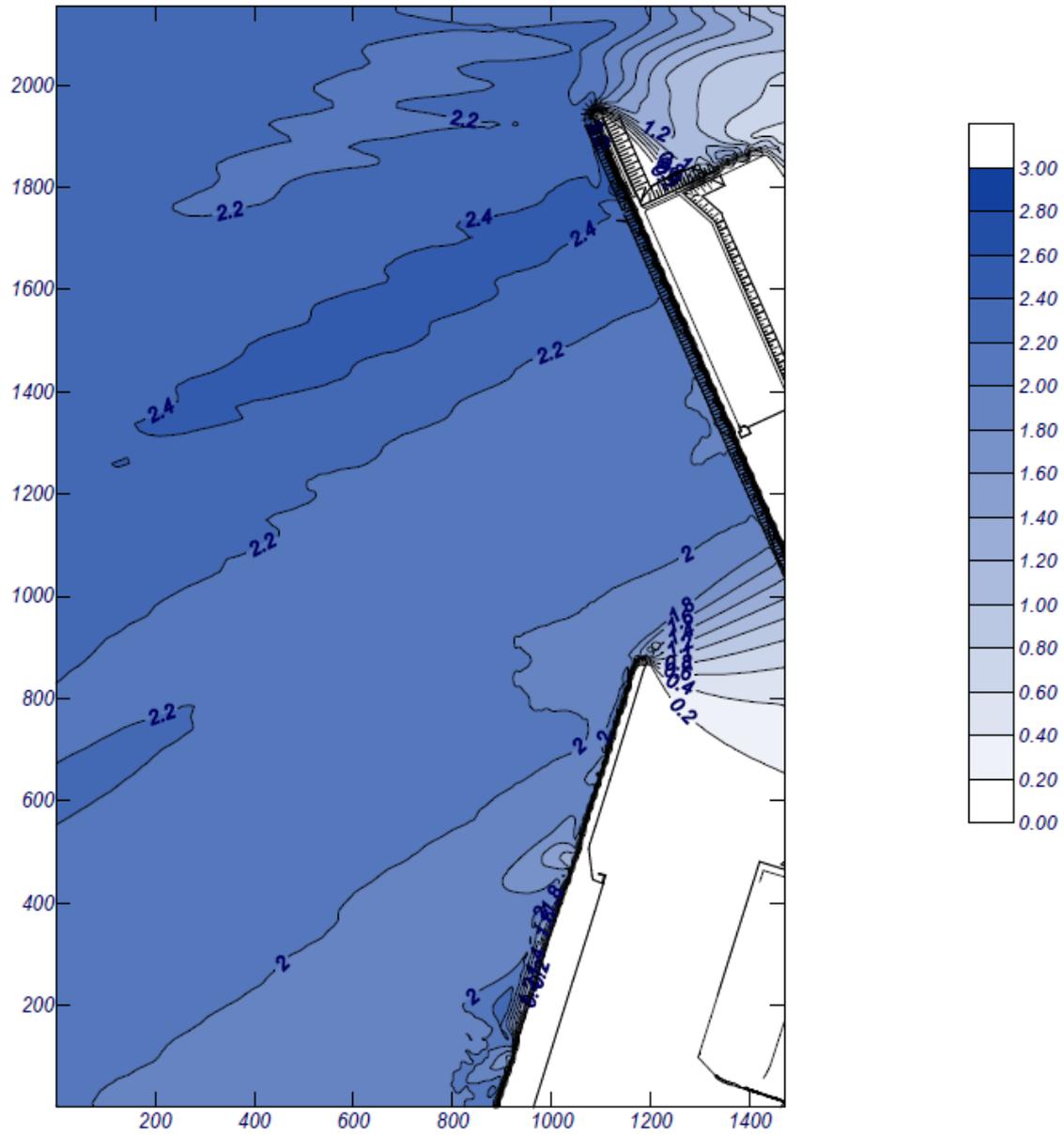


Figura A.I.45. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s = 2.49$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

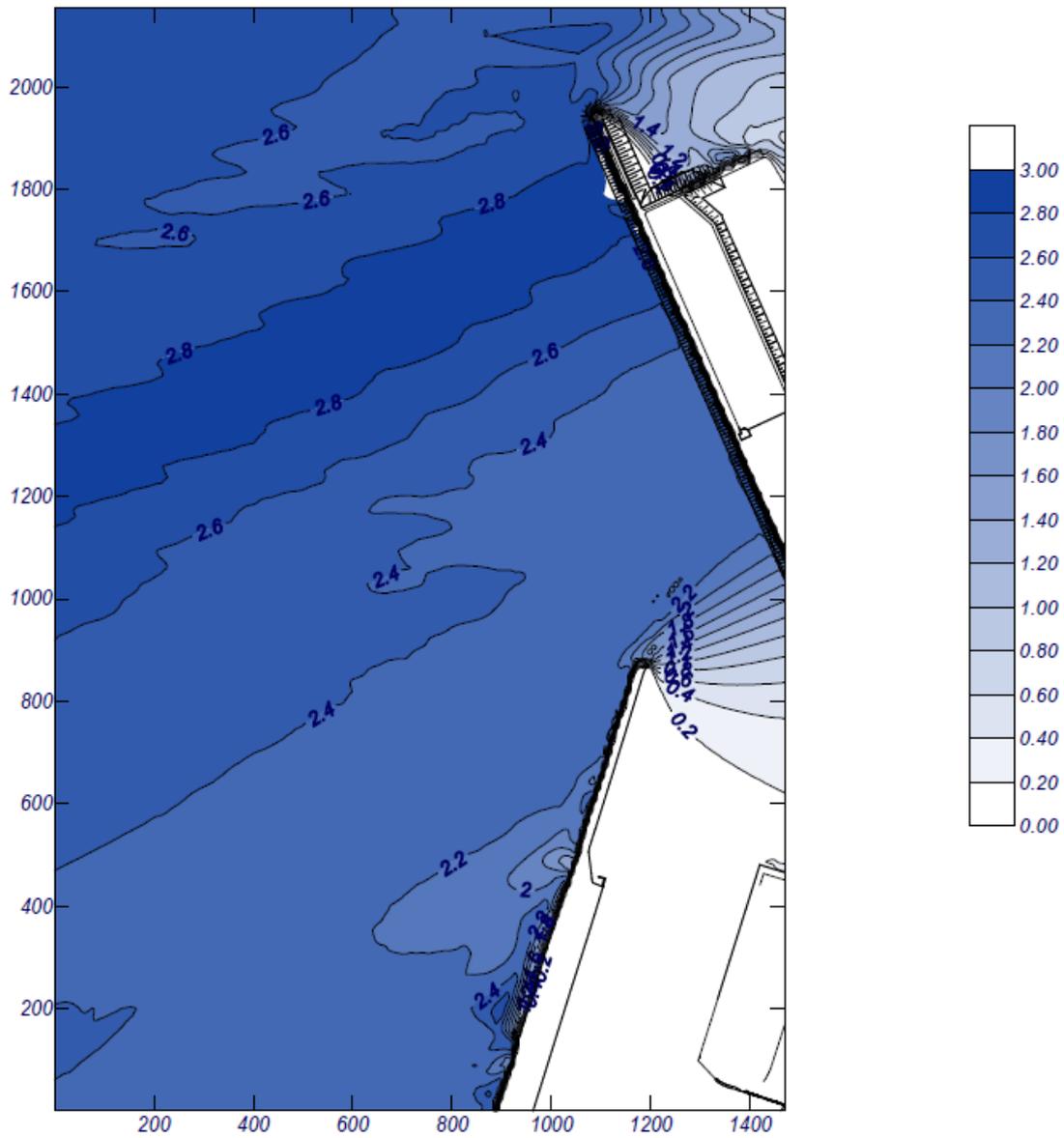


Figura A.I.46. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s=2.98$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

Dirección ESE

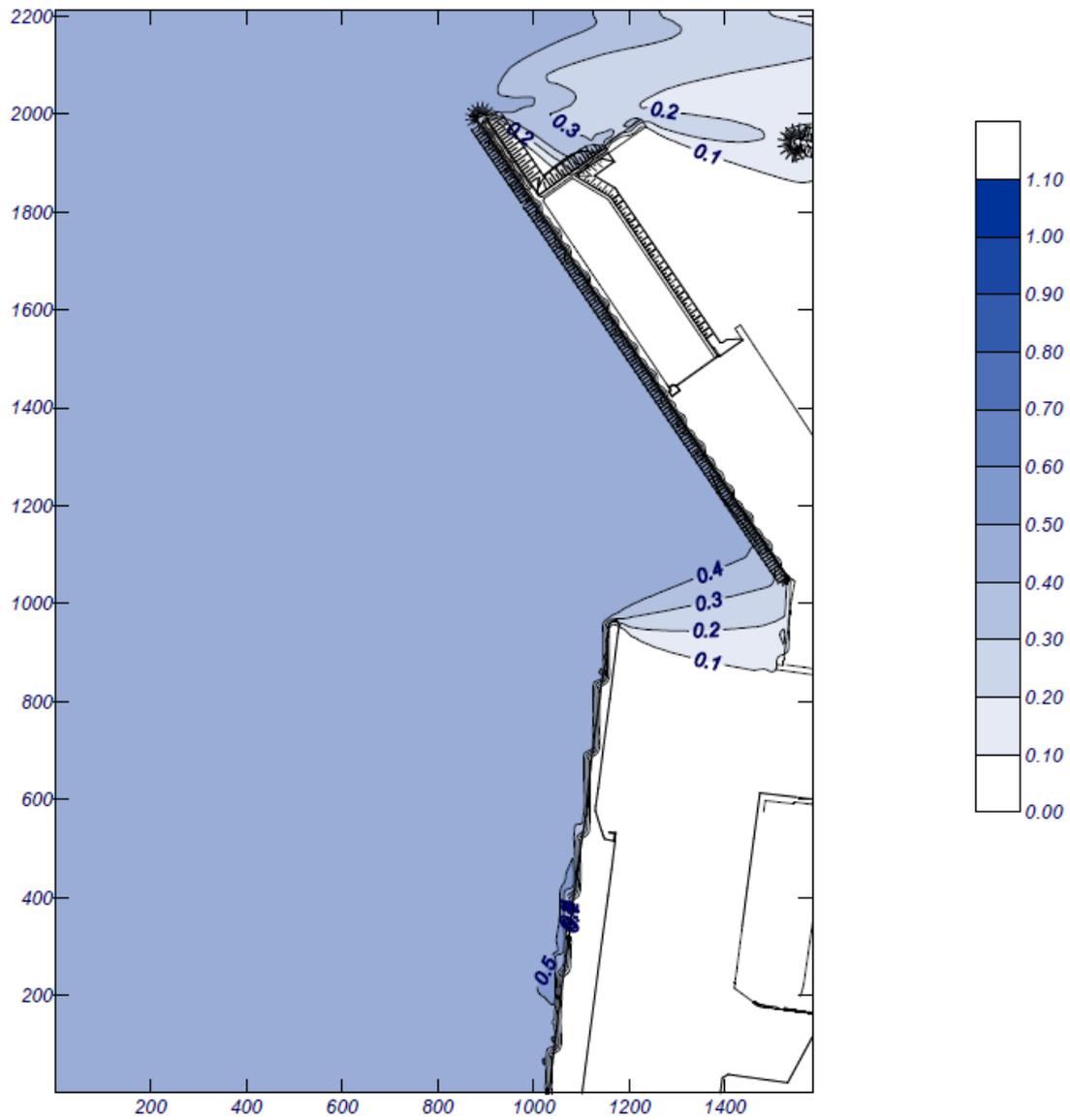


Figura A.I.47. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s=0.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

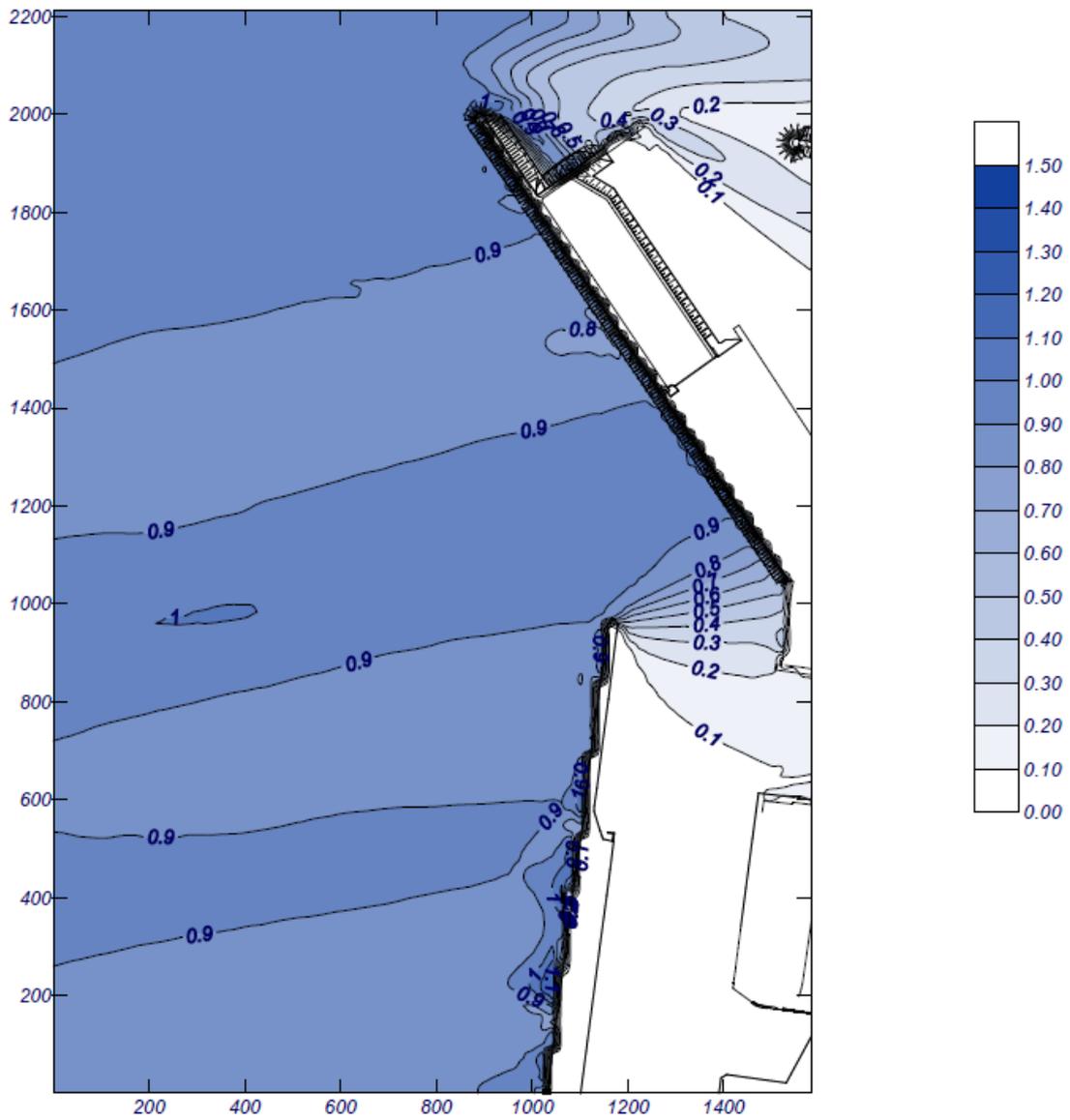


Figura A.I.48. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s = 0.99$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

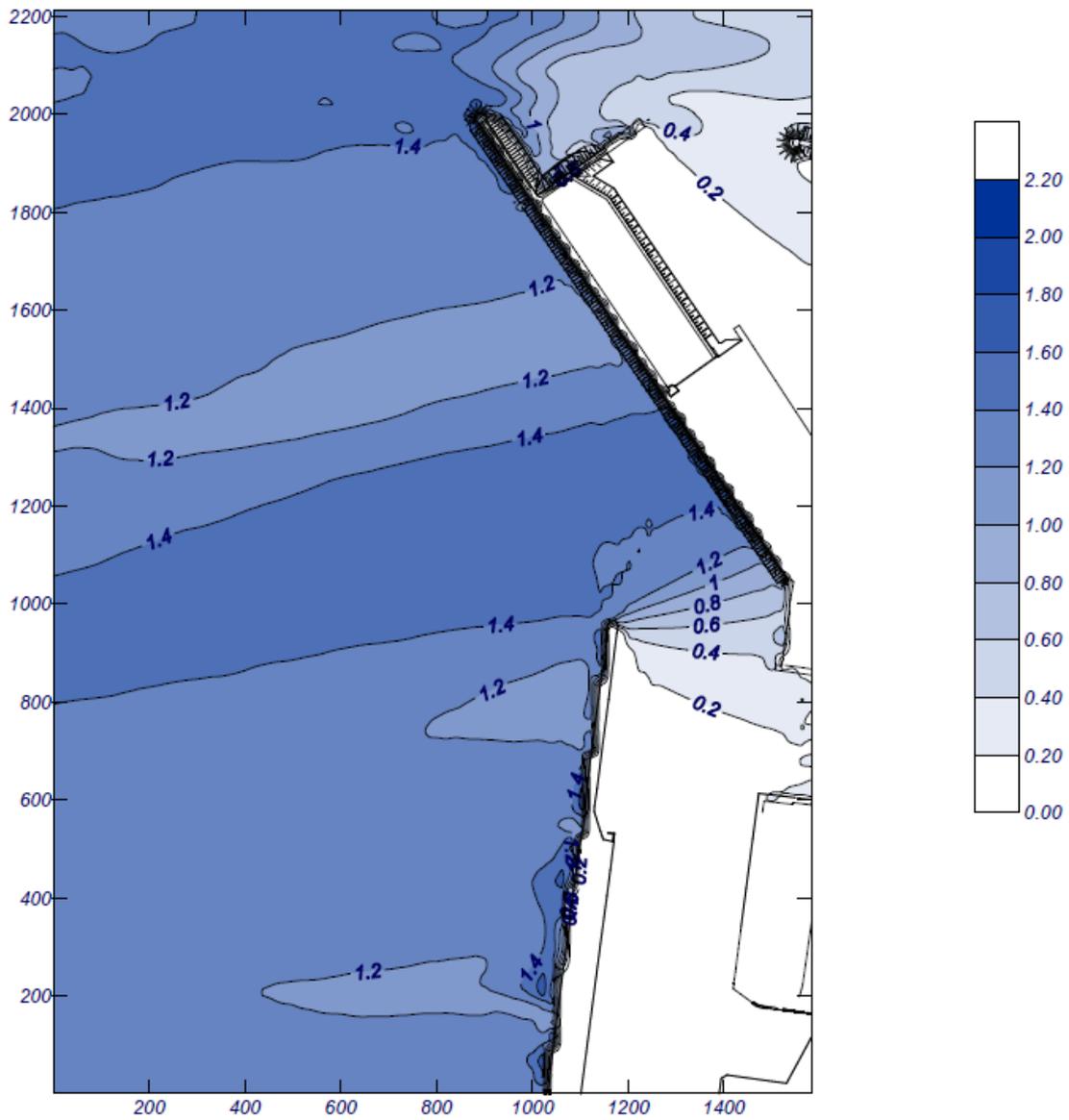


Figura A.I.49. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s=1.47$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

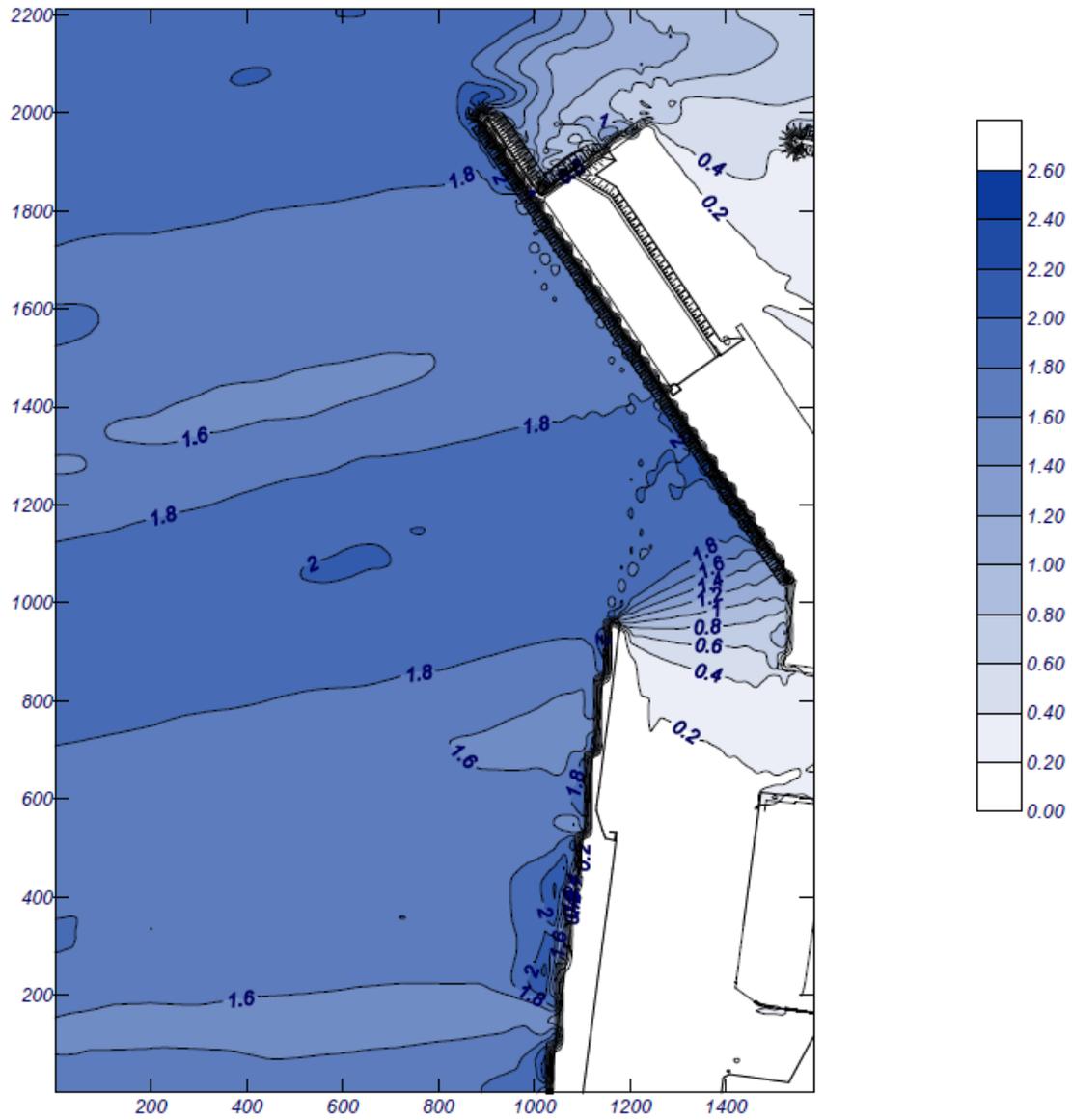


Figura A.I.50. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección ESE ($H_s=1.94$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

Dirección SE

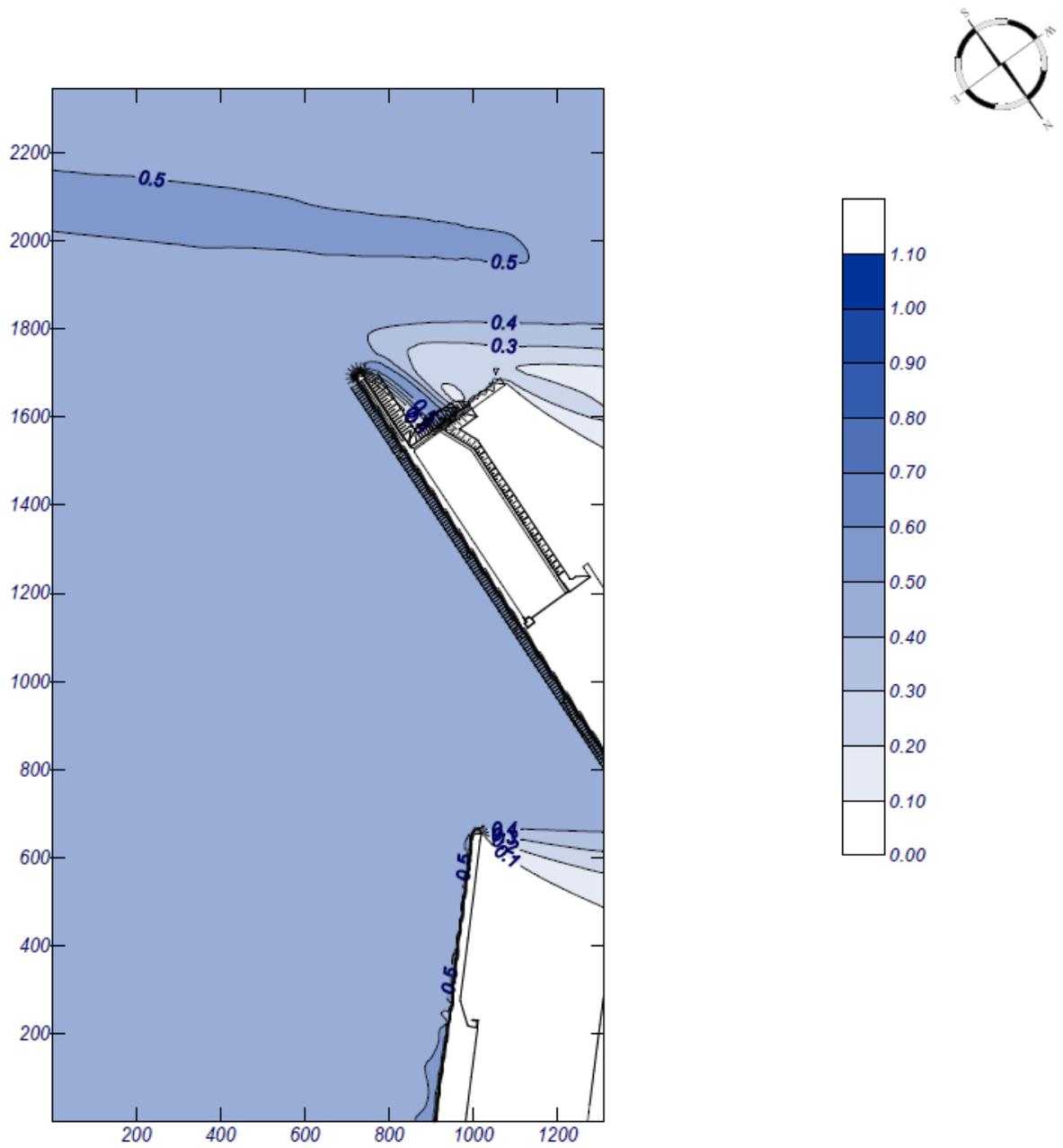


Figura A.I.51. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SE ($H_s=0.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

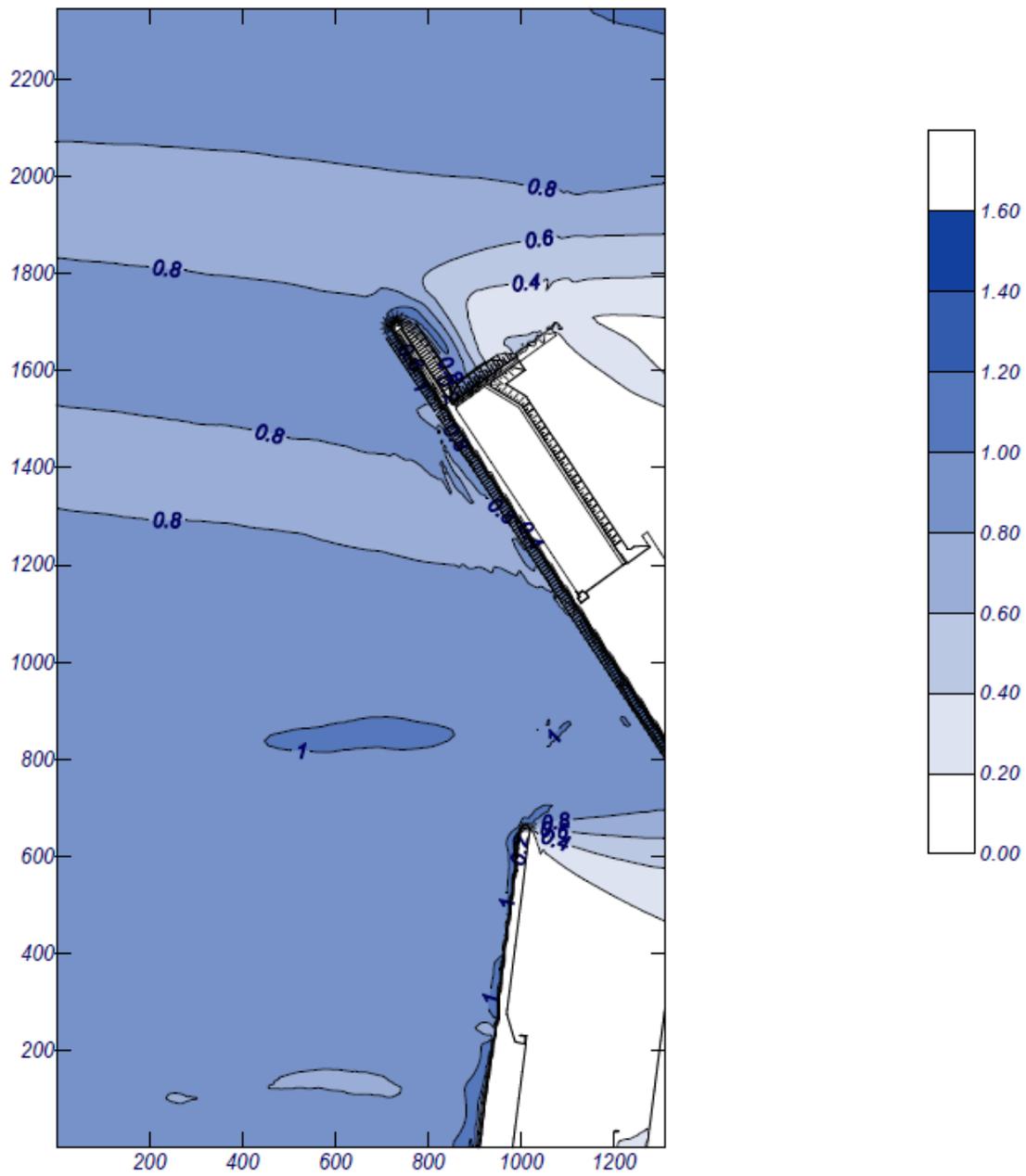


Figura A.I.52. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SE ($H_s = 0.97$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

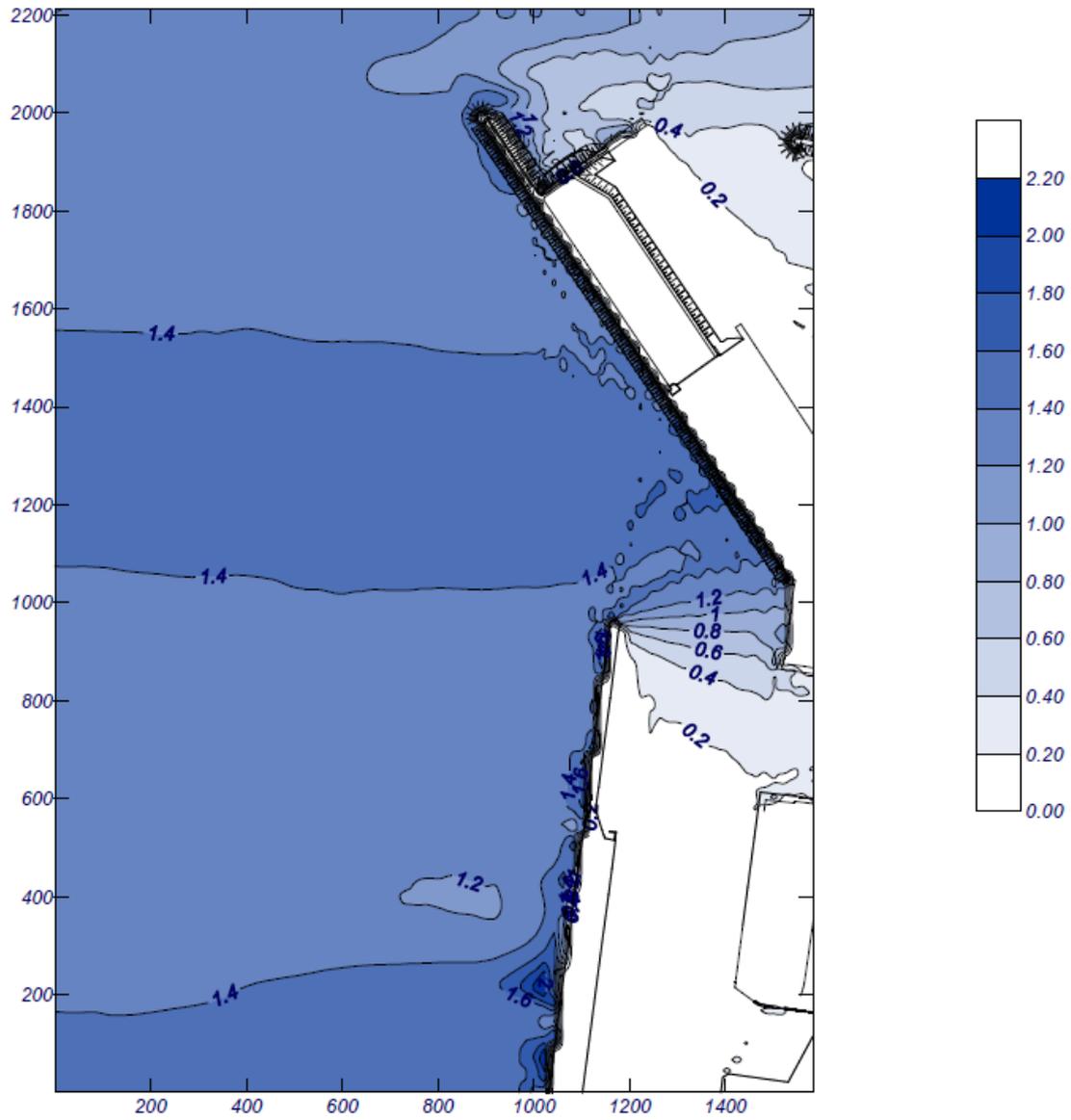


Figura A.I.53. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SE ($H_s = 1.46$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

Dirección SSE

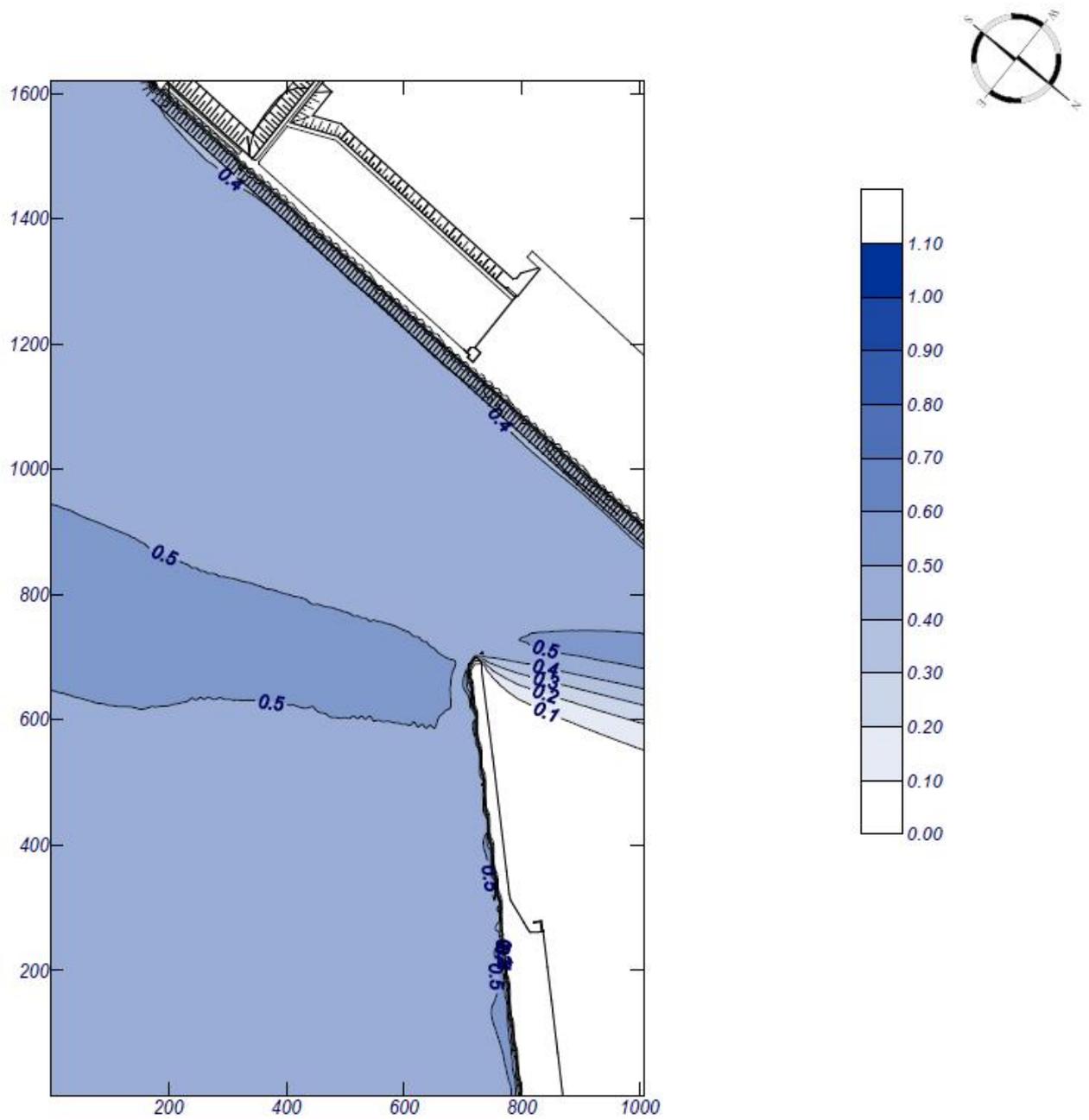


Figura A.I.54. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SSE ($H_s = 0.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

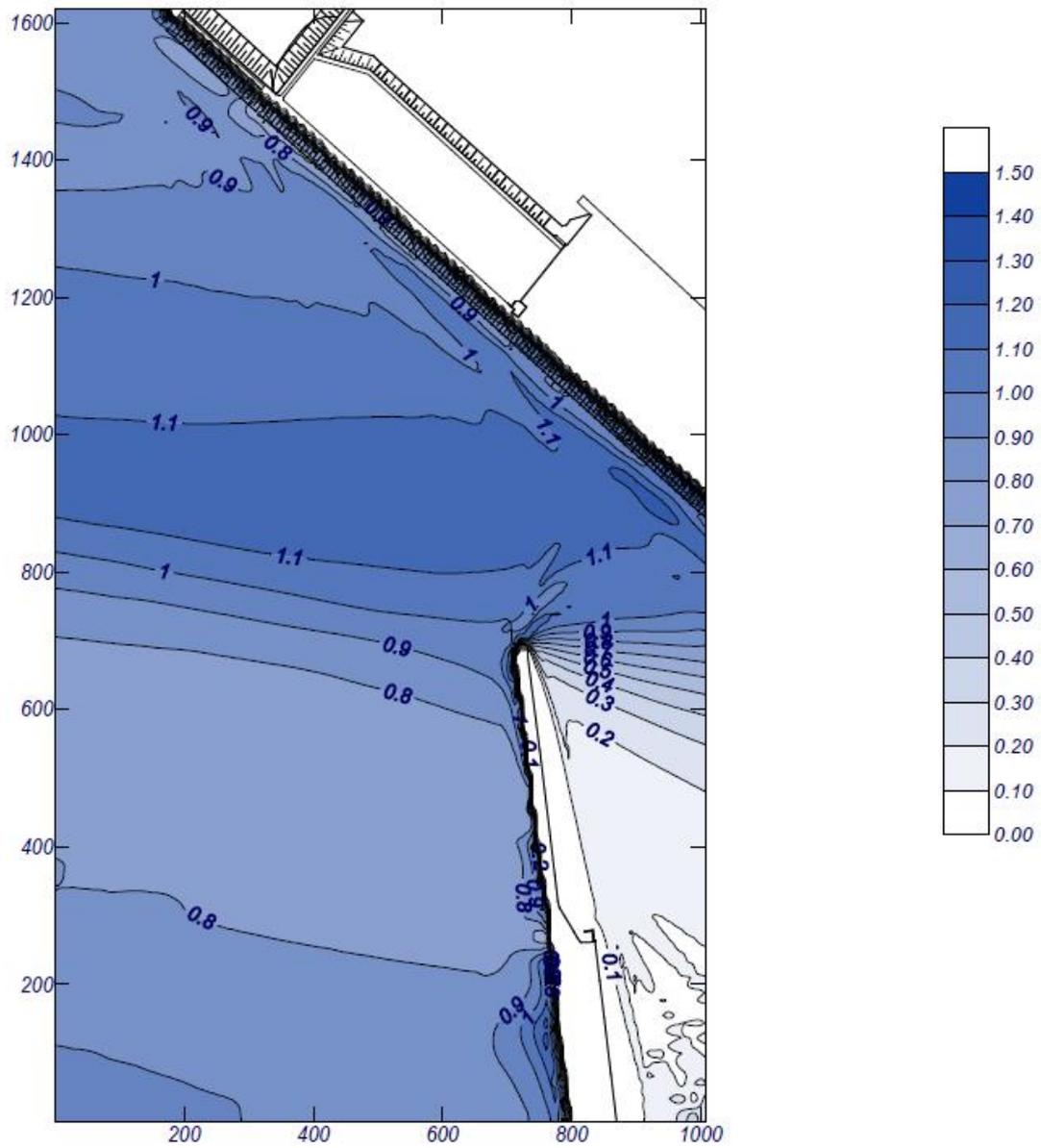
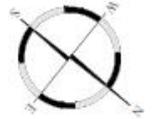


Figura A.I.55. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SSE ($H_s=0.97$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

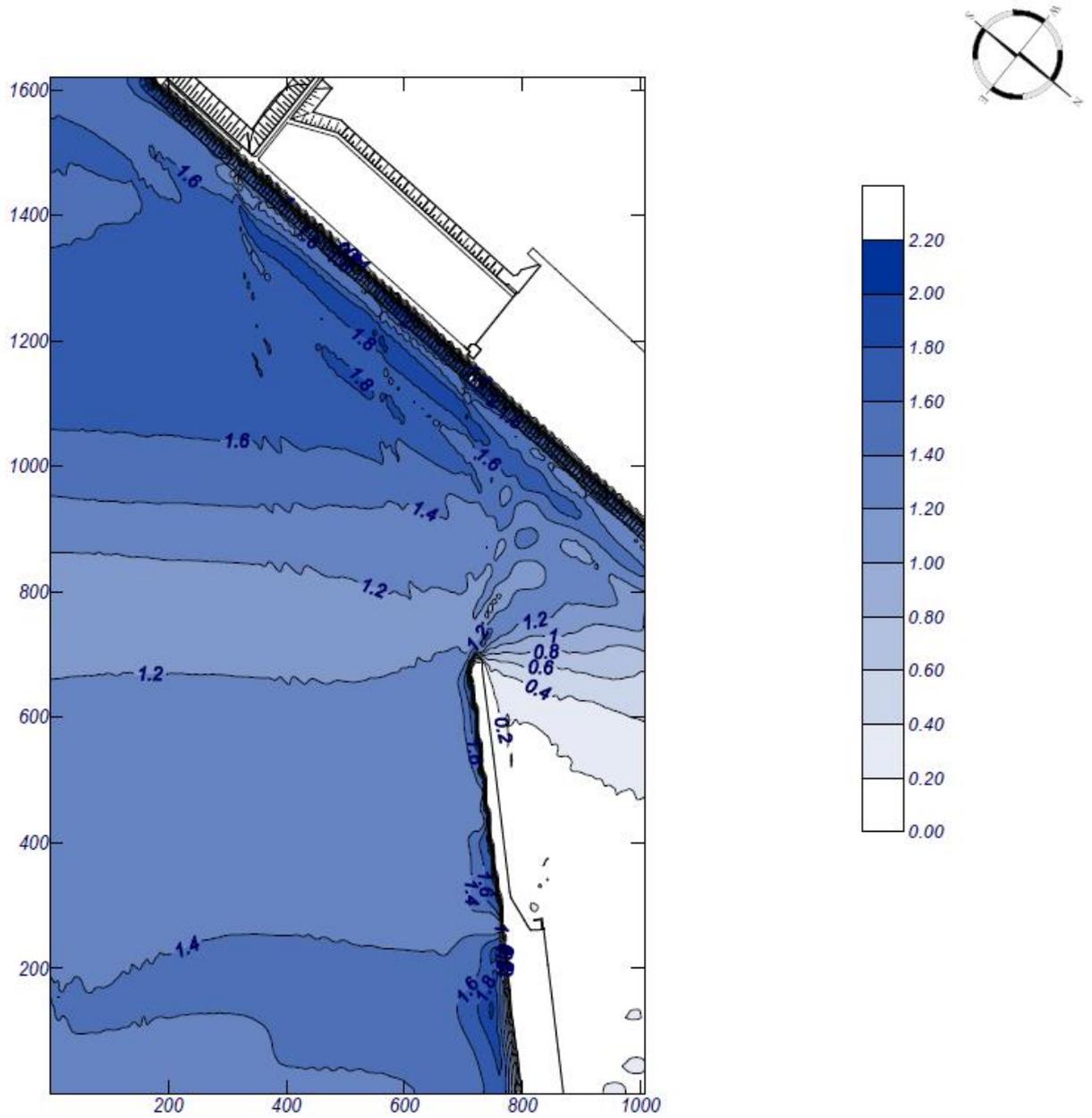


Figura A.I.56. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección SSE ($H_s = 1.43$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

Dirección S

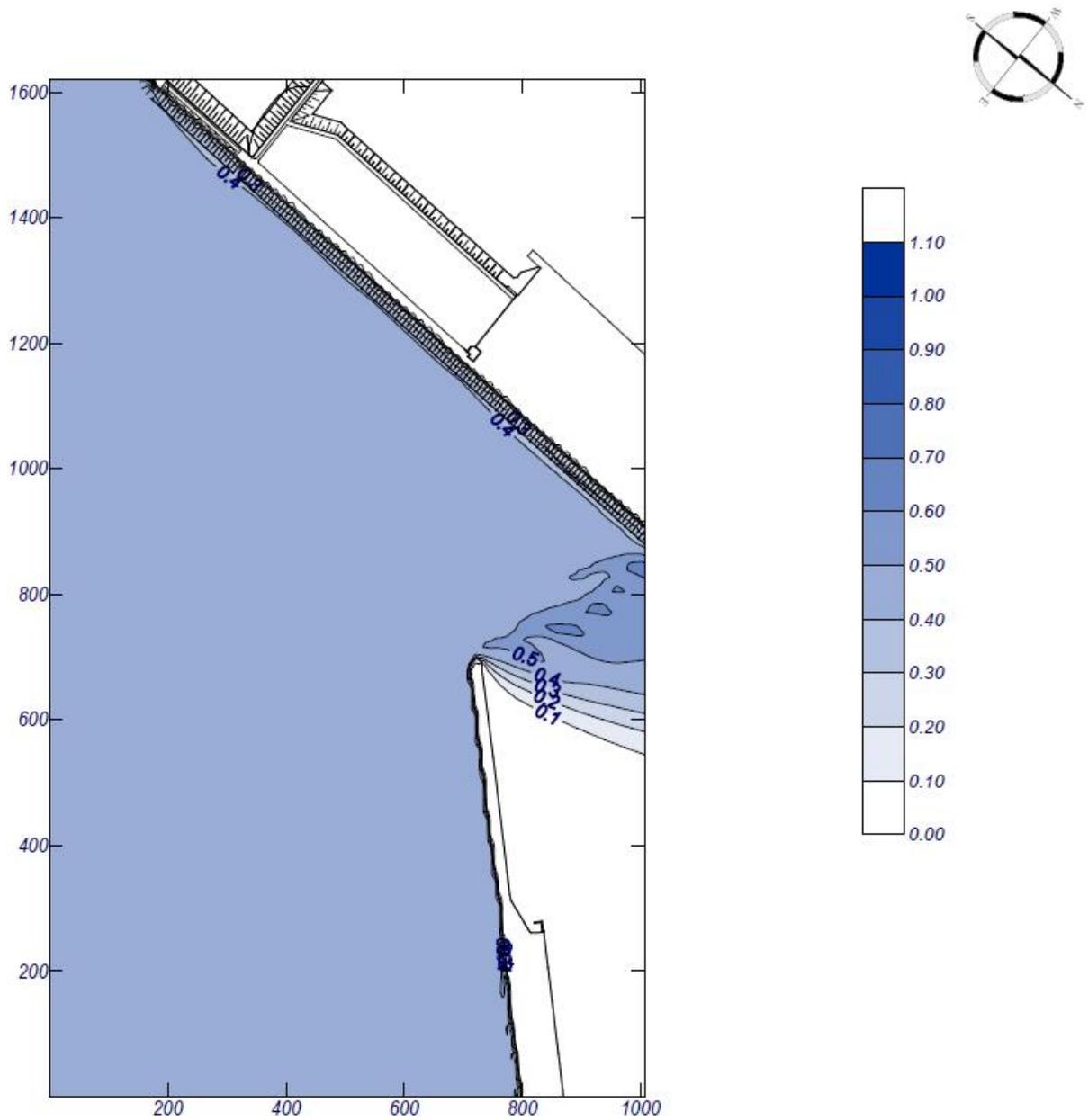


Figura A.I.57. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección S ($H_s = 0.5$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

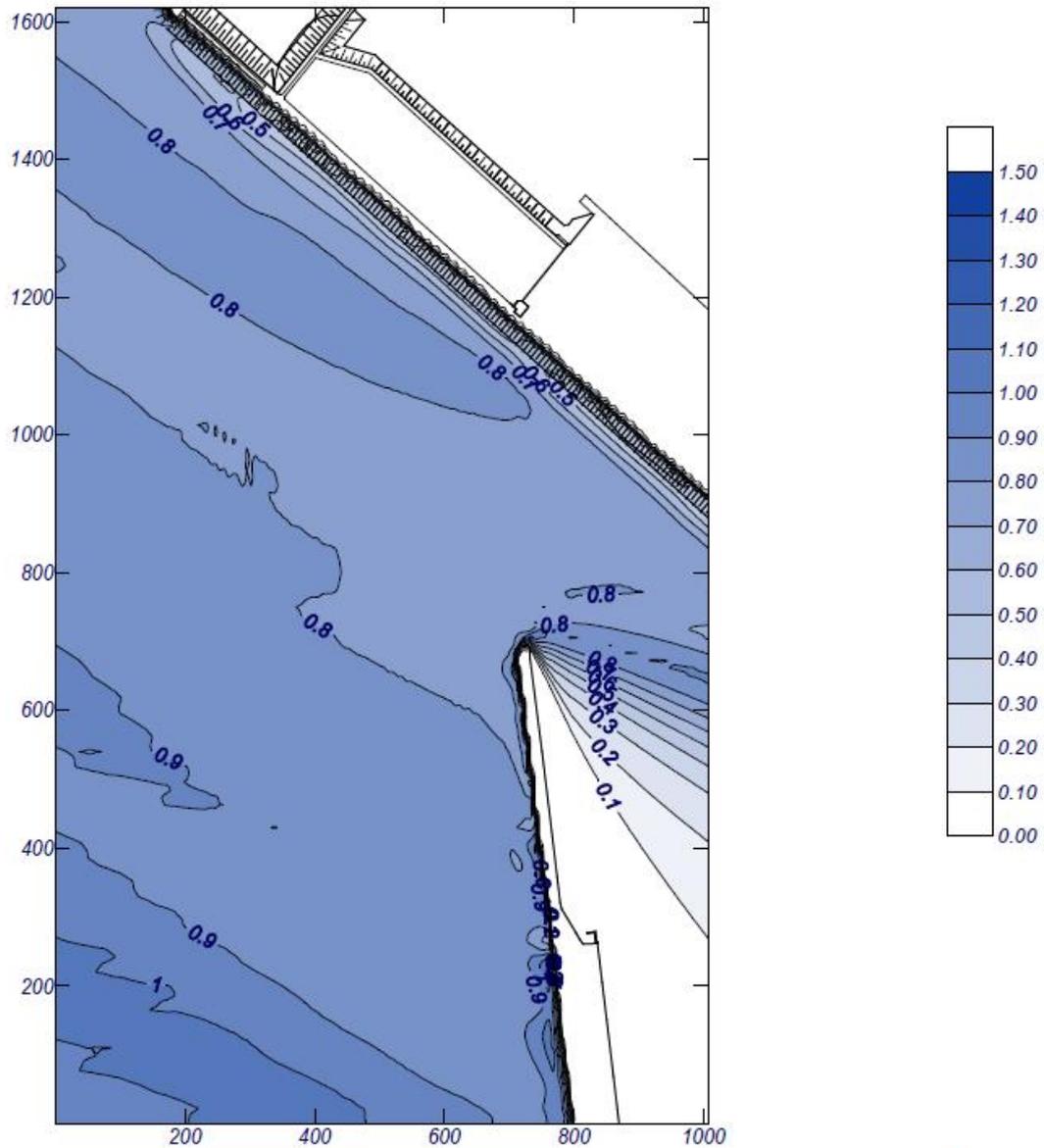
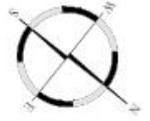


Figura A.I.58. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección S ($H_s = 0.94$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

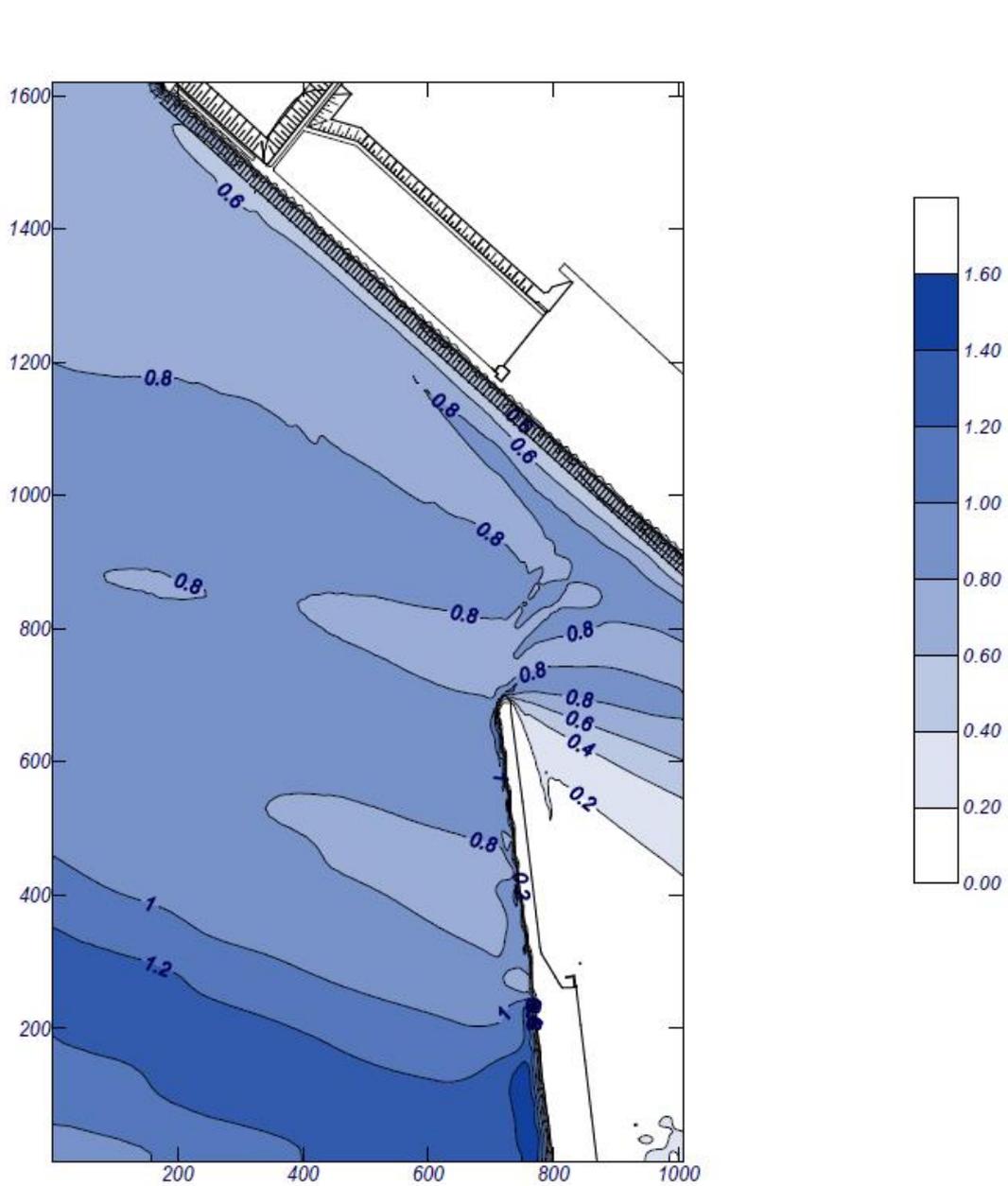


Figura A.I.59. Altura de ola para el oleaje propagado en la dirección S ($H_s=1.25$ m). Fuente: Propia mediante Mopla (SMC)

ANEXO II

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A.II 1. Batimetría de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con uso del GID.	191
Figura A.II 2. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 4.019 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	192
Figura A.II 3. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 4.019 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	192
Figura A.II 4. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 6.734 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	193
Figura A.II 5. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 6.734 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	193
Figura A.II 6. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 8.323 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	194
Figura A.II 7. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 8.323 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	194
Figura A.II 8. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 9.45 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	195
Figura A.II 9. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 9.45 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	195
Figura A.II 10. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 10.322 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	196
Figura A.II 11. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 10.322 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	196
Figura A.II 12. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 11.03 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	197
Figura A.II 13. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 11.03 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	197
Figura A.II 14. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	198
Figura A.II 15. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	198
Figura A.II 16. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	199
Figura A.II 17. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	199
Figura A.II 18. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	200
Figura A.II 19. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	200
Figura A.II 20. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	201
Figura A.II 21. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	201
Figura A.II 22. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	202
Figura A.II 23. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	202

Figura A.II 24. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	203
Figura A.II 25. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	203
Figura A.II 26. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 4.827 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	204
Figura A.II 27. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 4.827 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	204
Figura A.II 28. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	205
Figura A.II 29. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	205
Figura A.II 30. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 6.121 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	206
Figura A.II 31. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 6.121 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	206
Figura A.II 32. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 6.603 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	207
Figura A.II 33. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 6.603 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	207
Figura A.II 34. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 6.978 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	208
Figura A.II 35. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 6.978 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	208
Figura A.II 36. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	209
Figura A.II 37. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	209
Figura A.II 38. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	210
Figura A.II 39. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	210
Figura A.II 40. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	211
Figura A.II 41. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	211
Figura A.II 42. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	212
Figura A.II 43. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	212
Figura A.II 44. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	213
Figura A.II 45. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	213
Figura A.II 46. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	214
Figura A.II 47. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	214

Figura A.II 48. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 5.204 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	215
Figura A.II 49. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 5.204 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	215
Figura A.II 50. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 6.873 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	216
Figura A.II 51. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 6.873 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	216
Figura A.II 52. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 8.377 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	217
Figura A.II 53. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 8.377 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	217
Figura A.II 54. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 9.665 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	218
Figura A.II 55. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 9.665 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	218
Figura A.II 56. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	219
Figura A.II 57. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	219
Figura A.II 58. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	220
Figura A.II 59. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	220
Figura A.II 60. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	221
Figura A.II 61. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	221
Figura A.II 62. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	222
Figura A.II 63. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	222
Figura A.II 64. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	223
Figura A.II 65. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	223
Figura A.II 66. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	224
Figura A.II 67. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	224
Figura A.II 68. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 5.721 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	225
Figura A.II 69. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 5.721seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	225
Figura A.II 70. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	226
Figura A.II 71. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	226

Figura A.II 72. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	227
Figura A.II 73. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	227
Figura A.II 74. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 30seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	228
Figura A.II 75. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	228
Figura A.II 76. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	229
Figura A.II 77. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	229
Figura A.II 78. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	230
Figura A.II 79. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 120seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	230
Figura A.II 80. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 180seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	231
Figura A.II 81. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	231
Figura A.II 82. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	232
Figura A.II 83. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	232
Figura A.II 84. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	233
Figura A.II 85. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	233
Figura A.II 86. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 5.08 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	234
Figura A.II 87. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 5.08 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	234
Figura A.II 88. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	235
Figura A.II 89. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	235
Figura A.II 90. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	236
Figura A.II 91. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	236
Figura A.II 92. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	237
Figura A.II 93. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	237
Figura A.II 94. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	238
Figura A.II 95. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	238

Figura A.II 96. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	239
Figura A.II 97. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	239
Figura A.II 98. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	240
Figura A.II 99. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	240
Figura A.II 100. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	241
Figura A.II 101. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	241
Figura A.II 102. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	242
Figura A.II 103. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	242
Figura A.II 104. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	243
Figura A.II 105. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	243
Figura A.II 106. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	244
Figura A.II 107. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	244
Figura A.II 108. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	245
Figura A.II 109. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	245
Figura A.II 110. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	246
Figura A.II 111. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	246
Figura A.II 112. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	247
Figura A.II 113. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	247
Figura A.II 114. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	248
Figura A.II 115. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	248
Figura A.II 116. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	249
Figura A.II 117. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	249
Figura A.II 118. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 240seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	250
Figura A.II 119. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	250



Figura A.II 120. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID 251

Figura A.II 121. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID 251

Se pretende realizar el estudio de los coeficientes de agitación adimensionales de los siguientes oleajes:

DIR	Tp(s)	Dirección
ENE	4.019	N67.58E
	6.734	N73.85E
	8.323	N79.83E
	9.45	N83.54E
	10.322	N86.04E
	11.03	N87.85E
	30	N67.5E
	60	N67.5E
	120	N67.5E
	180	N67.5E
	240	N67.5E
E	3.806	S89.99E
	4.827	S89.68E
	5.546	S89E
	6.121	S88.16E
	6.603	S87.32E
	6.978	S86.63E
	30	S90E
	60	S90E
	120	S90E
	180	S90E
	240	S90E
ESE	5.204	S67.4E
	6.873	S66.96E
	8.377	S66.47E
	9.665	S66.08E
	30	S67.5E
	60	S67.5E
	120	S67.5E
	180	S67.5E
	240	S67.5E
SE	5.721	S45.75S
	8.234	S48.52S
	9.968	S50.05S
	30	S45S
	60	S45S
	120	S45S
	180	S45S
240	S45S	

		300	S45S
SSE		5.08	S23.31E
		7.941	S30.59E
		9.929	S35.66E
		30	S22.5E
		60	S22.5E
		120	S22.5E
		180	S22.5E
		240	S22.5E
		300	S22.5E
S		4.117	S0.17E
		6.538	S8.4E
		8.143	S16.62E
		30	S0
		60	S0
		120	S0
		180	S0
		240	S0
	300	S0	

Tabla A.II 1 Oleajes a representar. Fuente: Propia

BATIMETRÍA:

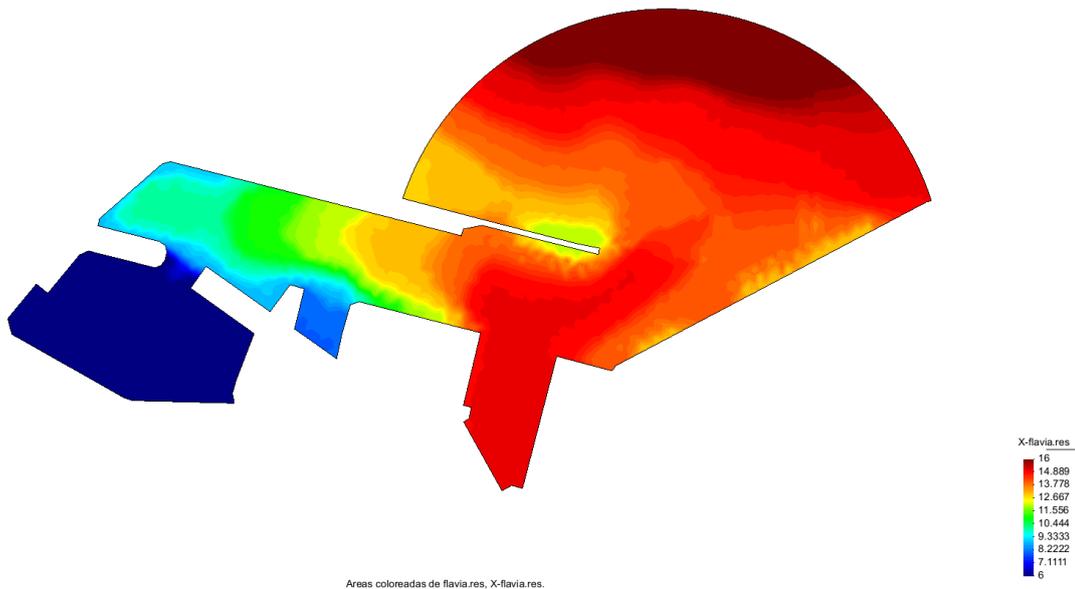


Figura A.II 1. Batimetría de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con uso del GIS.

Dir. ENE Tp(s) 4.019

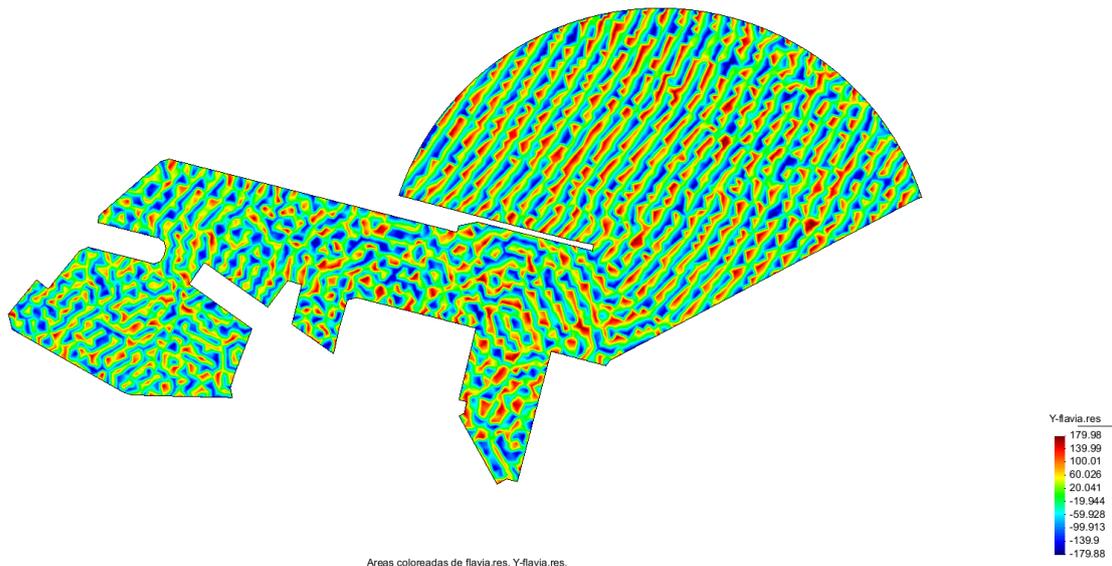


Figura A.II 2. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 4.019 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

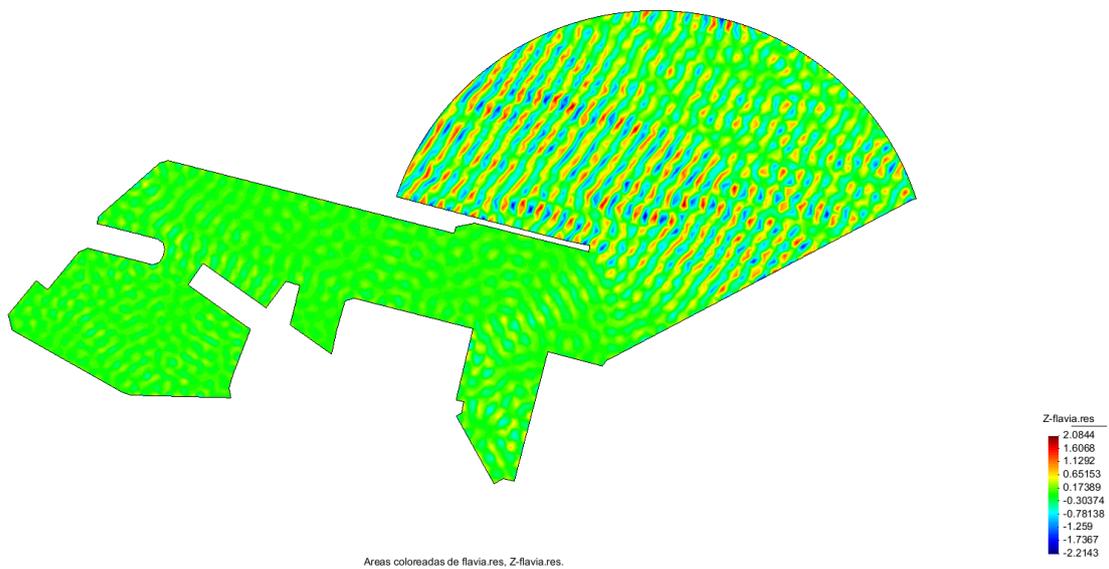


Figura A.II 3. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 4.019 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 6.734

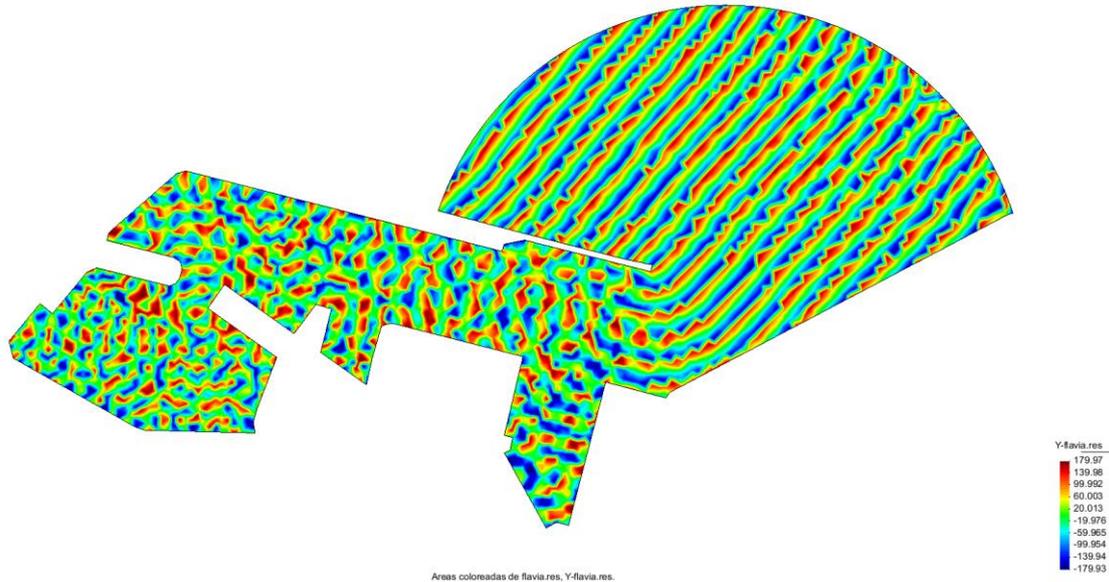


Figura A.II 4. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 6.734 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

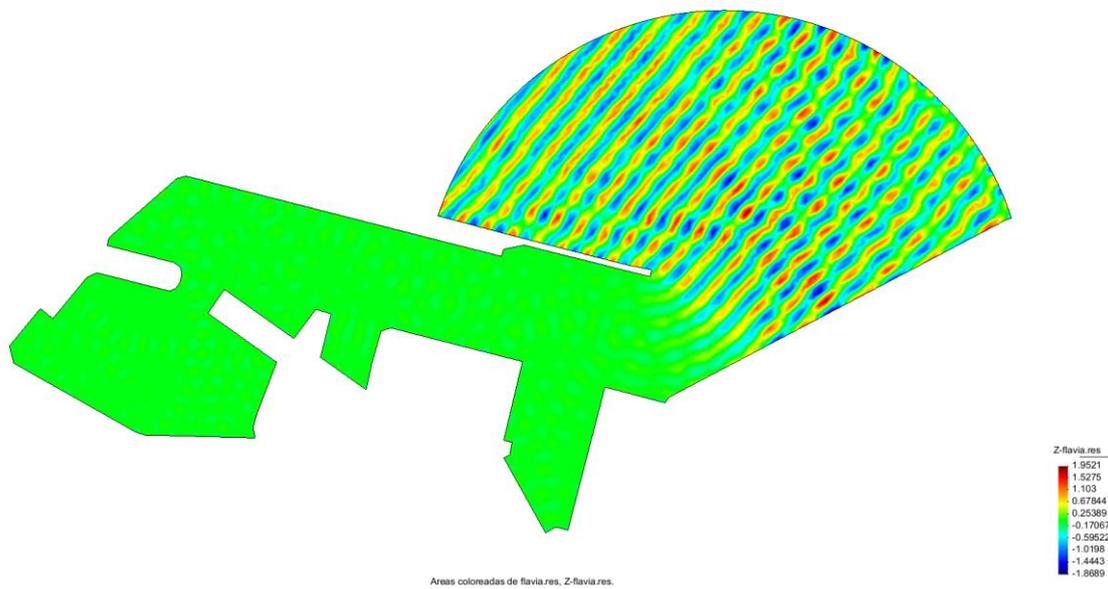


Figura A.II 5. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 6.734 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 8.323

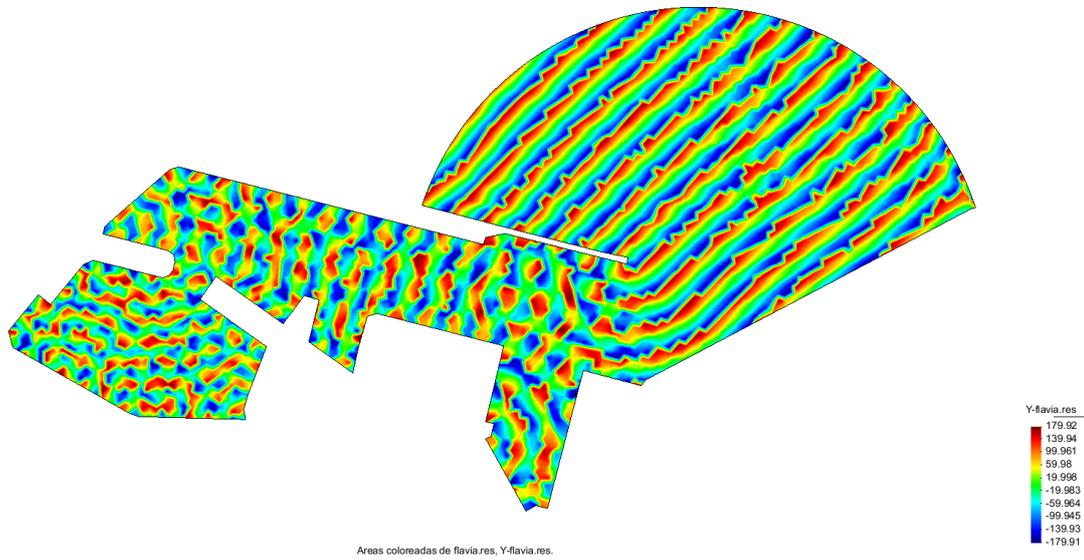


Figura A.II 6. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 8.323 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

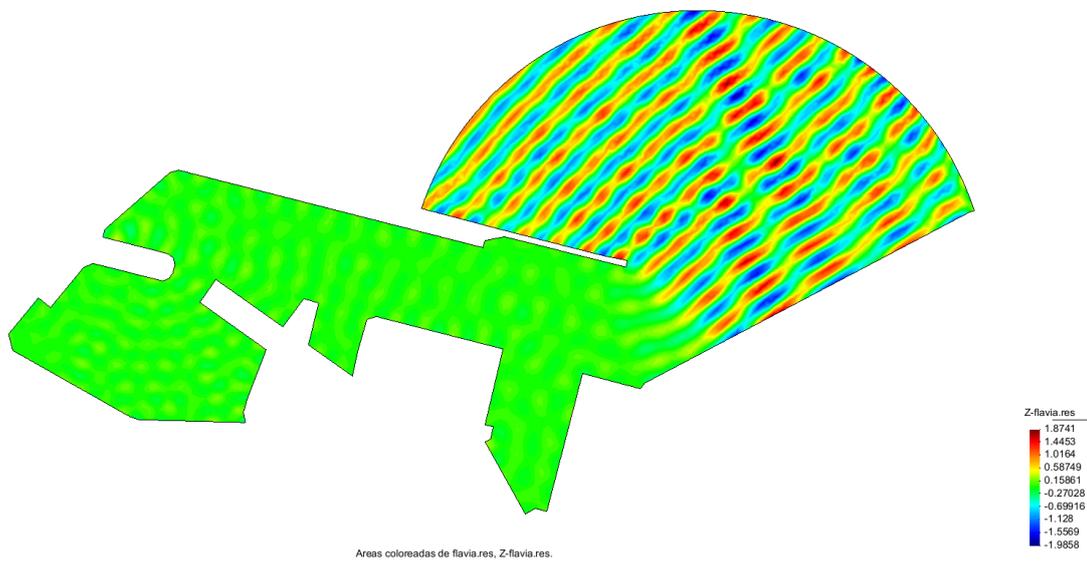


Figura A.II 7. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 8.323 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 9.45

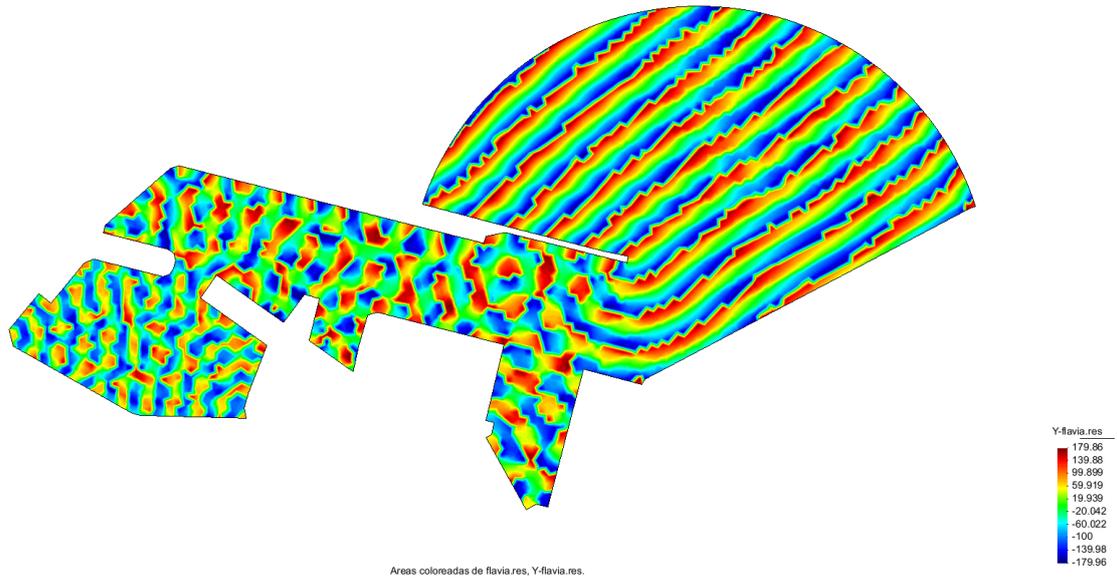


Figura A.II 8. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 9.45 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

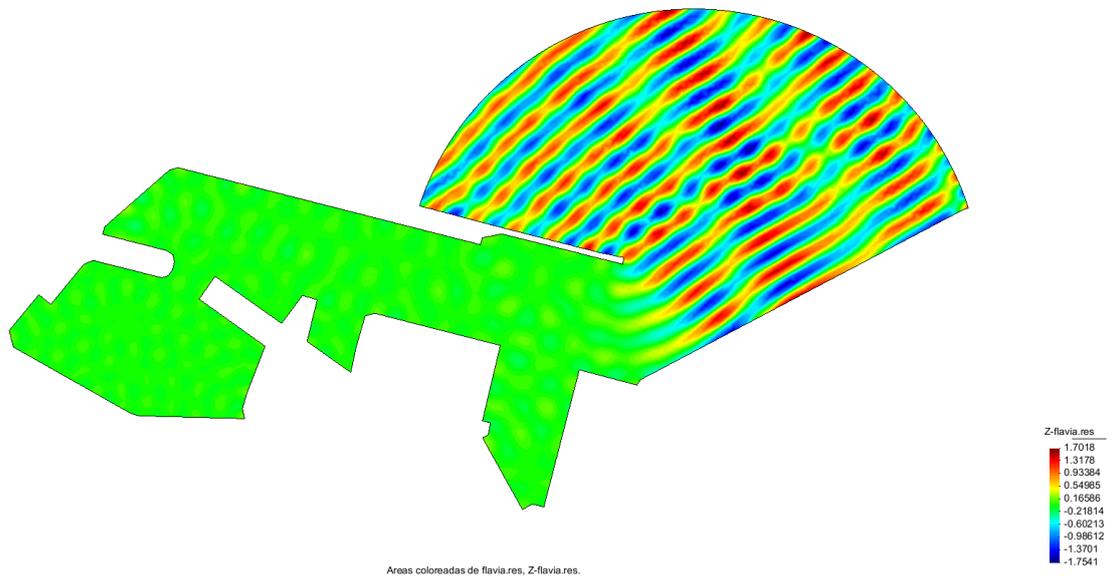


Figura A.II 9. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 9.45 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 10.322

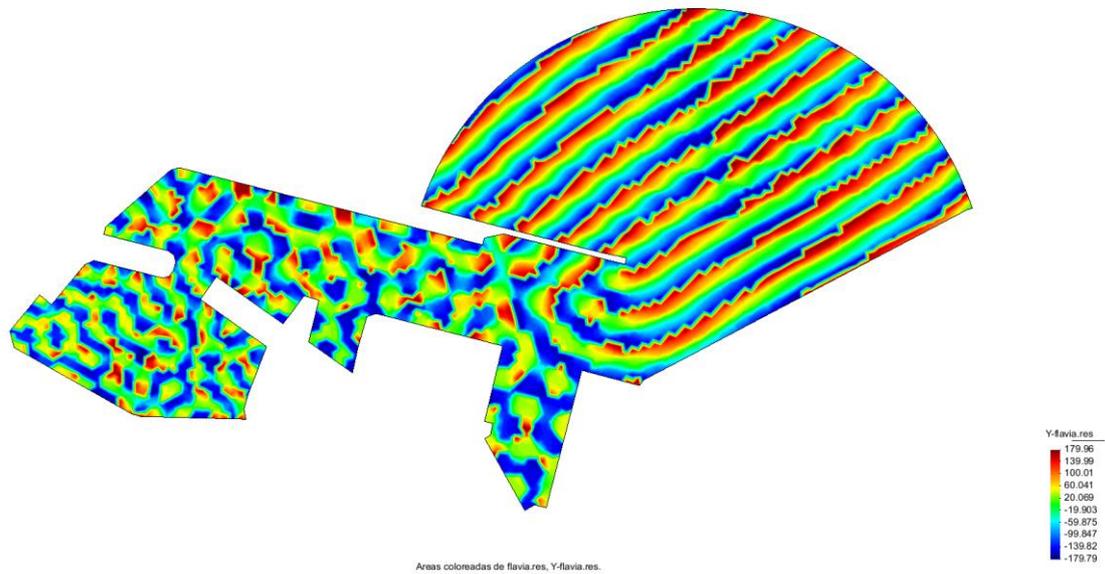


Figura A.II 10. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 10.322 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

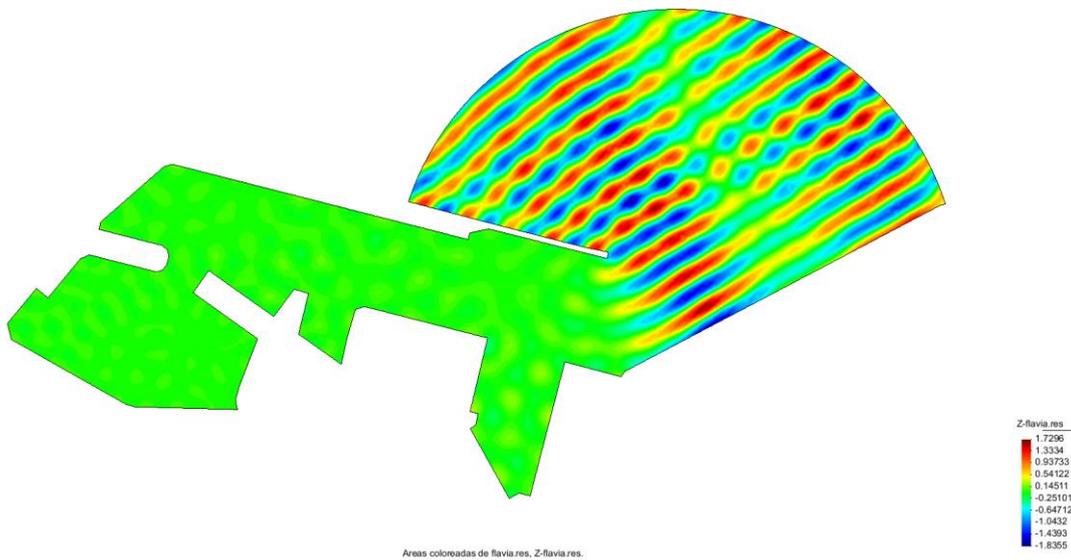


Figura A.II 11. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 10.322 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 11.03

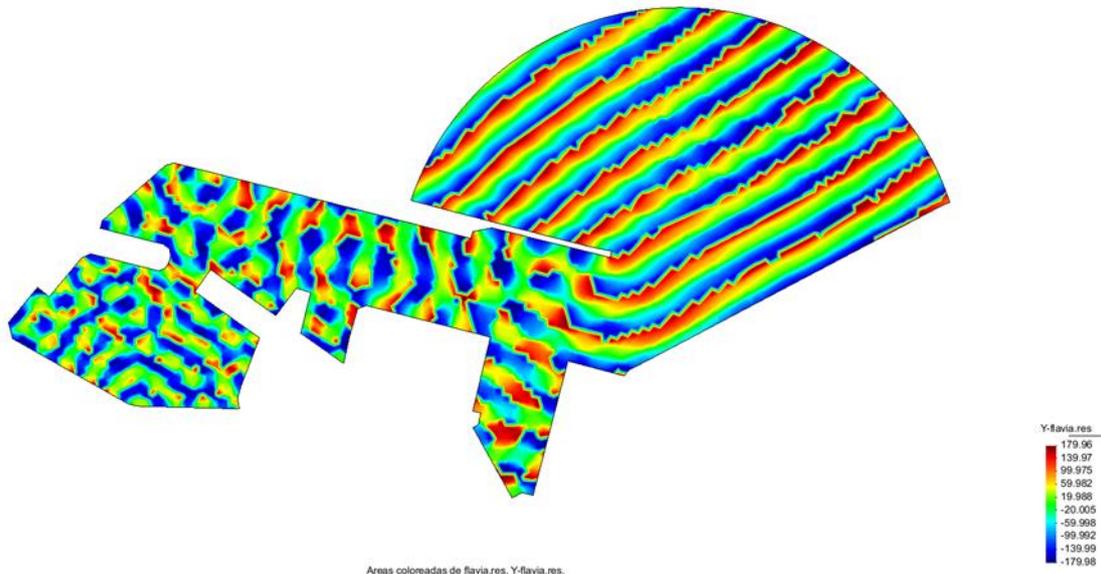


Figura A.II 12. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 11.03 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

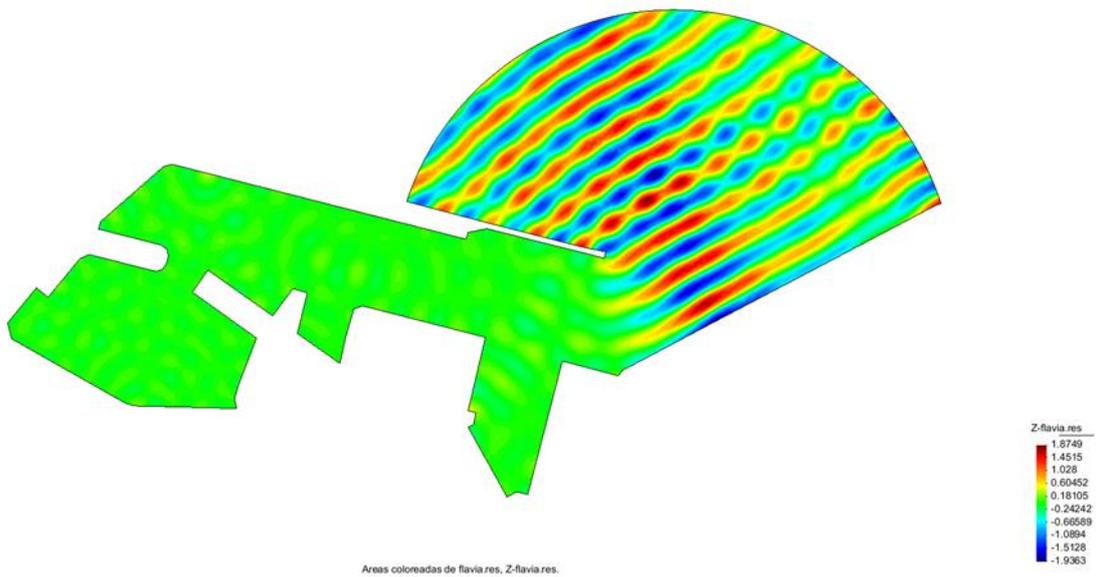


Figura A.II 13. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 11.03 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 30

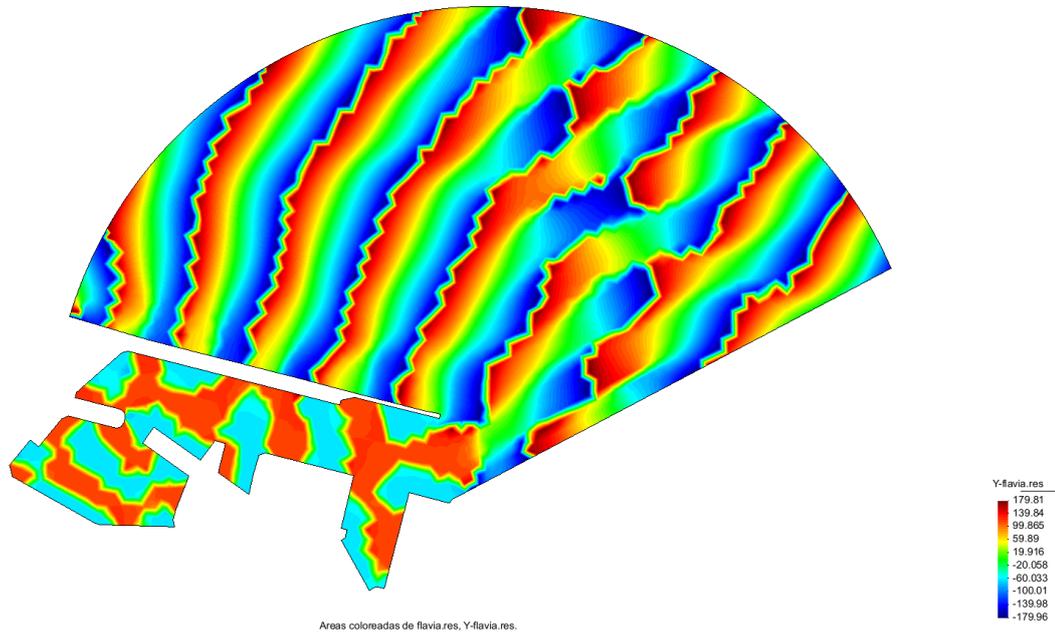


Figura A.II 14. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

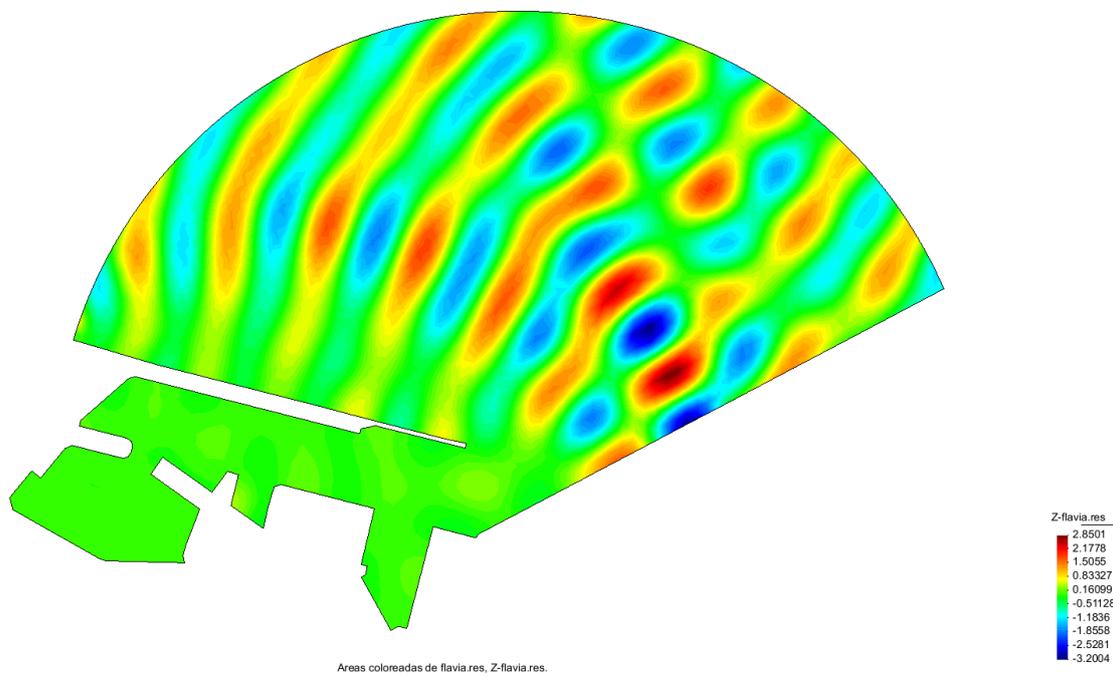


Figura A.II 15. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 60

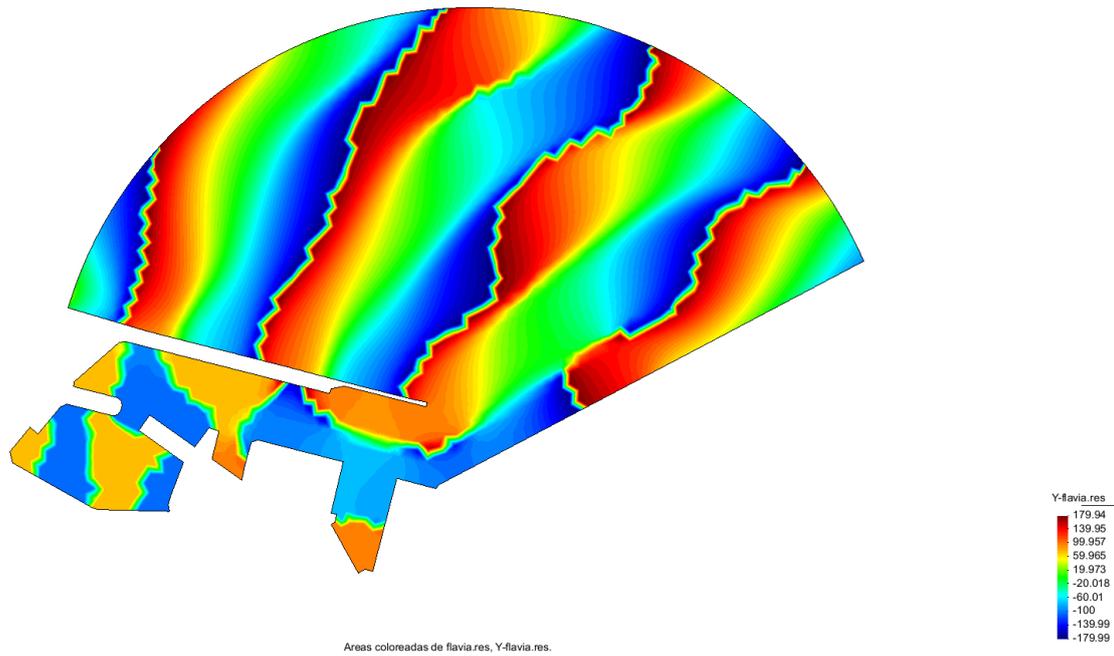


Figura A.II 16. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

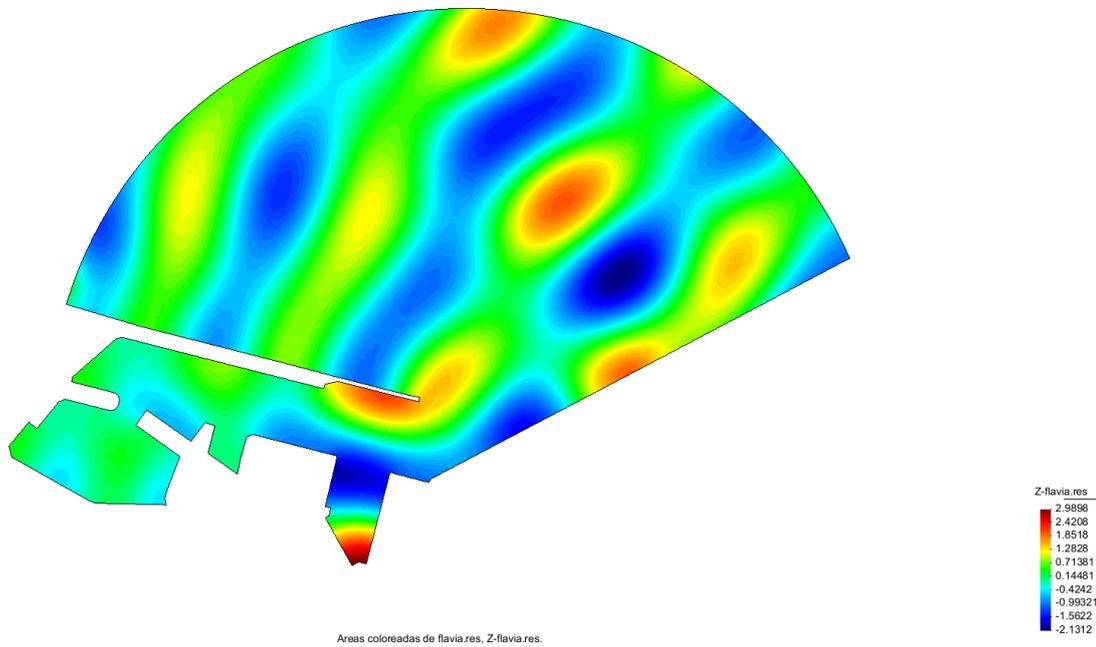


Figura A.II 17. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 120

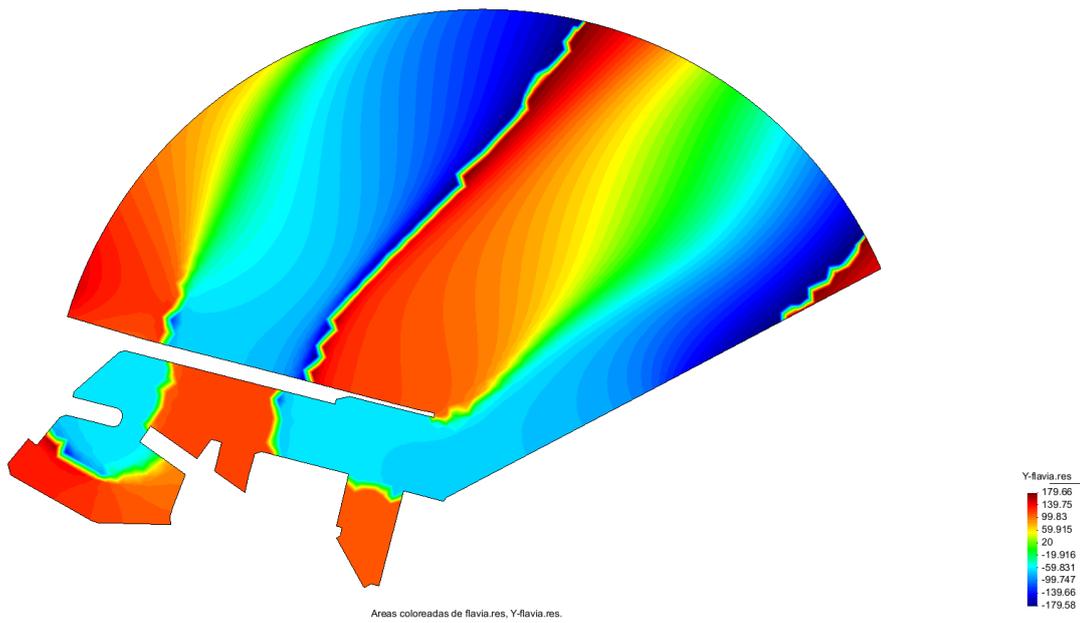


Figura A.II 18. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

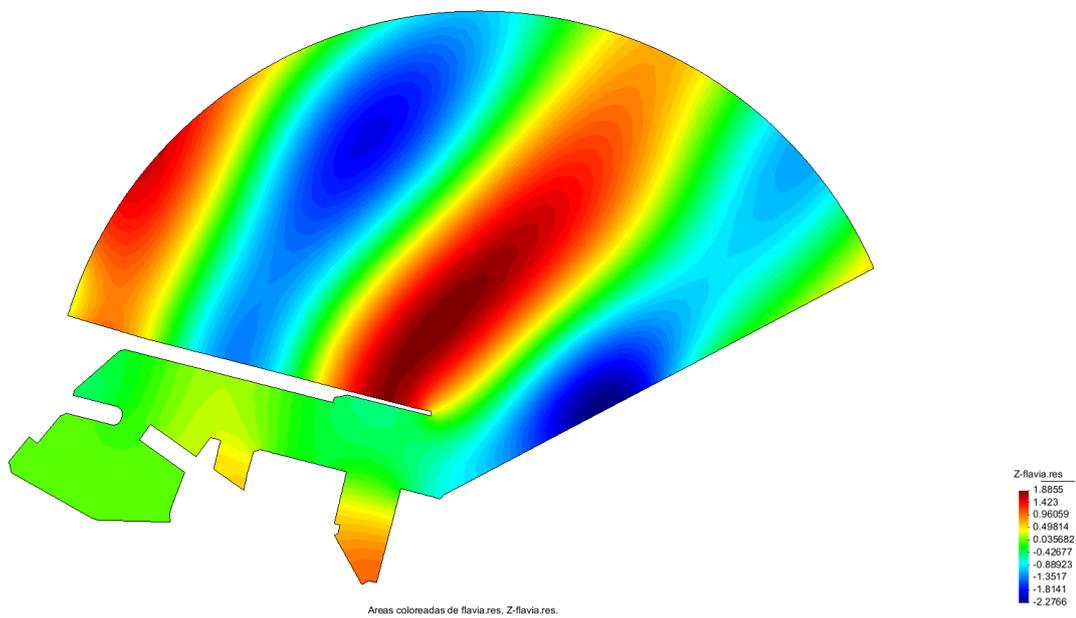


Figura A.II 19. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 180

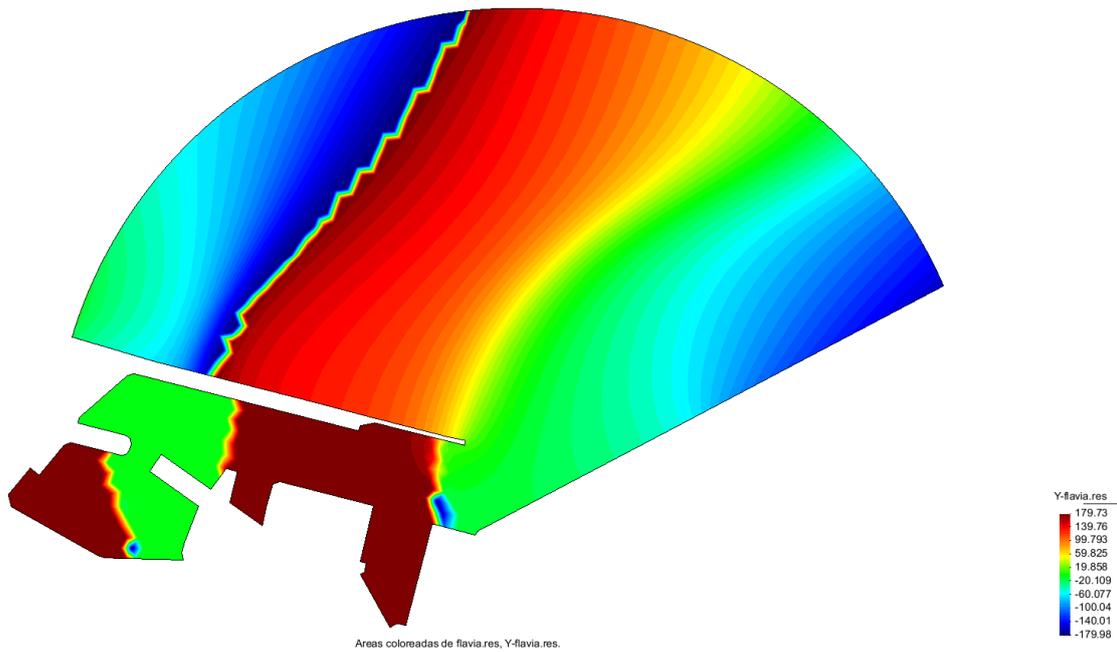


Figura A.II 20. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

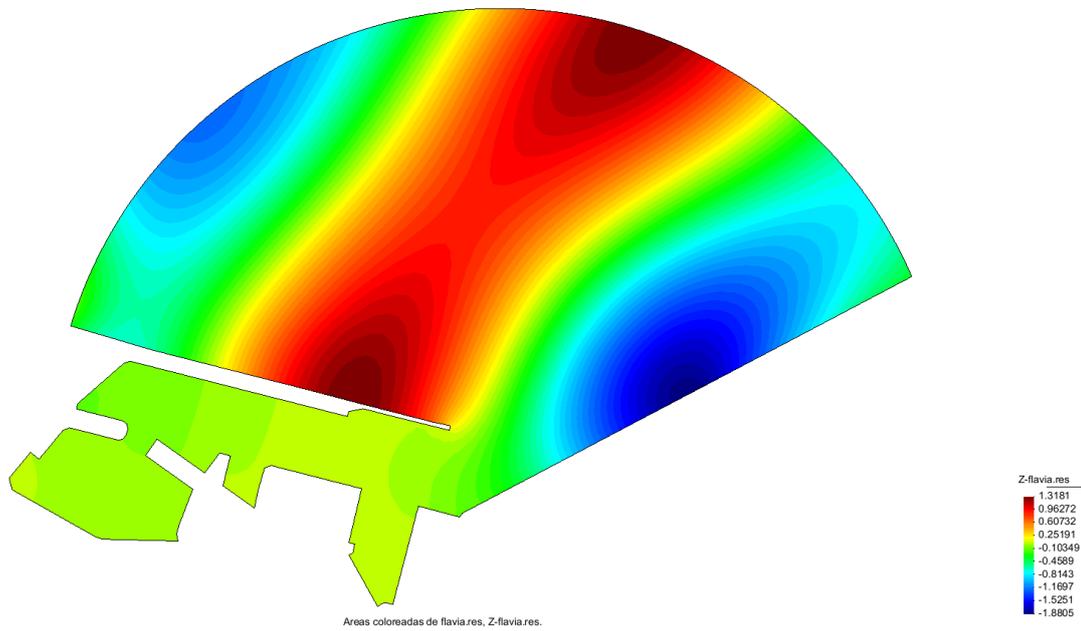


Figura A.II 21. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 240

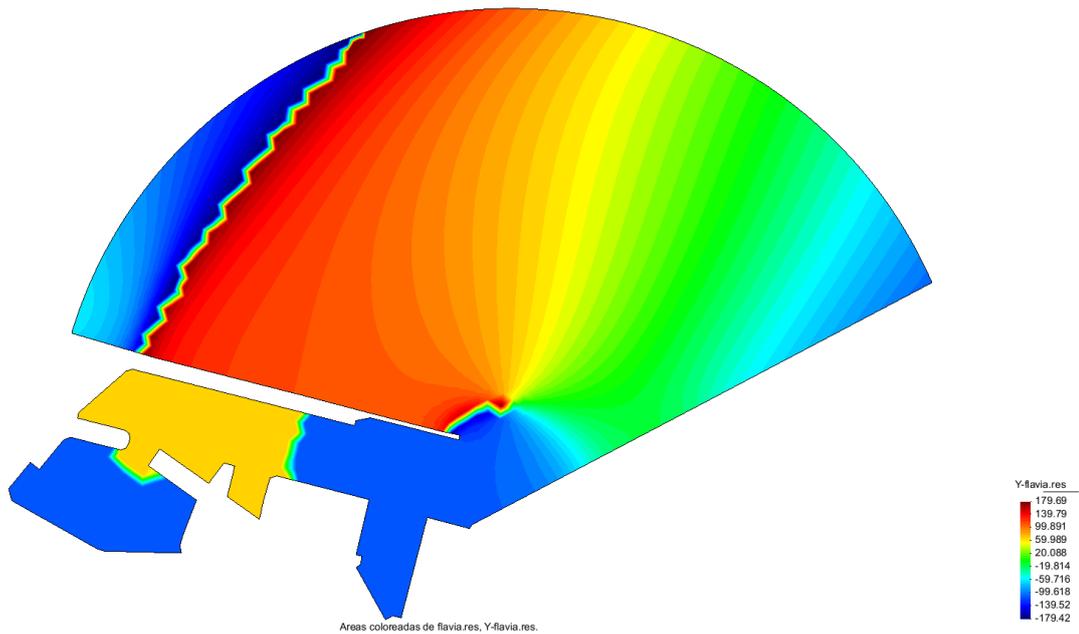


Figura A.II 22. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

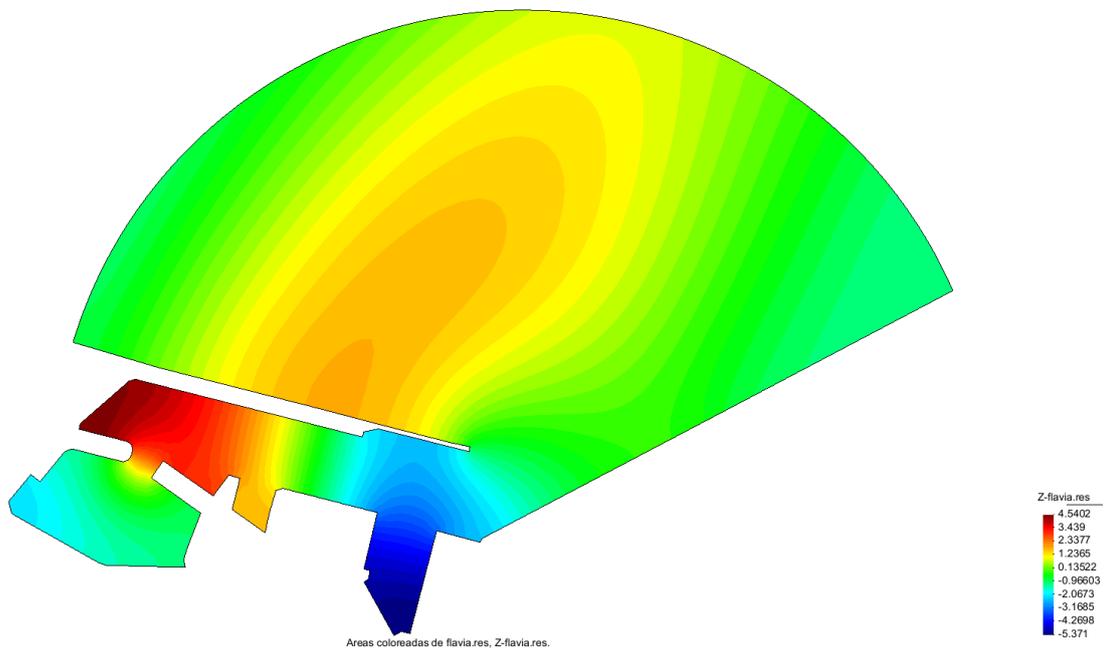


Figura A.II 23. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 300

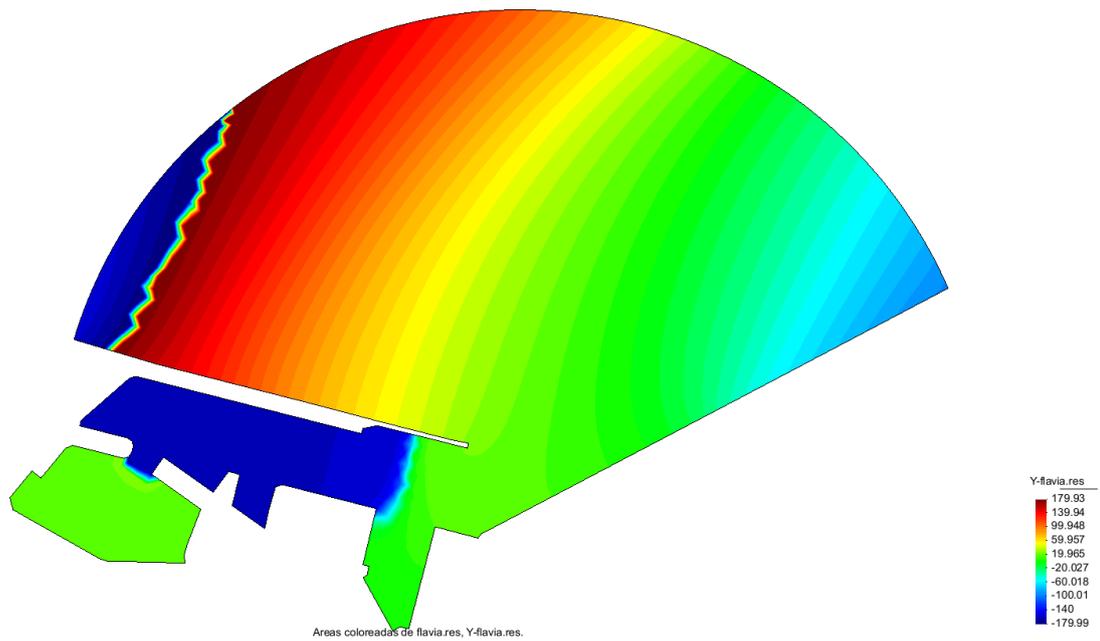


Figura A.II 24. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

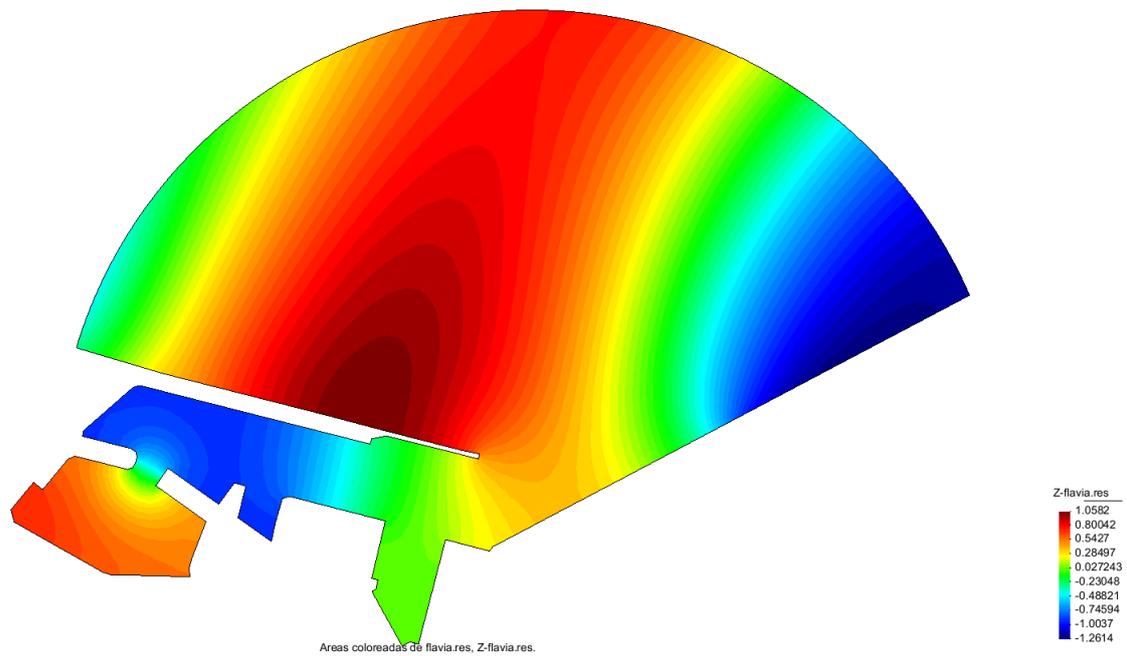


Figura A.II 25. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 3.806

Imposible realizar muy pequeño

Dir. E Tp(s) 4.827

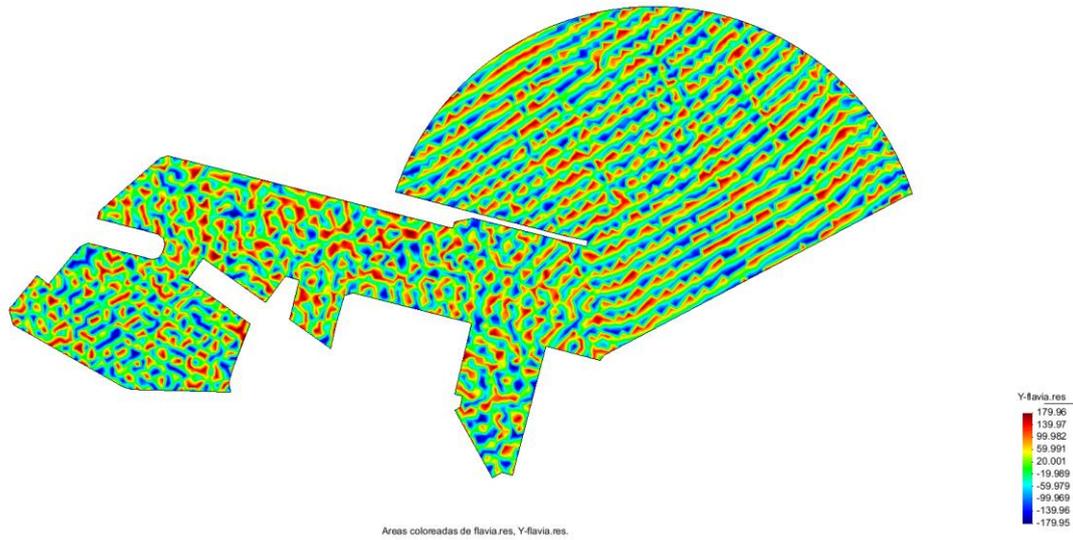


Figura A.II 26. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 4.827 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

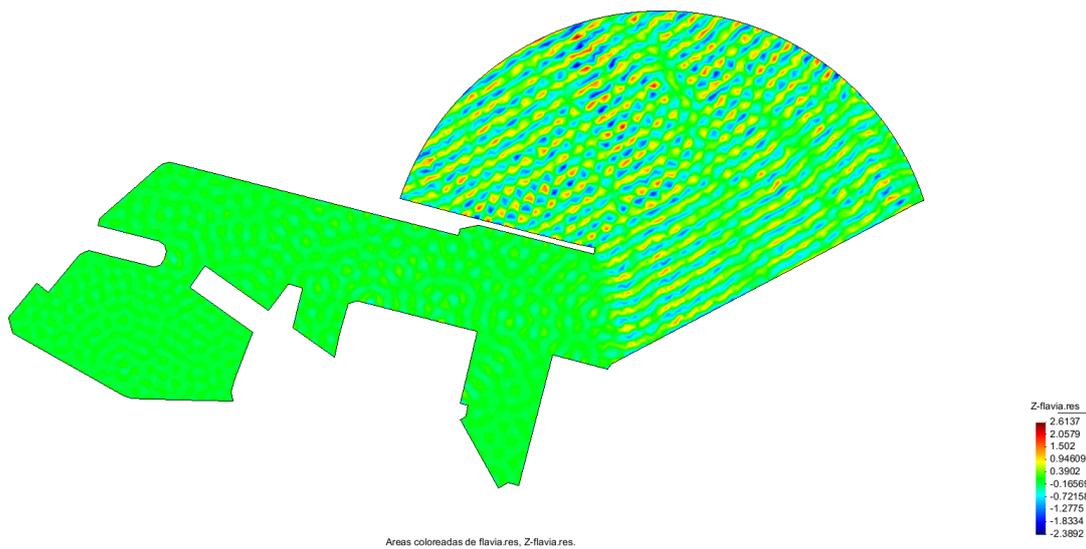


Figura A.II 27. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 4.827 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 5.546

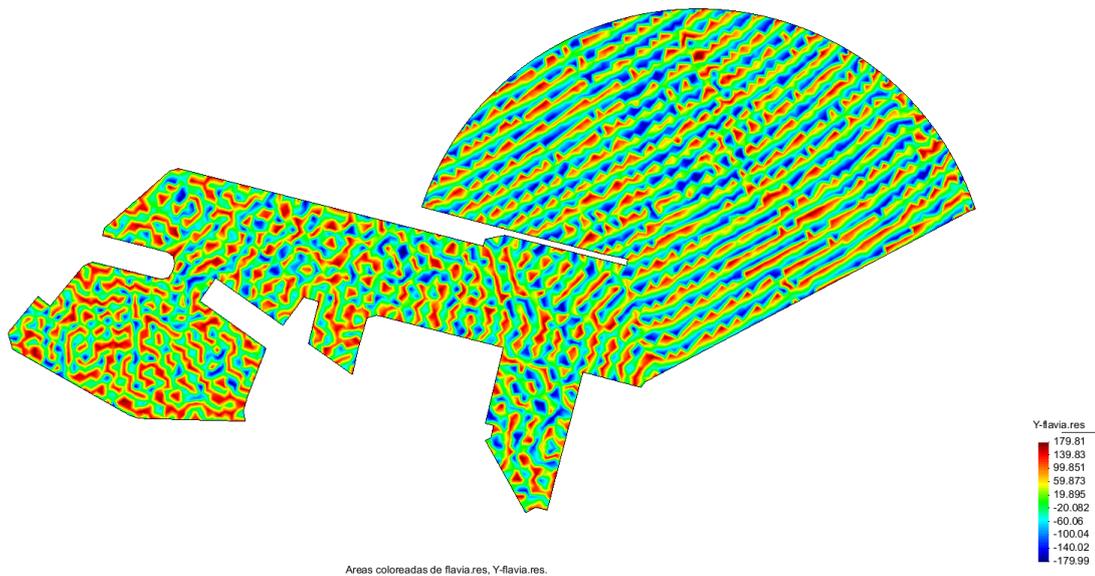


Figura A.II 28. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

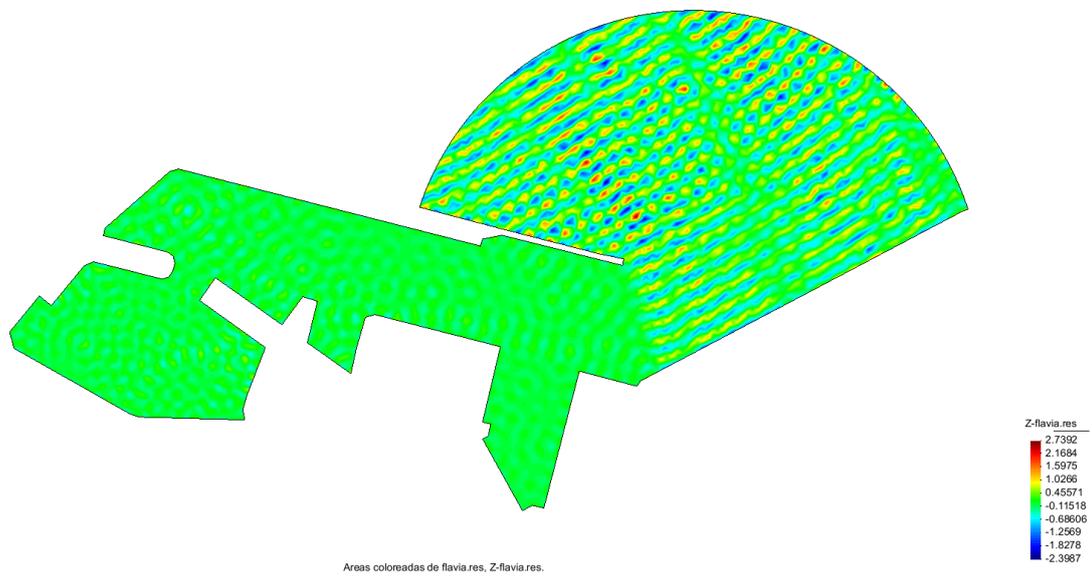


Figura A.II 29. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 5.546 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 6.121

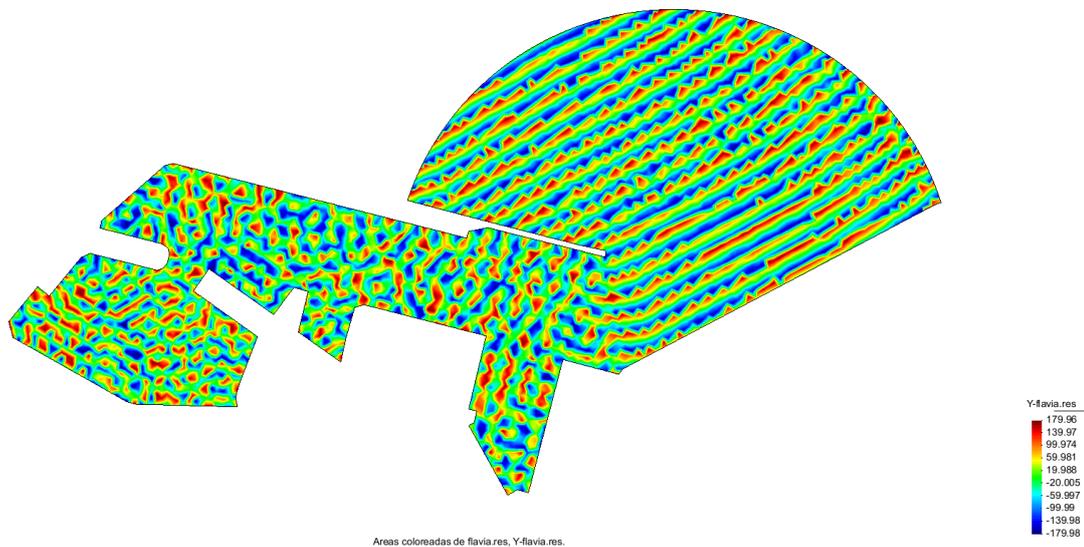


Figura A.II 30. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 6.121 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

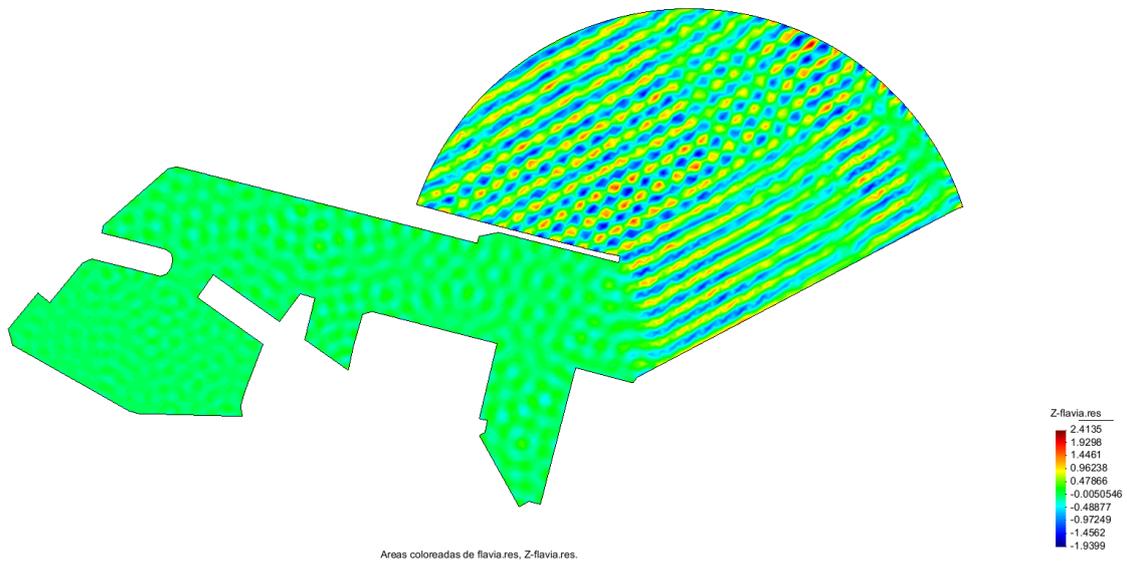


Figura A.II 31. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 6.121 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 6.603

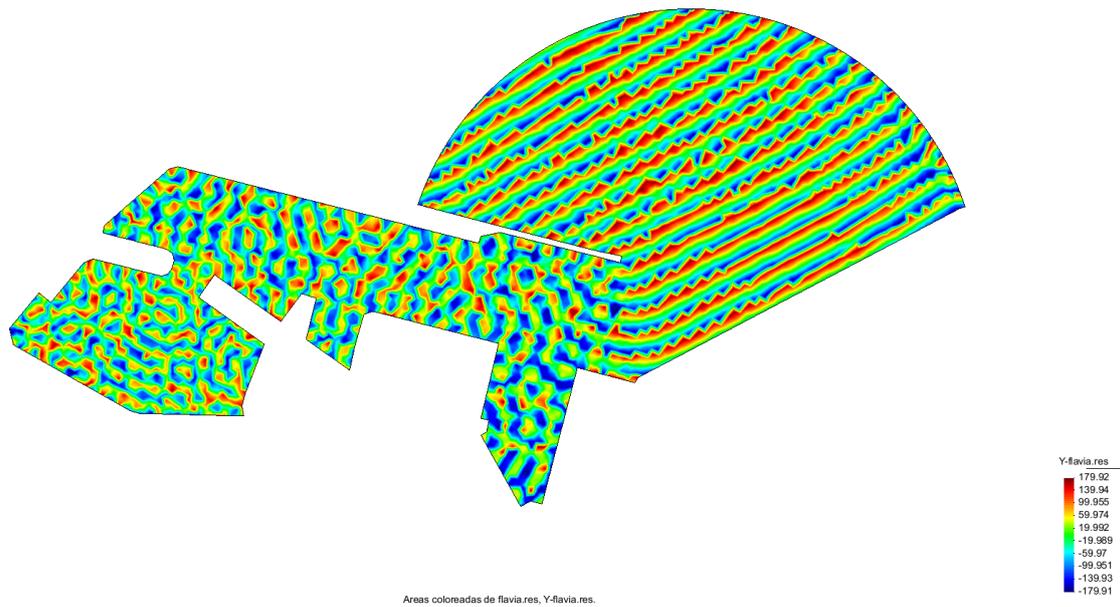


Figura A.II 32. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 6.603 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

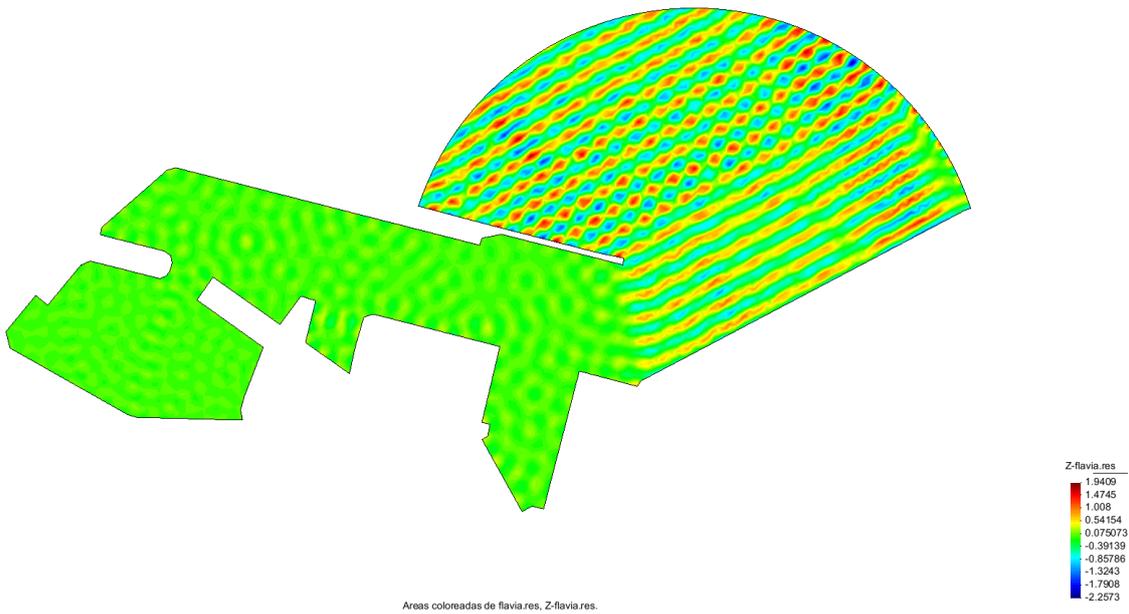


Figura A.II 33. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 6.603 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 6.978

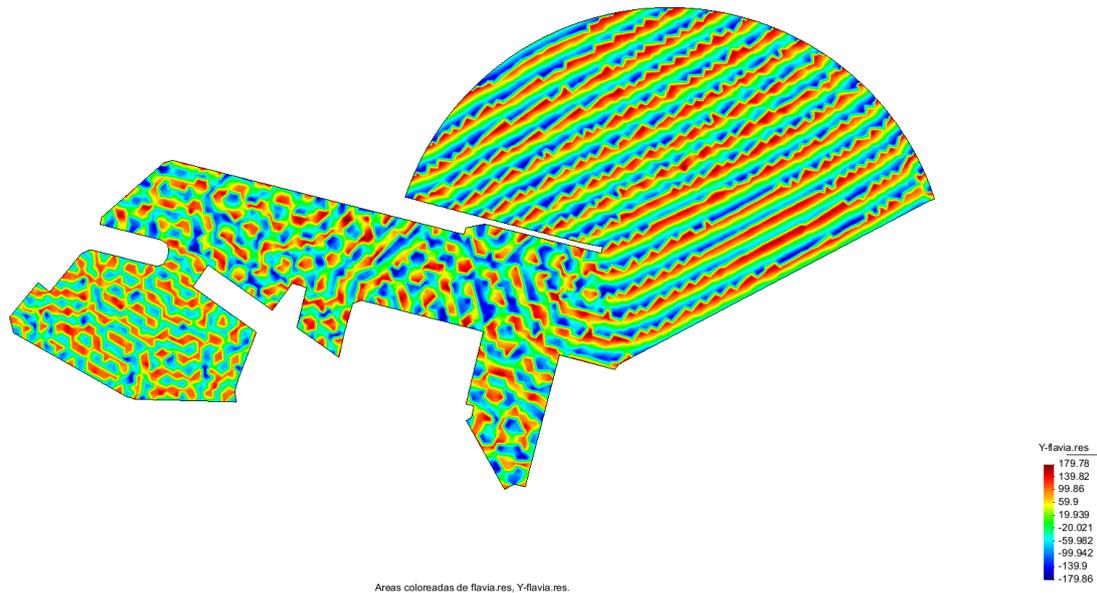


Figura A.II 34. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 6.978 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

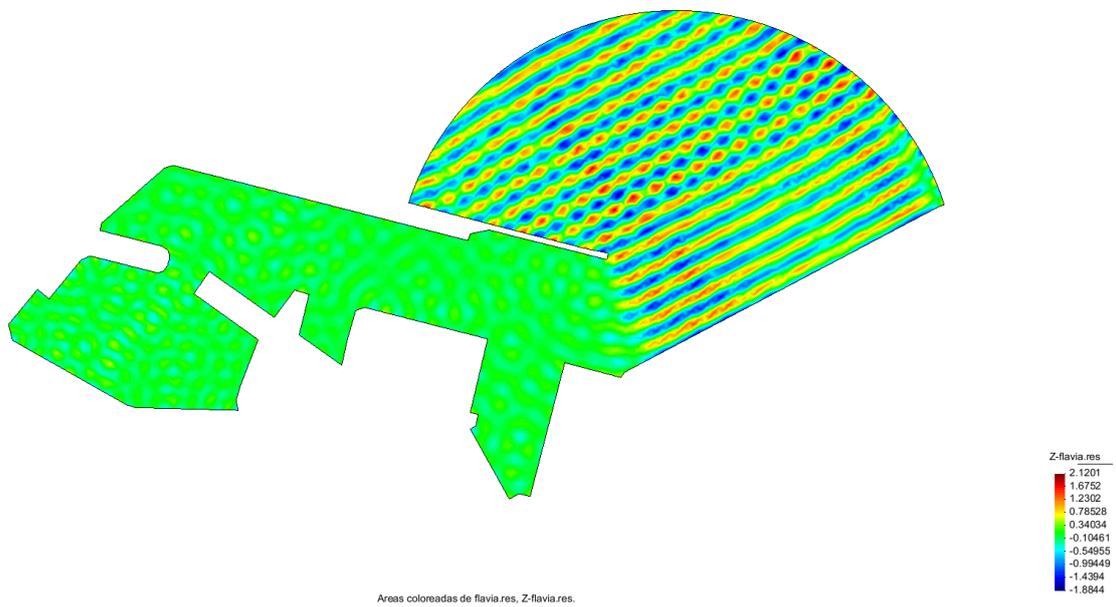


Figura A.II 35. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 6.978 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 30

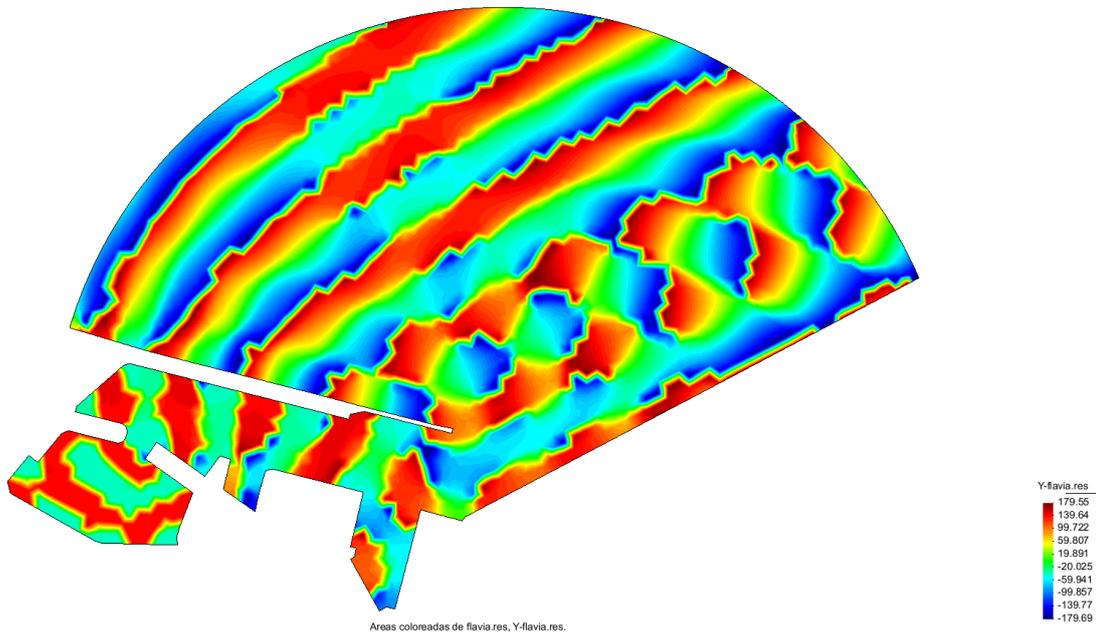


Figura A.II 36. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

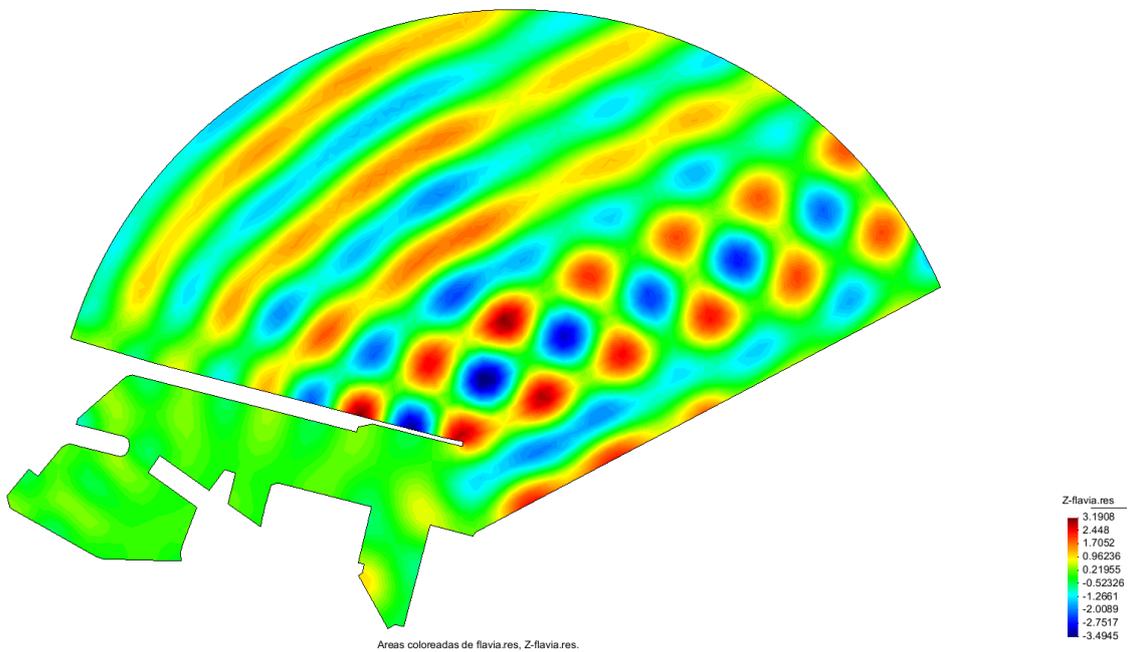


Figura A.II 37. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 60

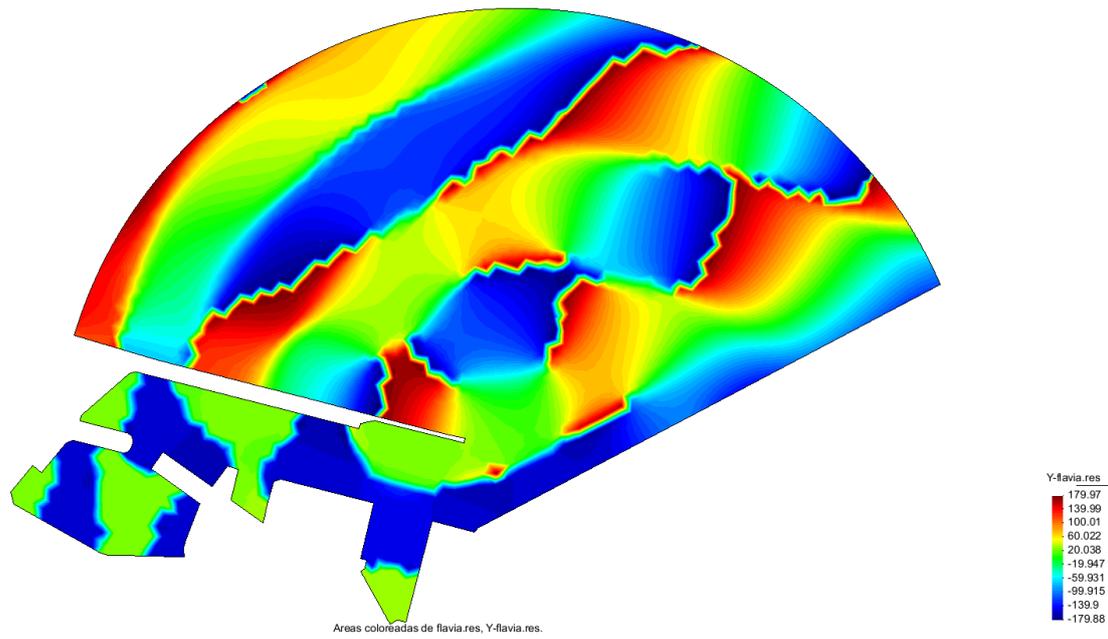


Figura A.II 38. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

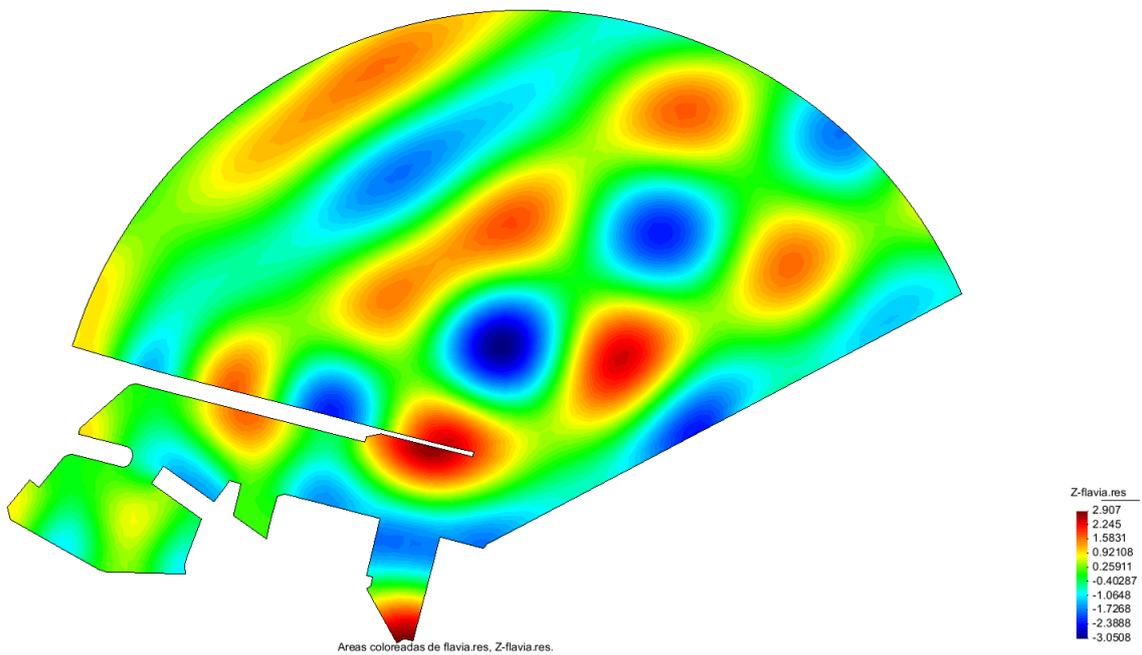


Figura A.II 39. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 120

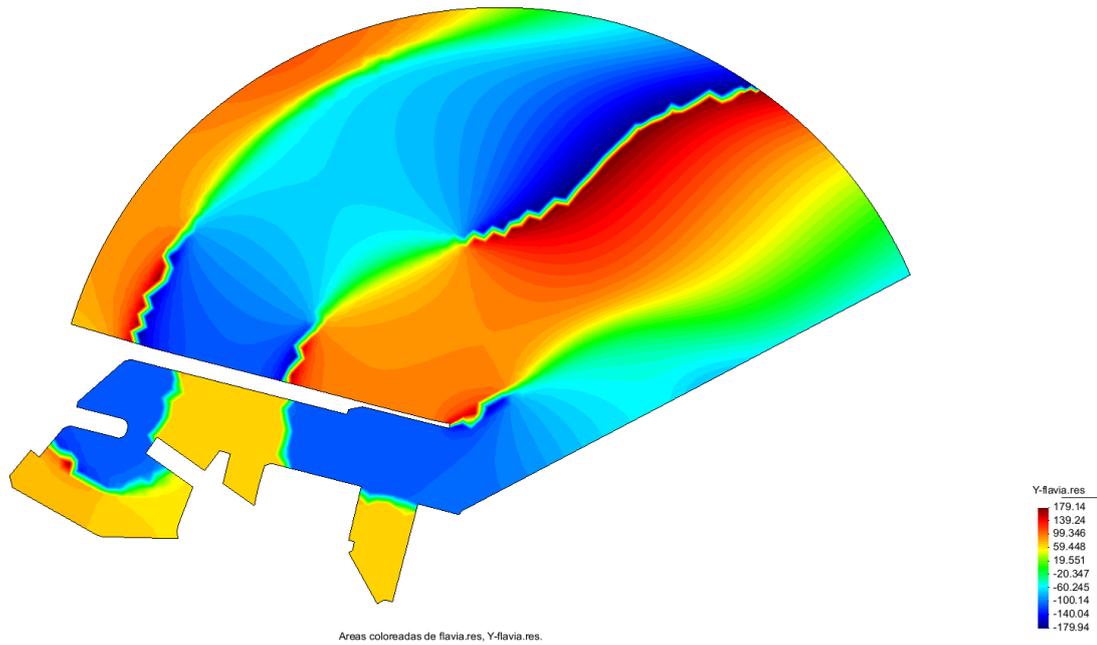


Figura A.II 40. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

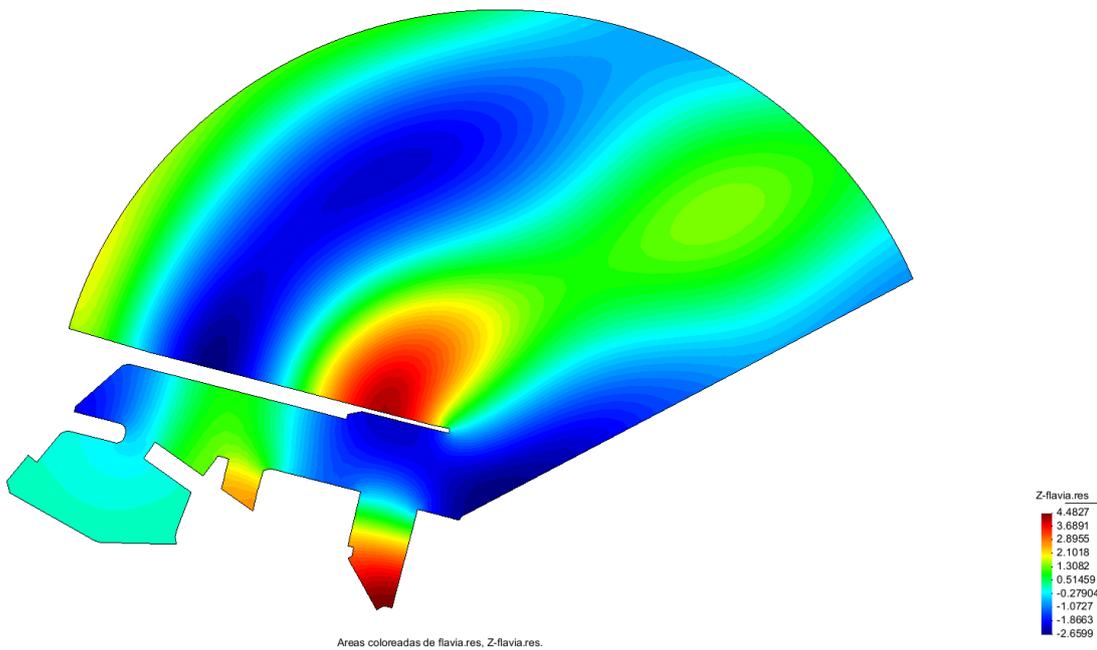


Figura A.II 41. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 180

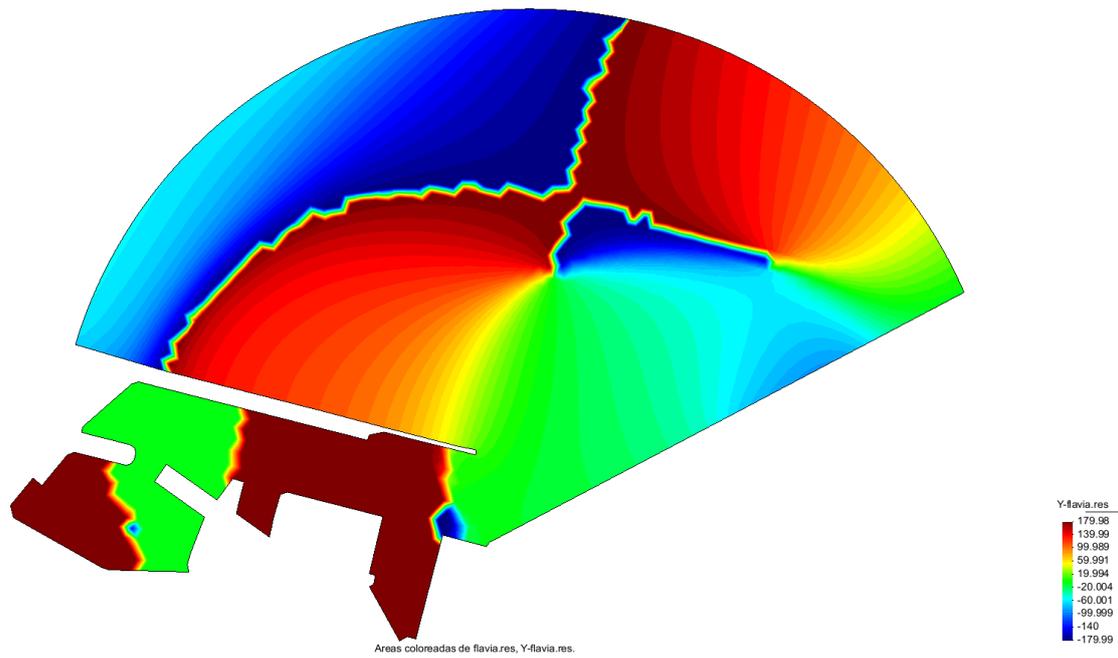


Figura A.II 42. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

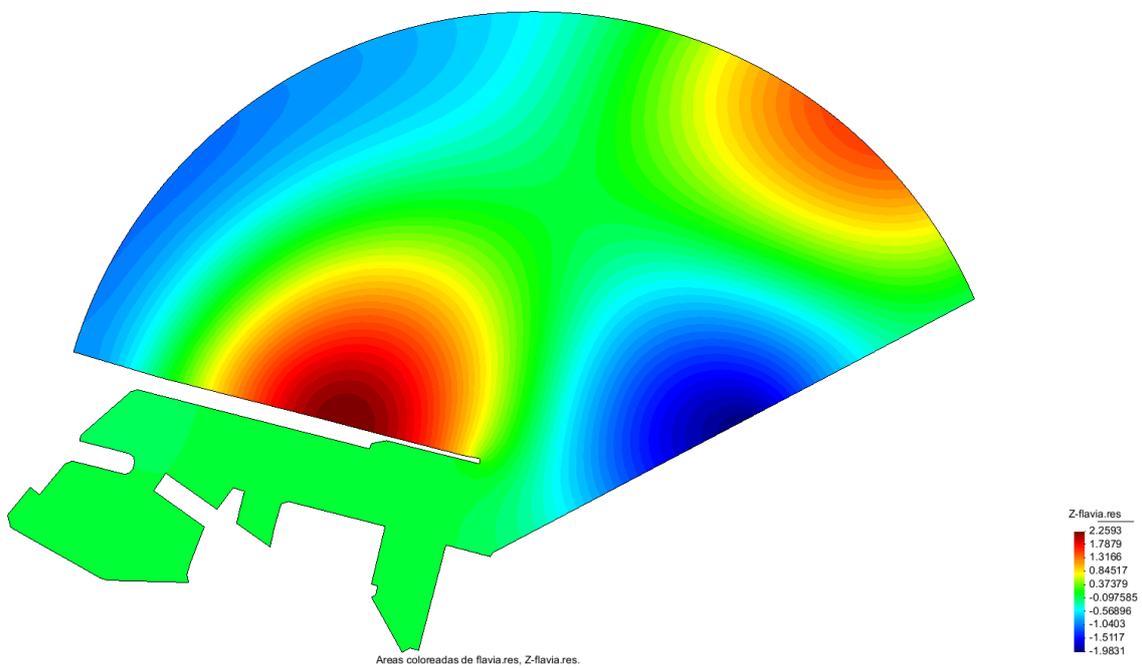


Figura A.II 43. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 240

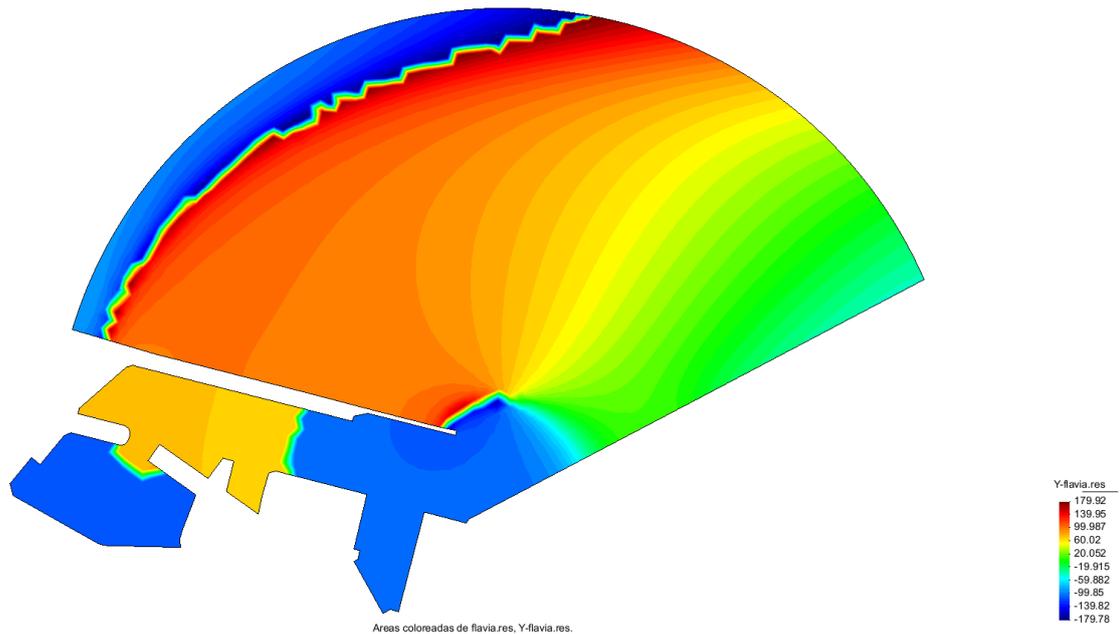


Figura A.II 44. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

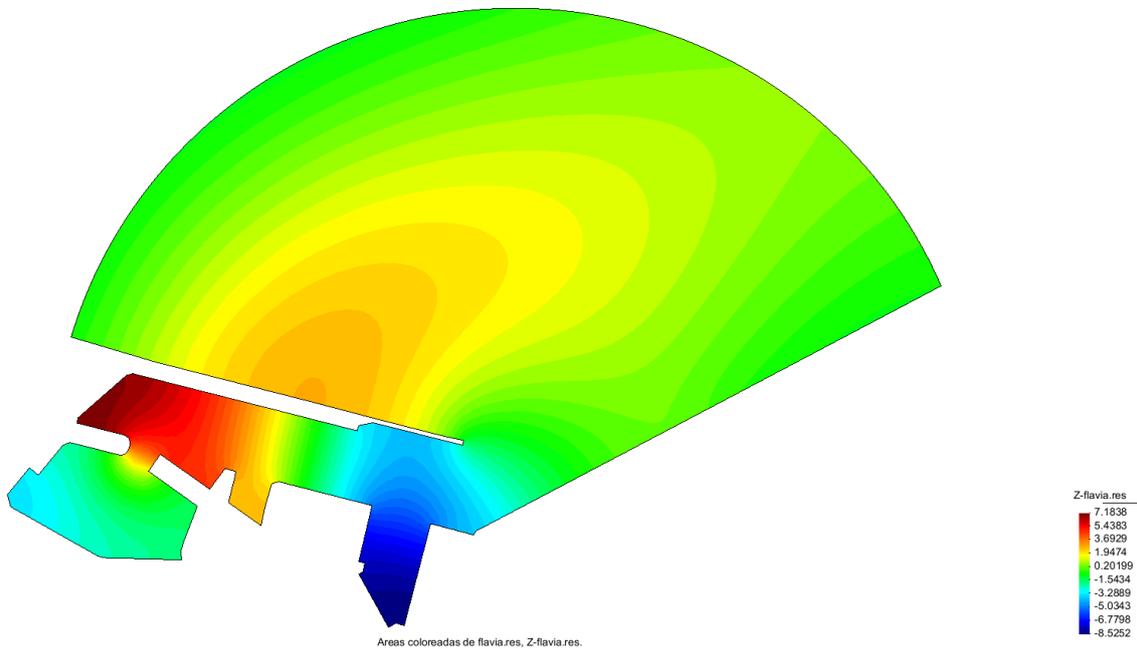


Figura A.II 45. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 300

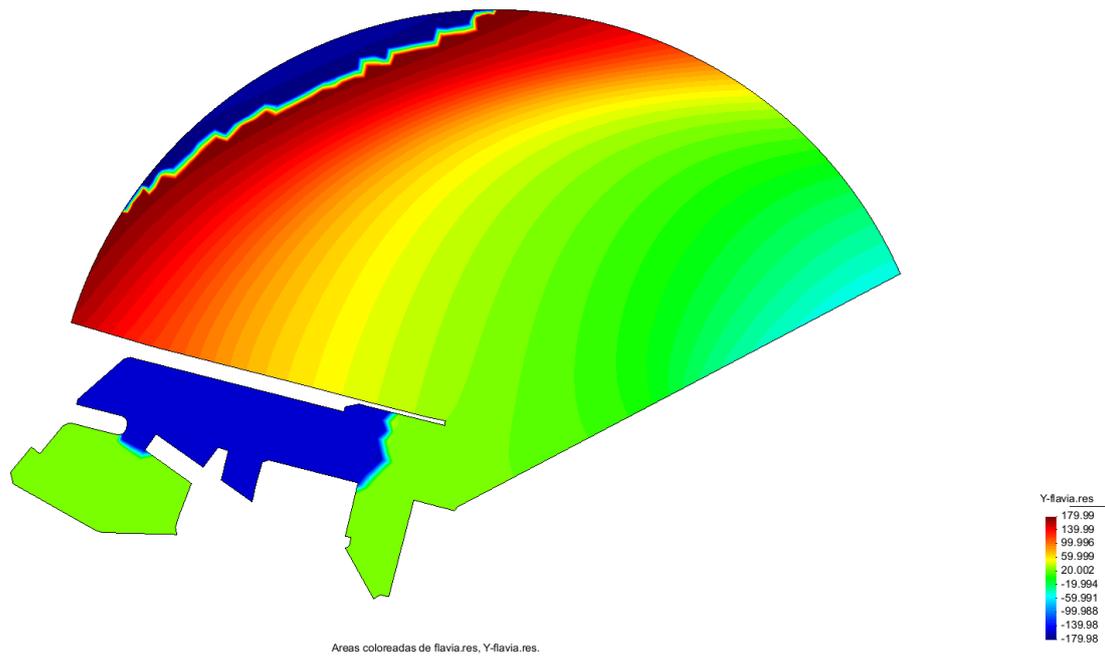


Figura A.II 46. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID



Figura A.II 47. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 5.204

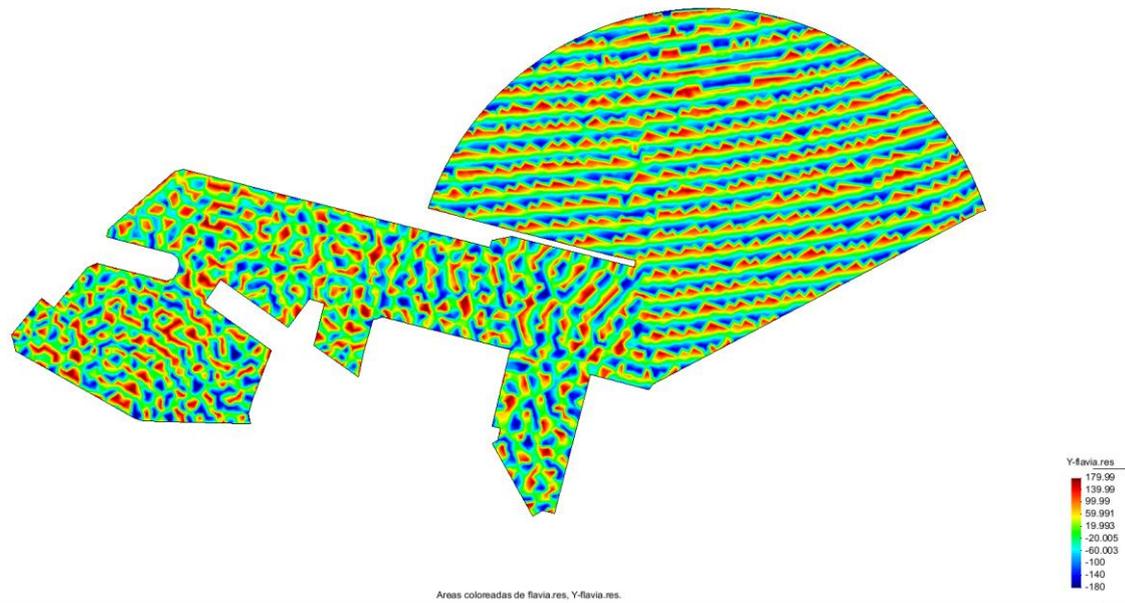


Figura A.II 48. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 5.204 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

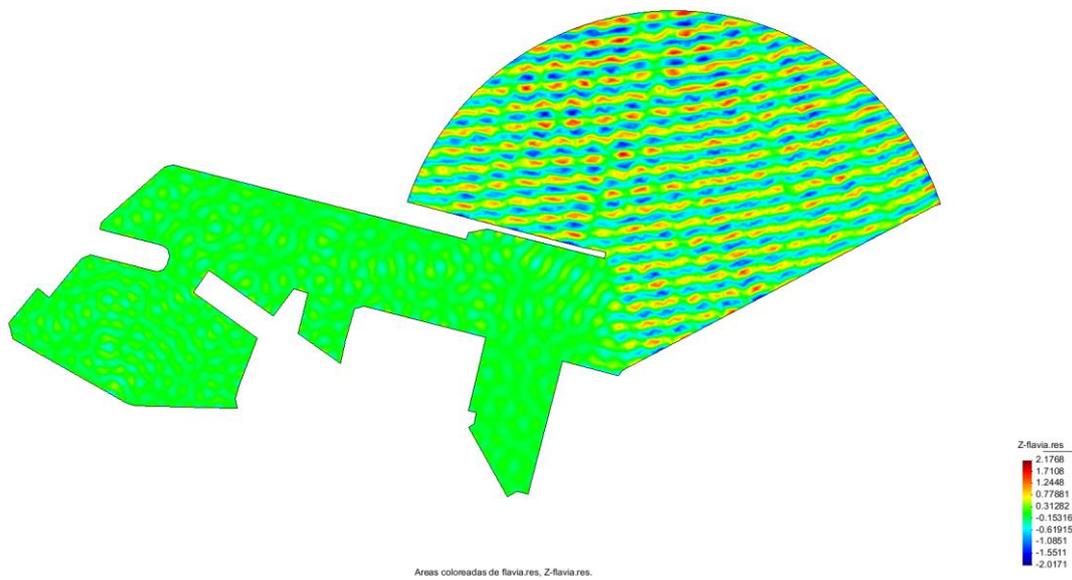


Figura A.II 49. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 5.204 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 6.873

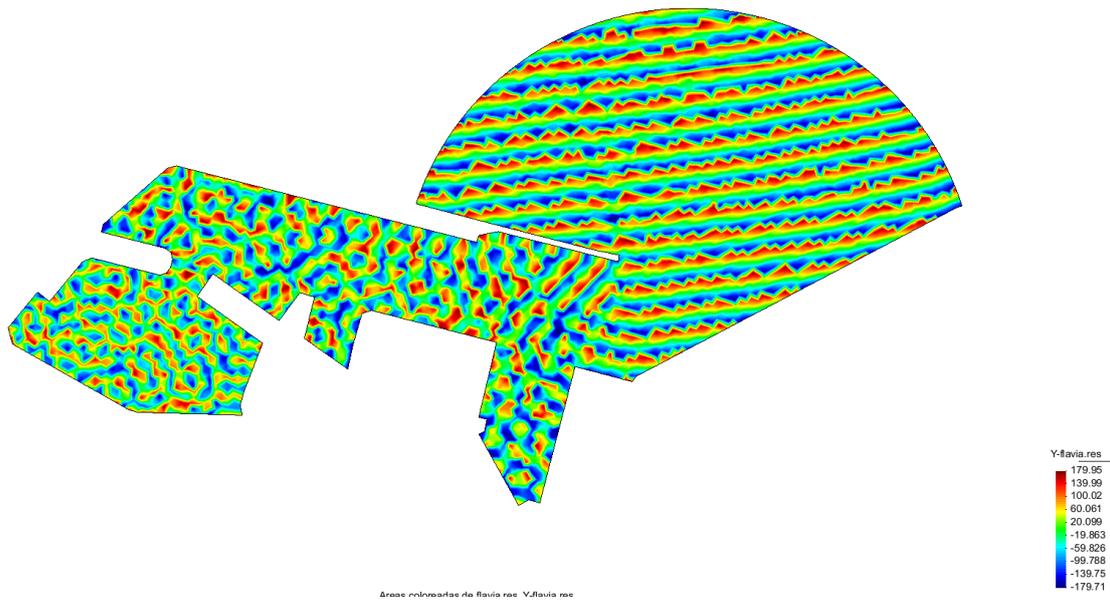


Figura A.II 50. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 6.873 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

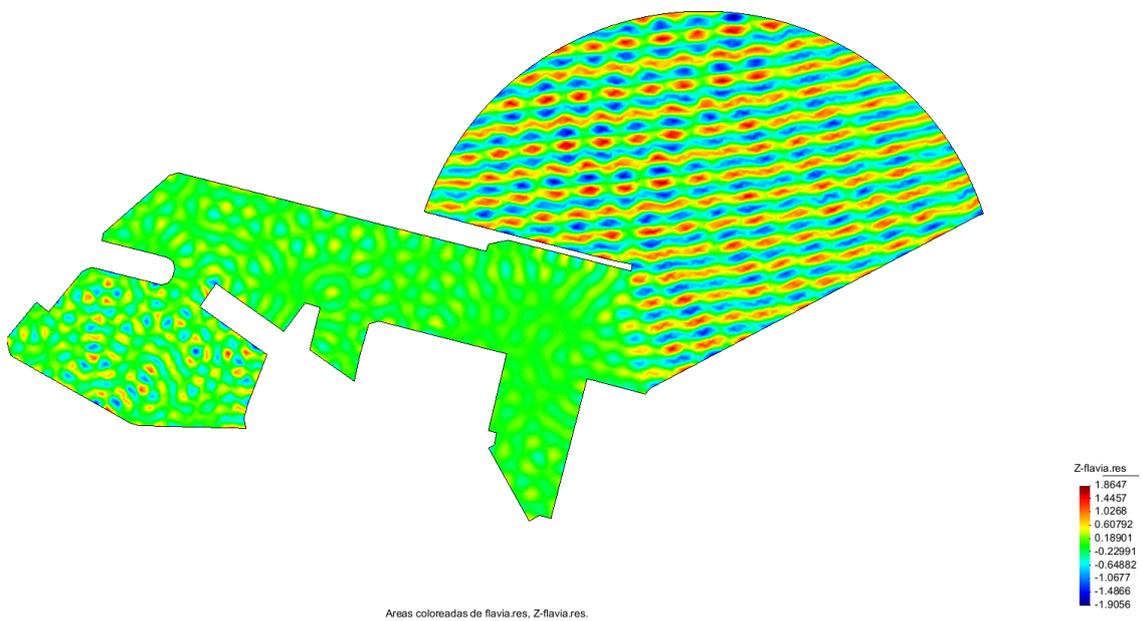


Figura A.II 51. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 6.873 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 8.377

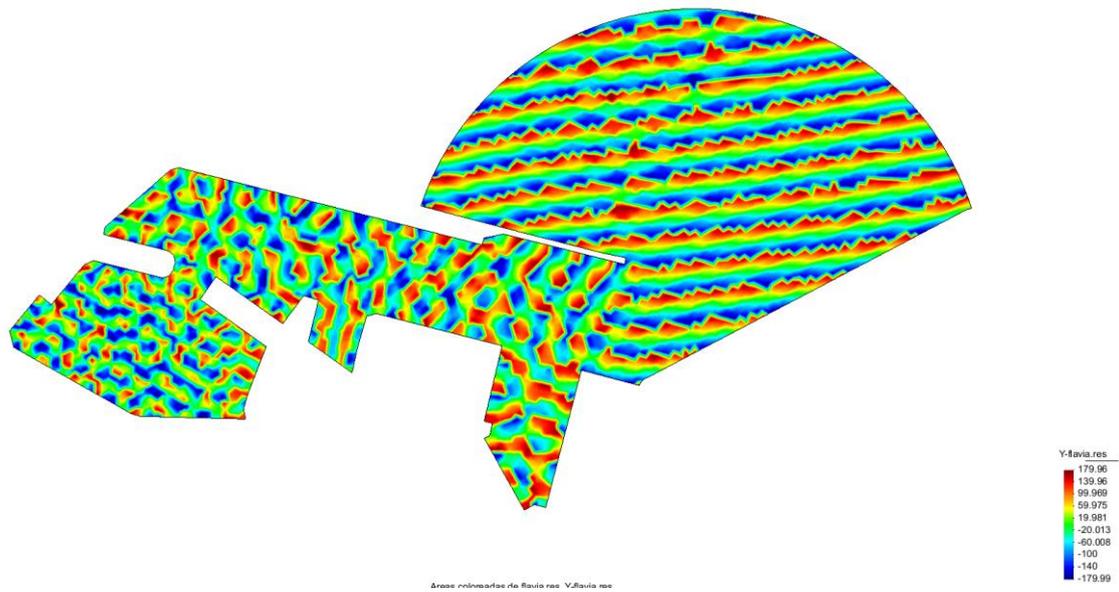


Figura A.II 52. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 8.377 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

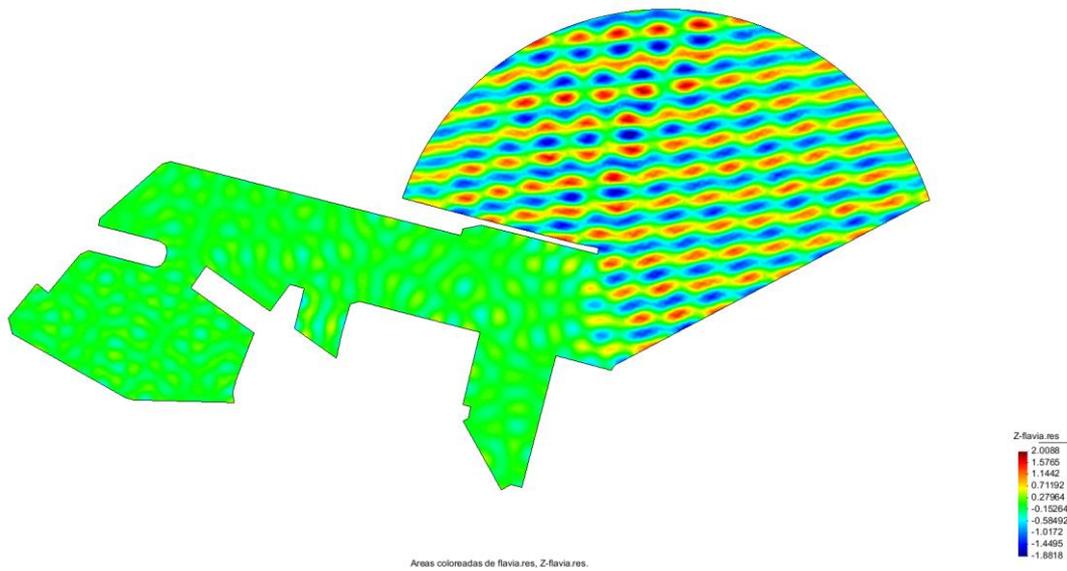


Figura A.II 53. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 8.377 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 9.665

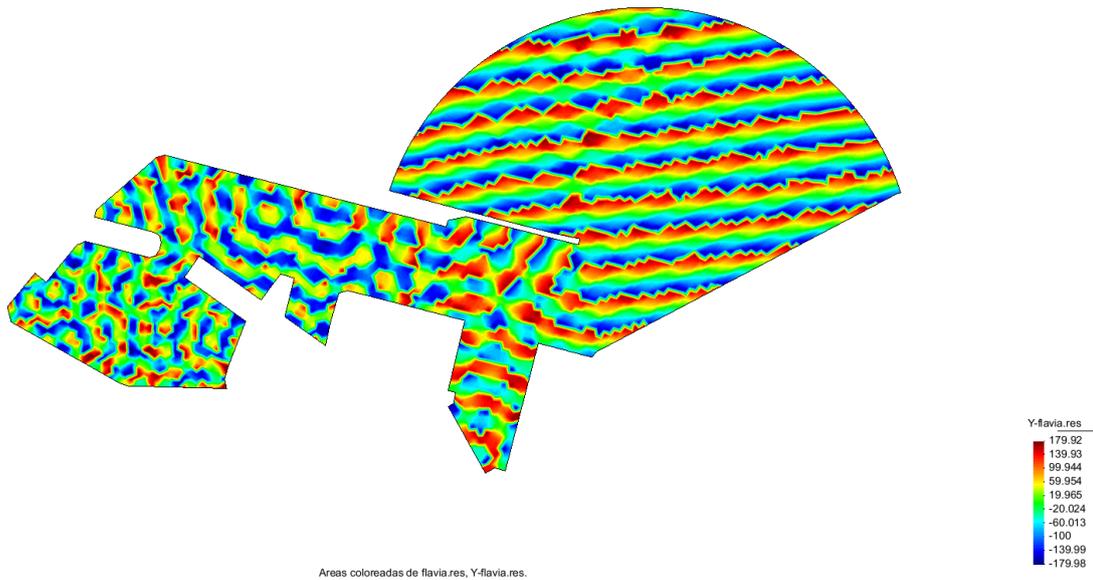


Figura A.II 54. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 9.665 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

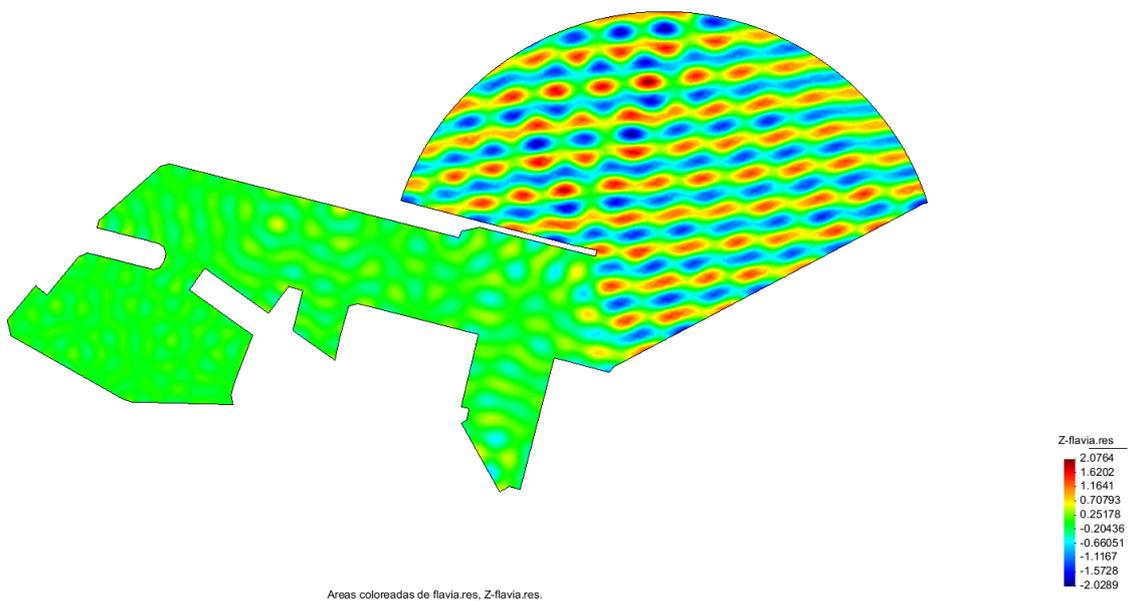


Figura A.II 55. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 9.665 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 30

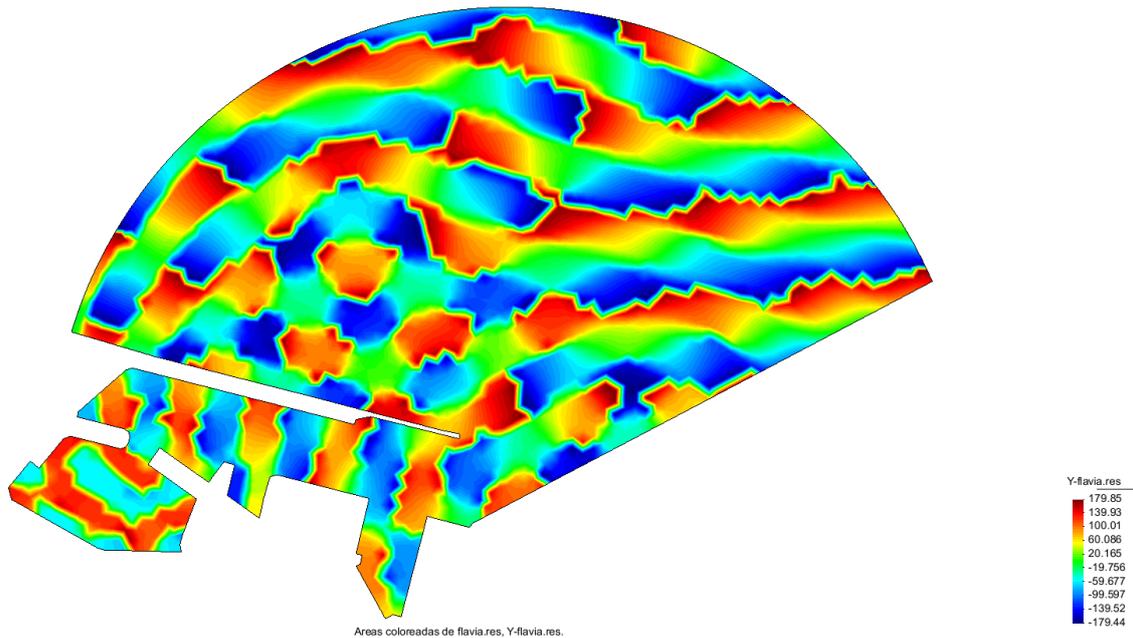


Figura A.II 56. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

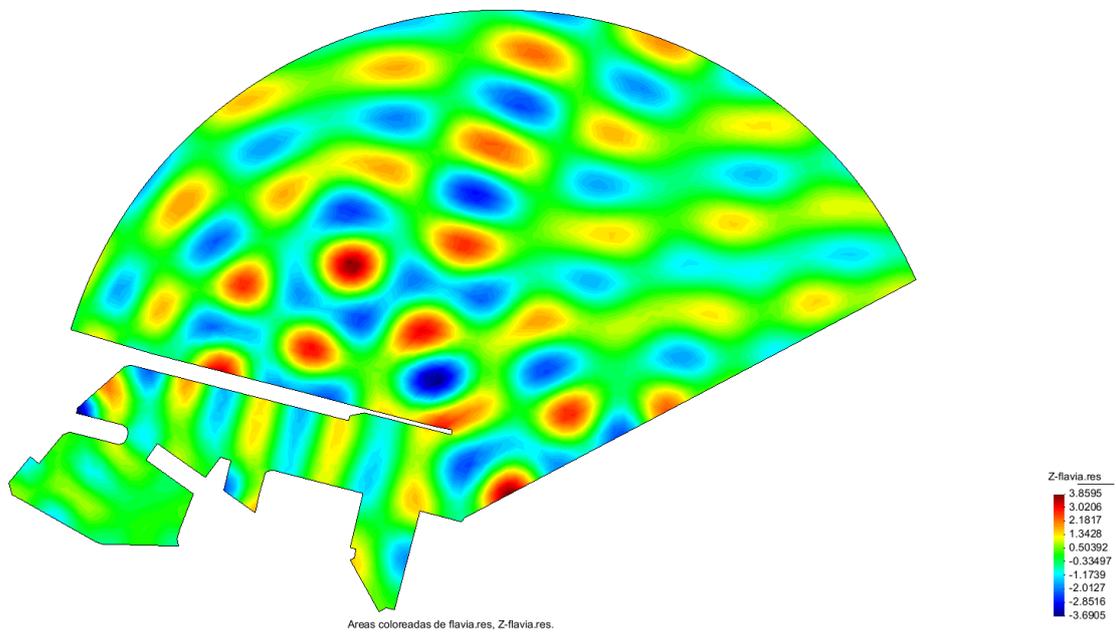


Figura A.II 57. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s)60

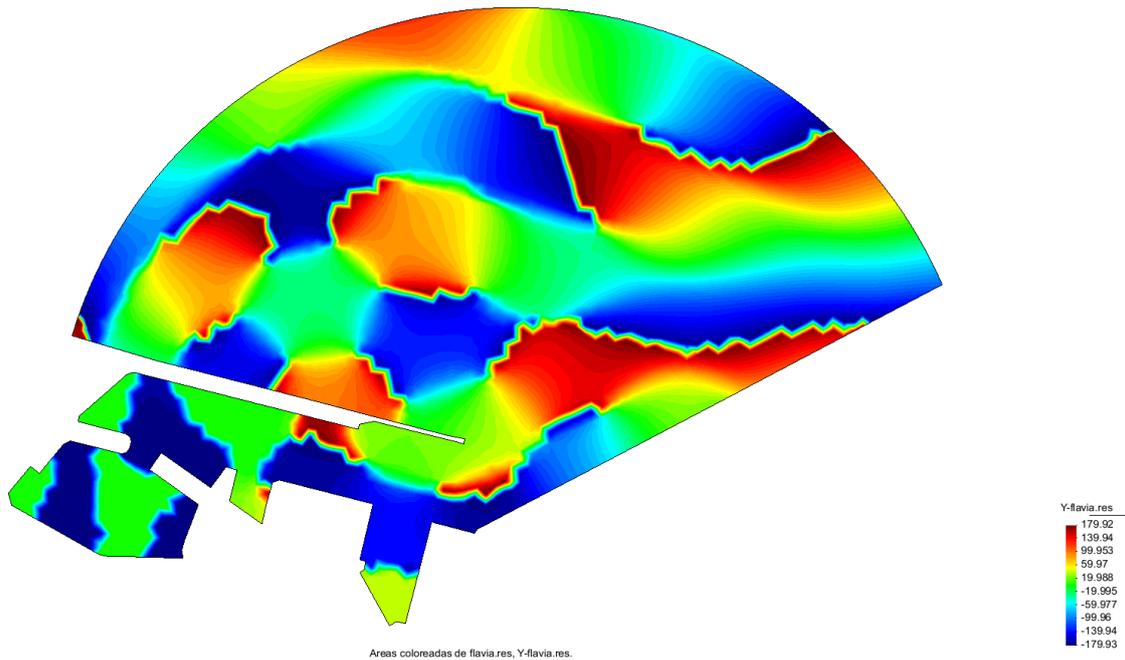


Figura A.II 58. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

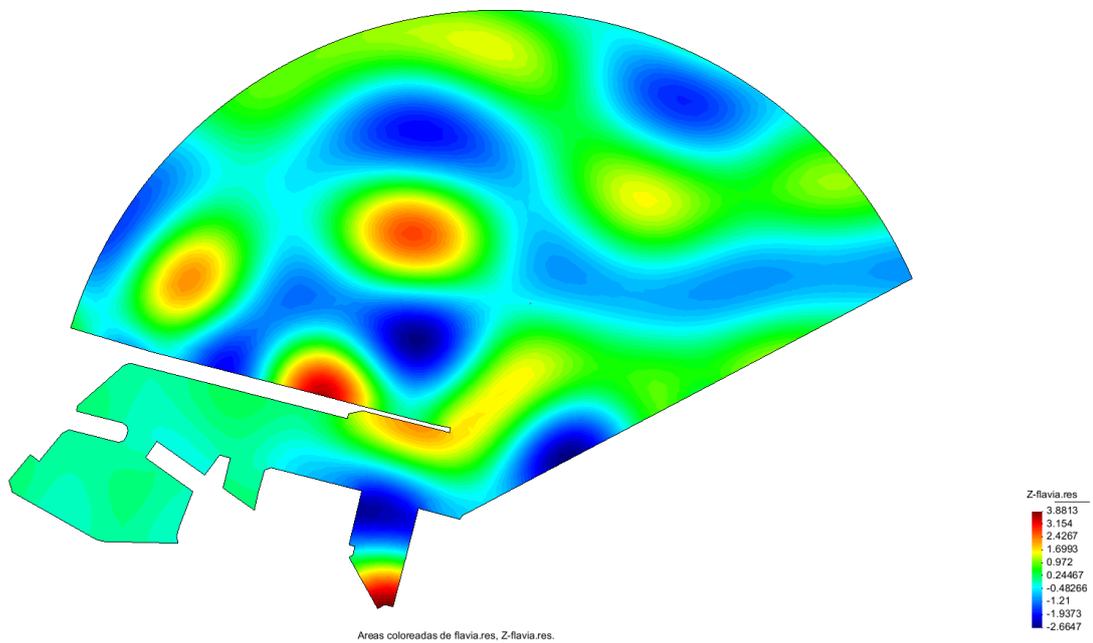


Figura A.II 59. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 120

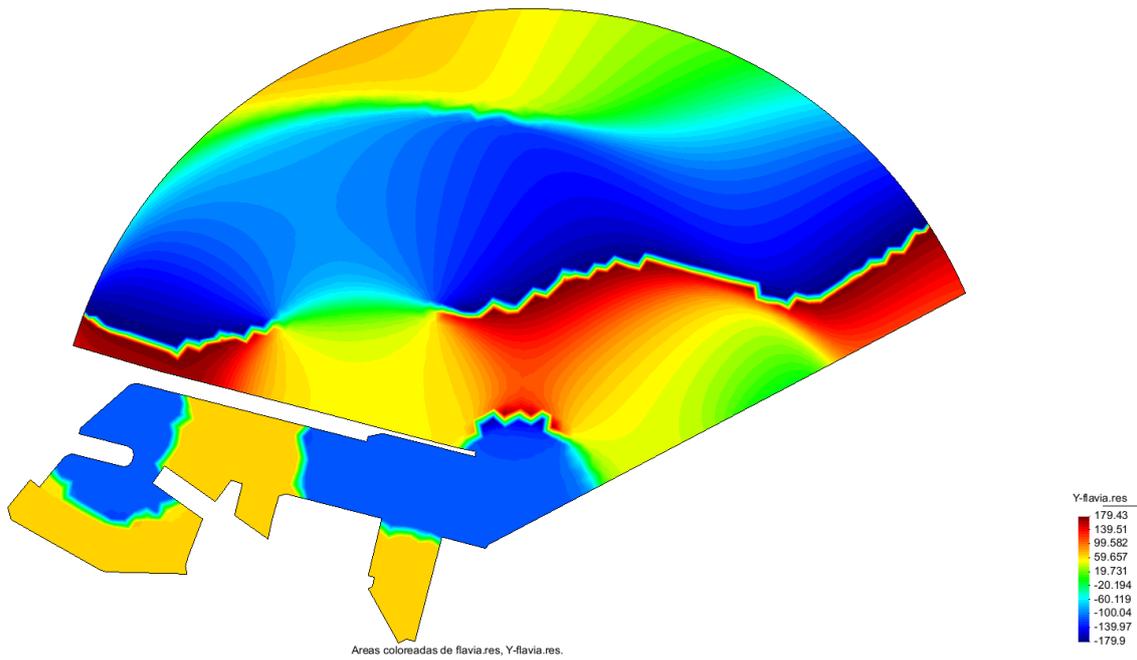


Figura A.II 60. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

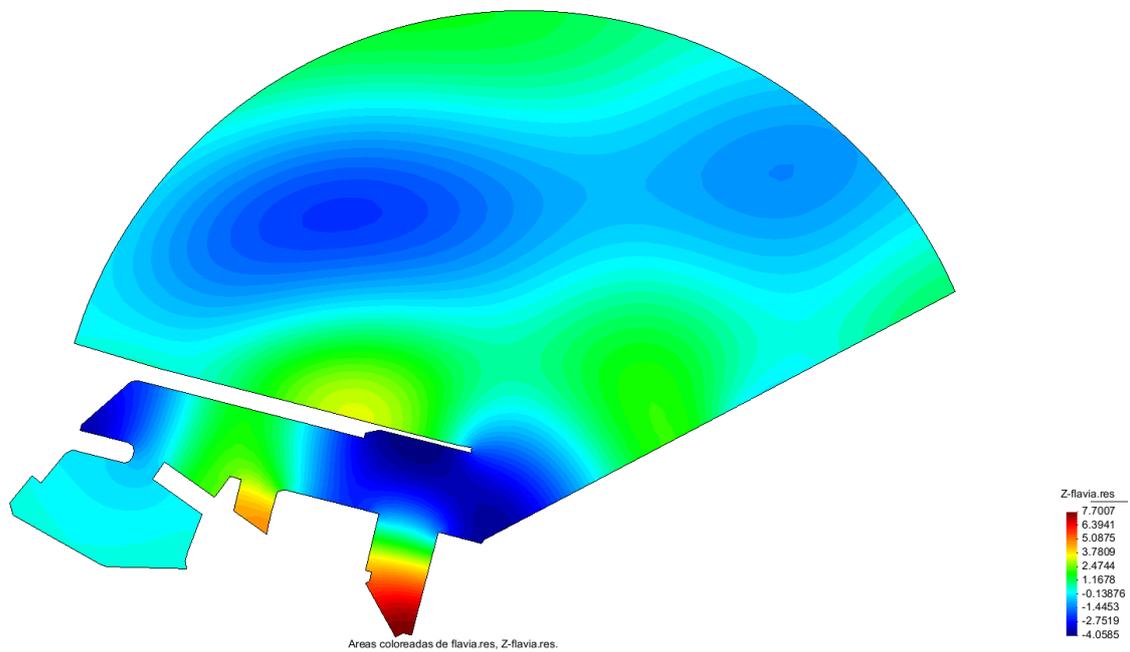


Figura A.II 61. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 180

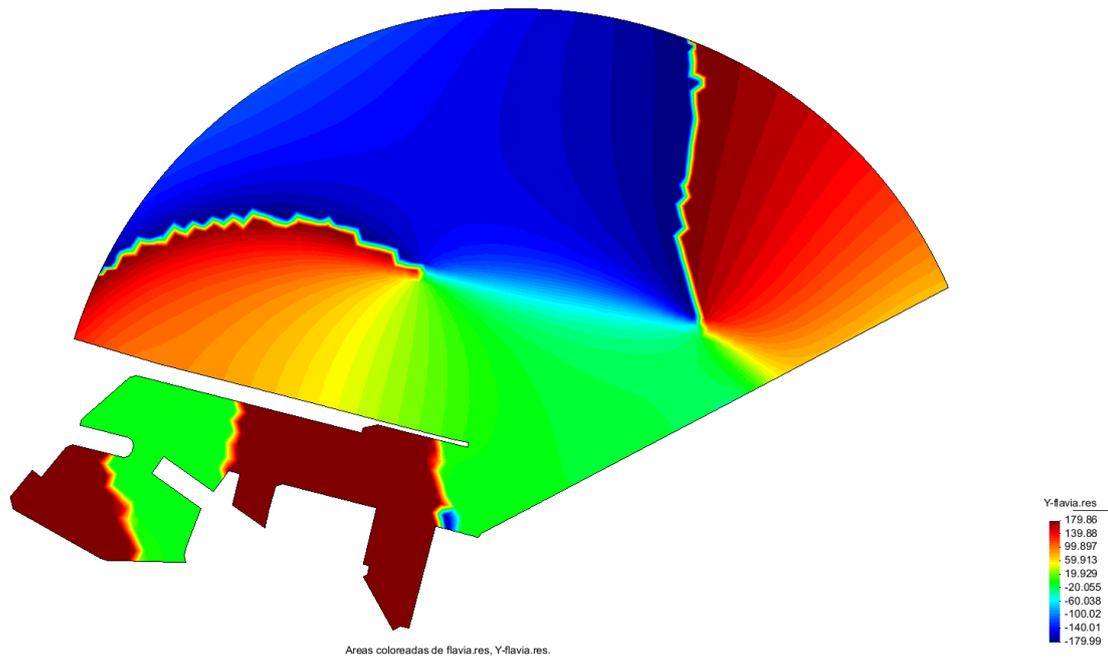


Figura A.II 62. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

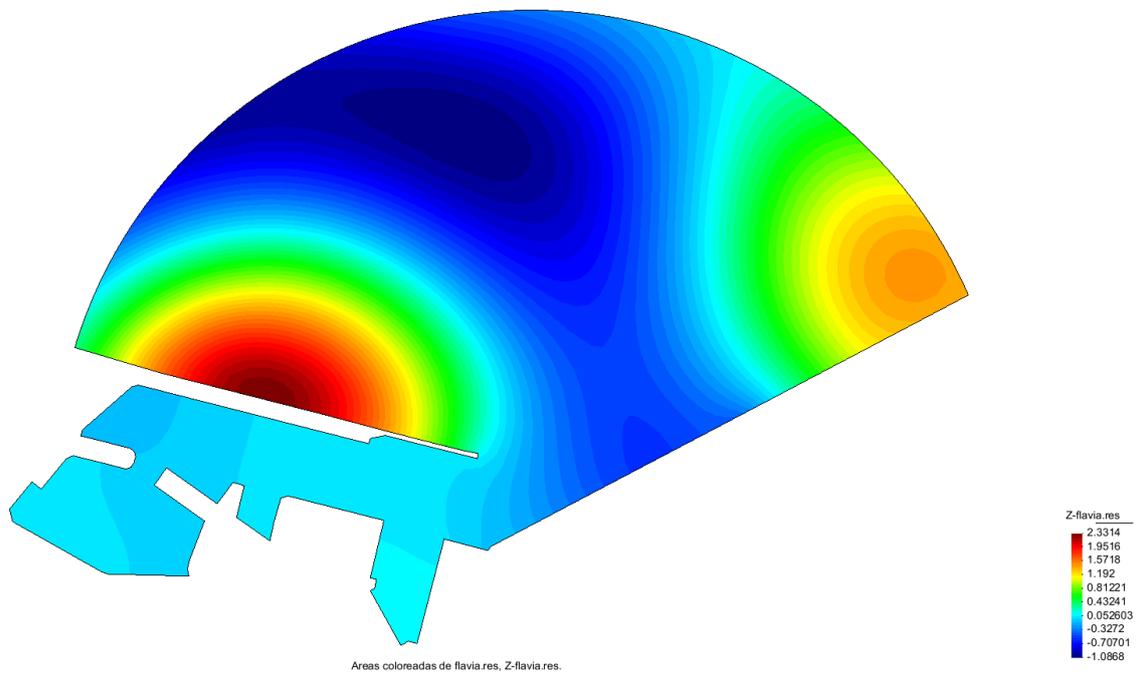


Figura A.II 63. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 240

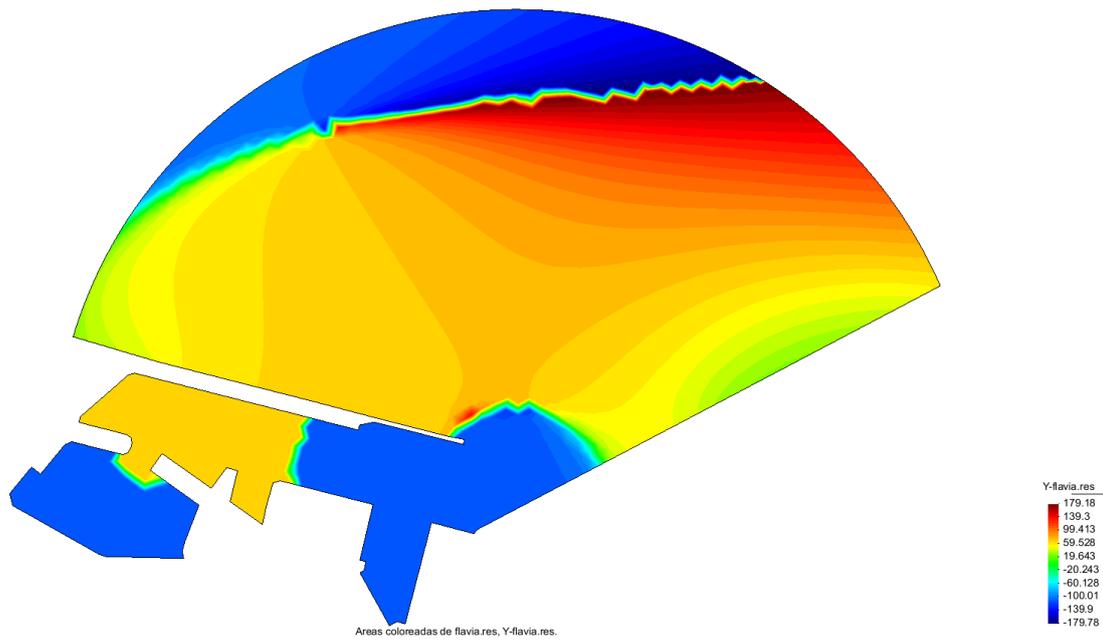


Figura A.II 64. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

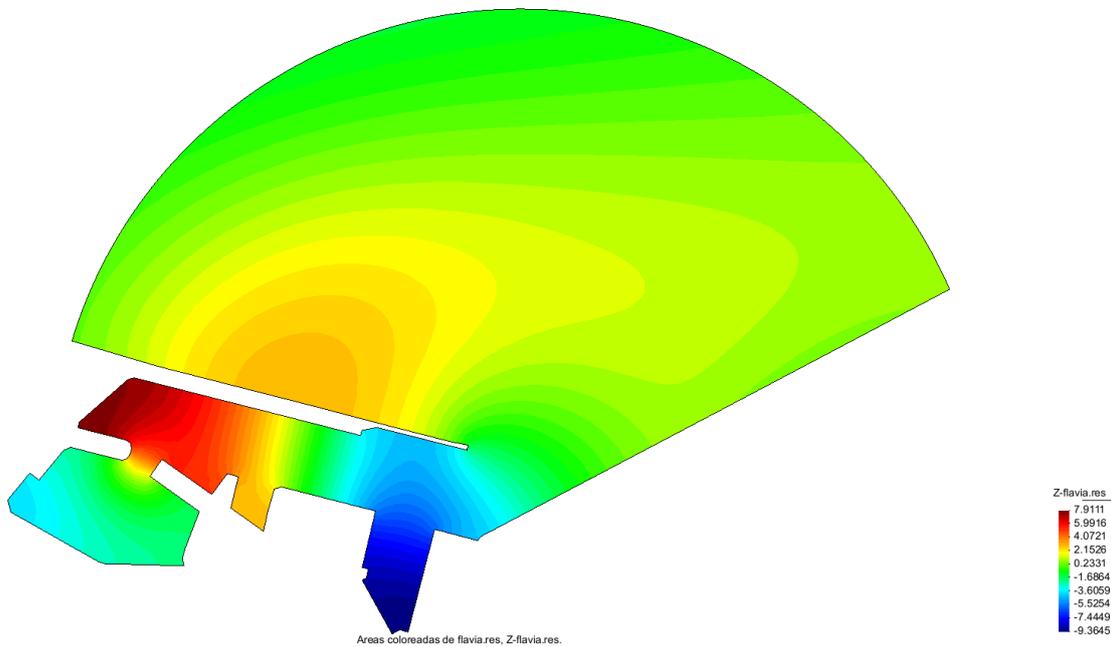


Figura A.II 65. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 300

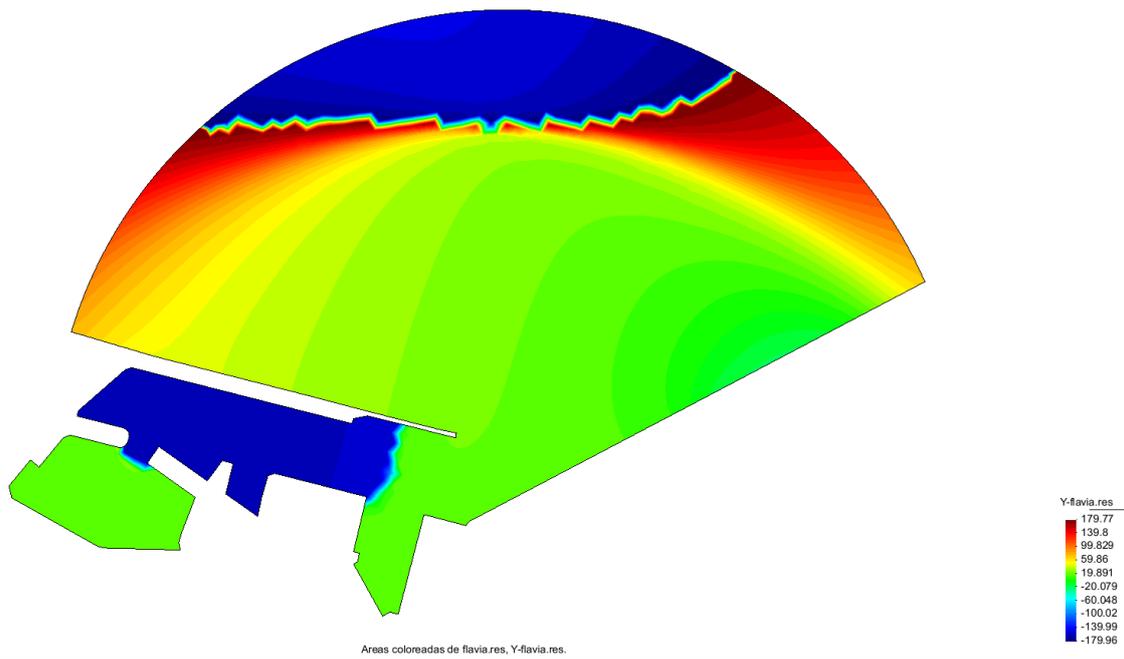


Figura A.II 66. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

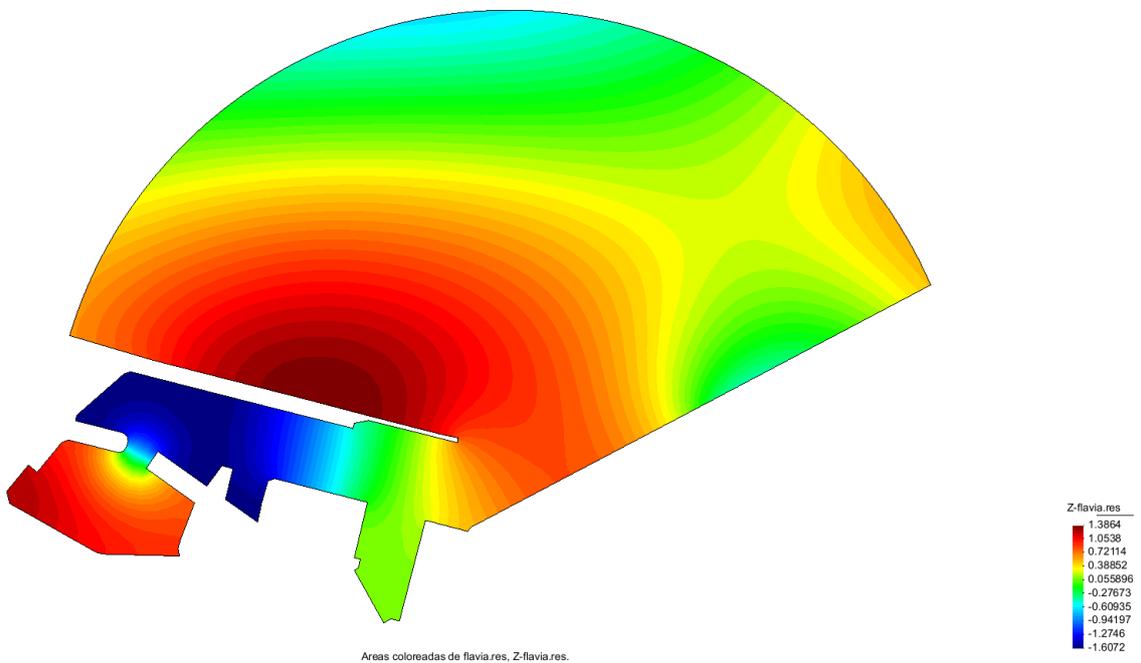


Figura A.II 67. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 5.721

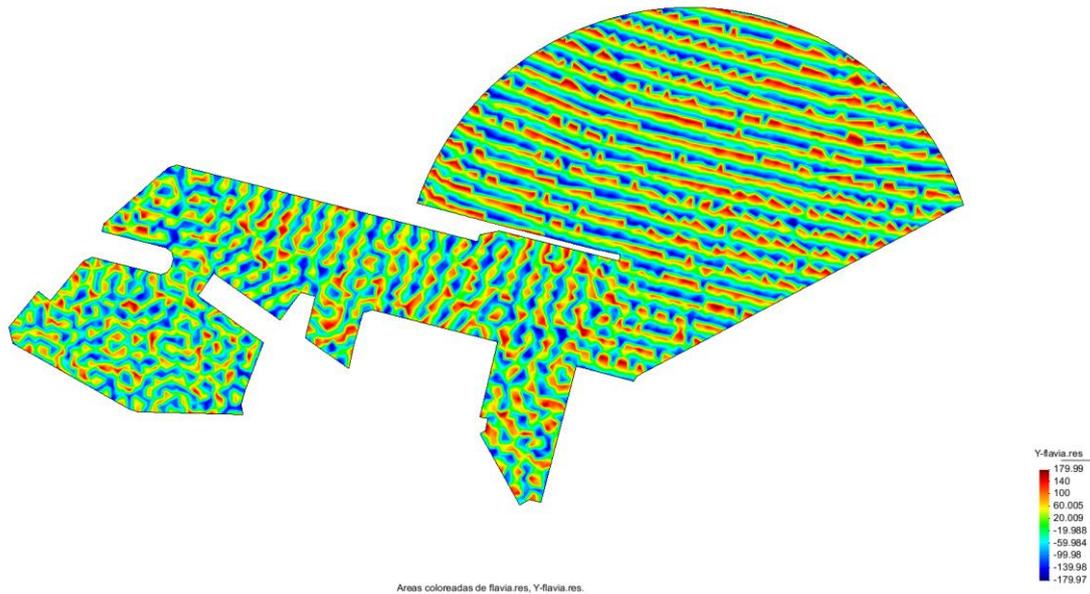


Figura A.II 68. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 5.721 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

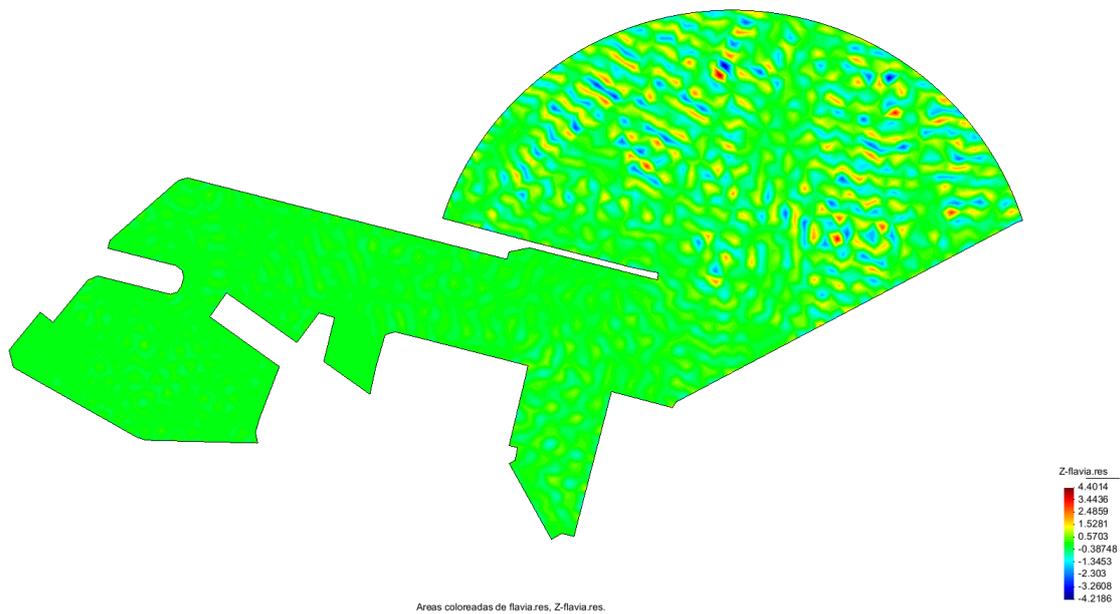


Figura A.II 69. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 5.721seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 8.234

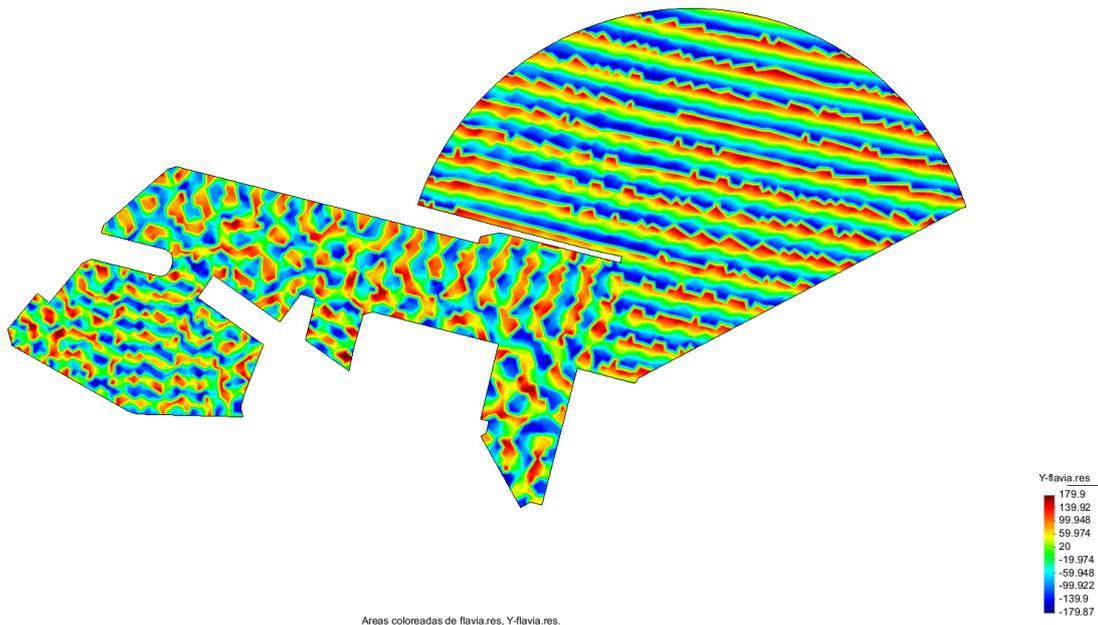


Figura A.II 70. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

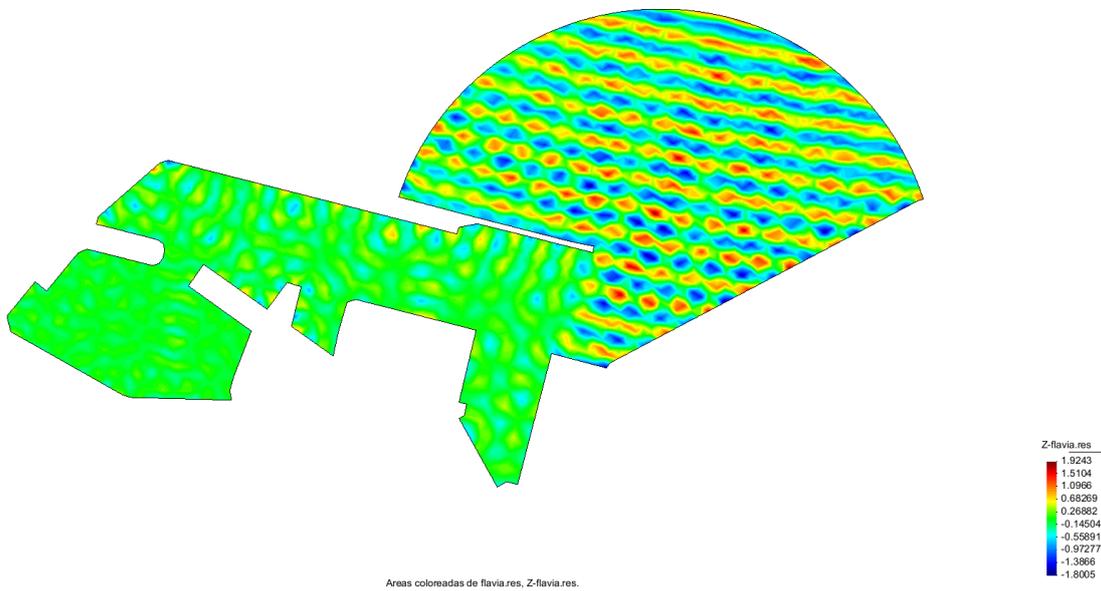


Figura A.II 71. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 9.968

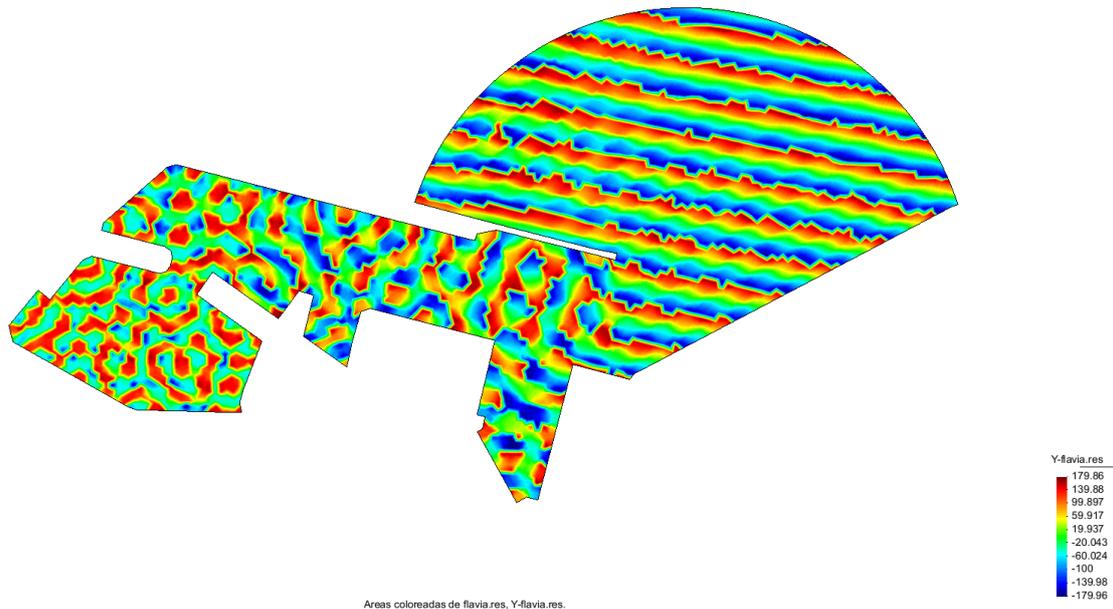


Figura A.II 72. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

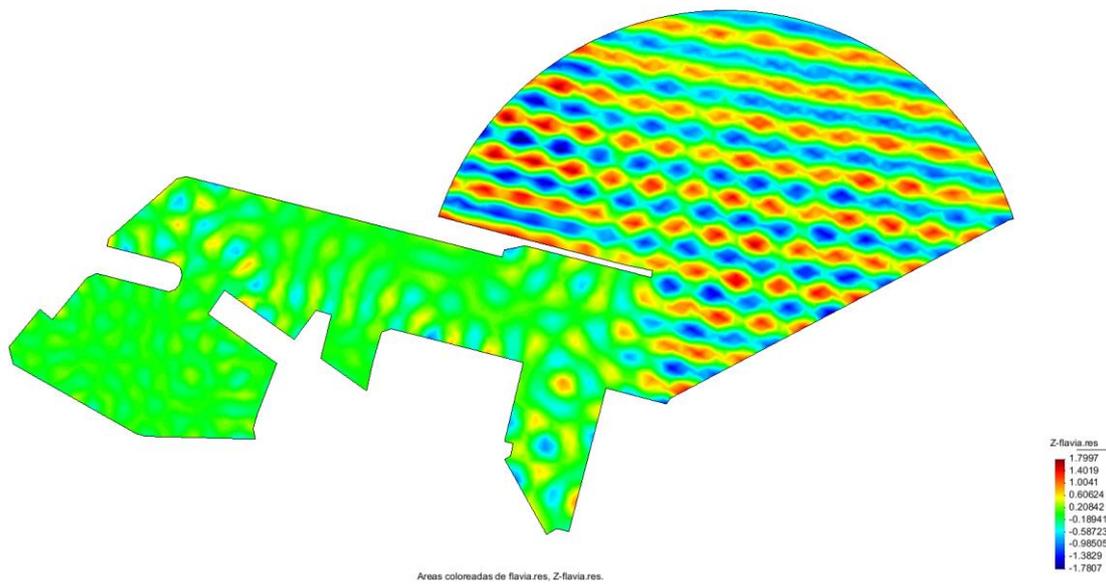


Figura A.II 73. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 30

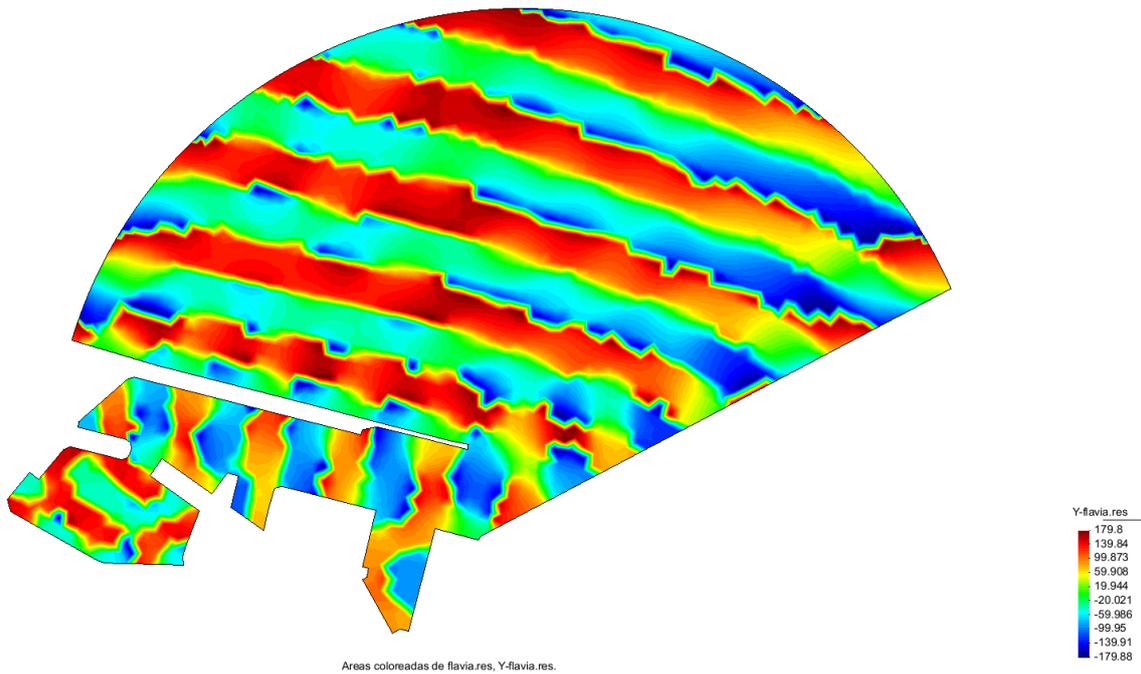


Figura A.II 74. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 30seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

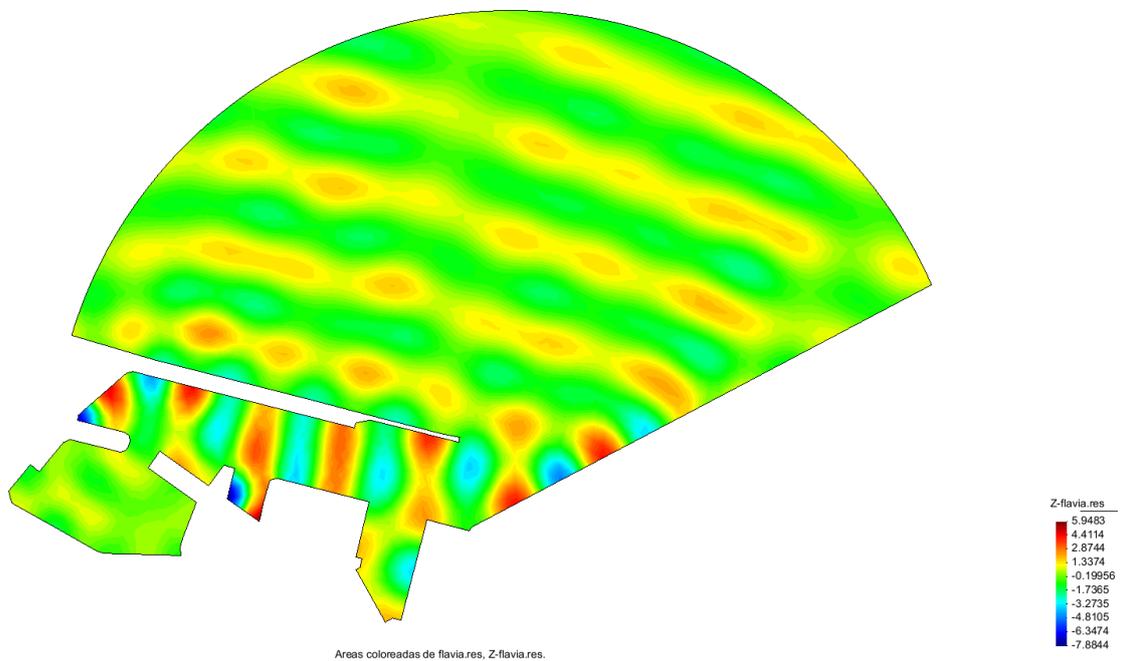


Figura A.II 75. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 60

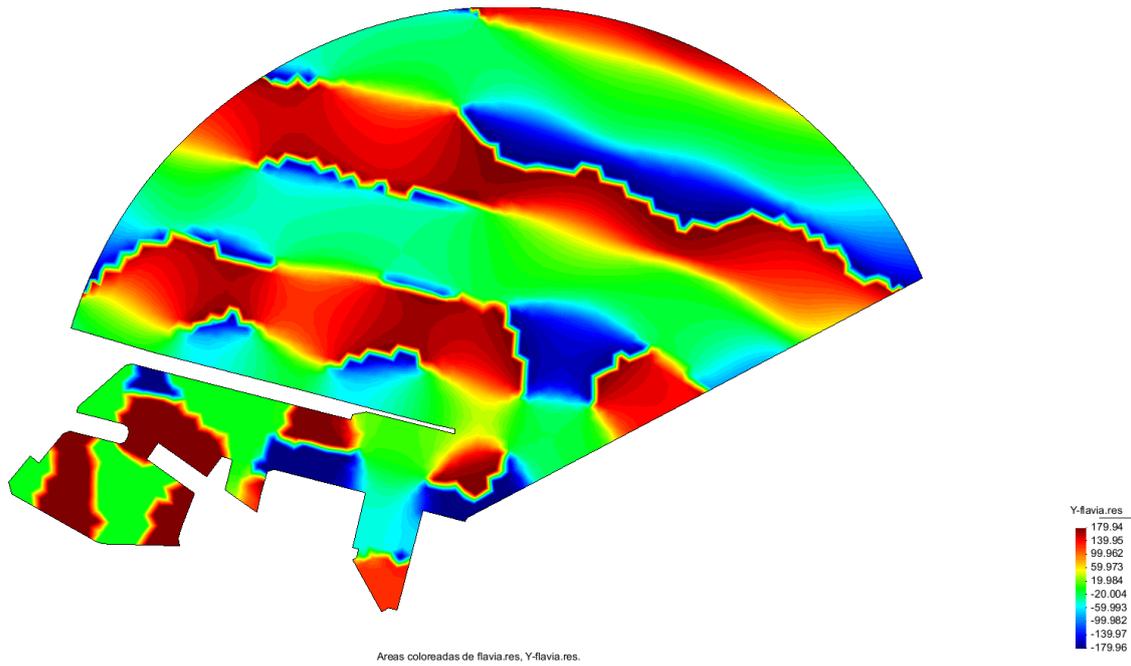


Figura A.II 76. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

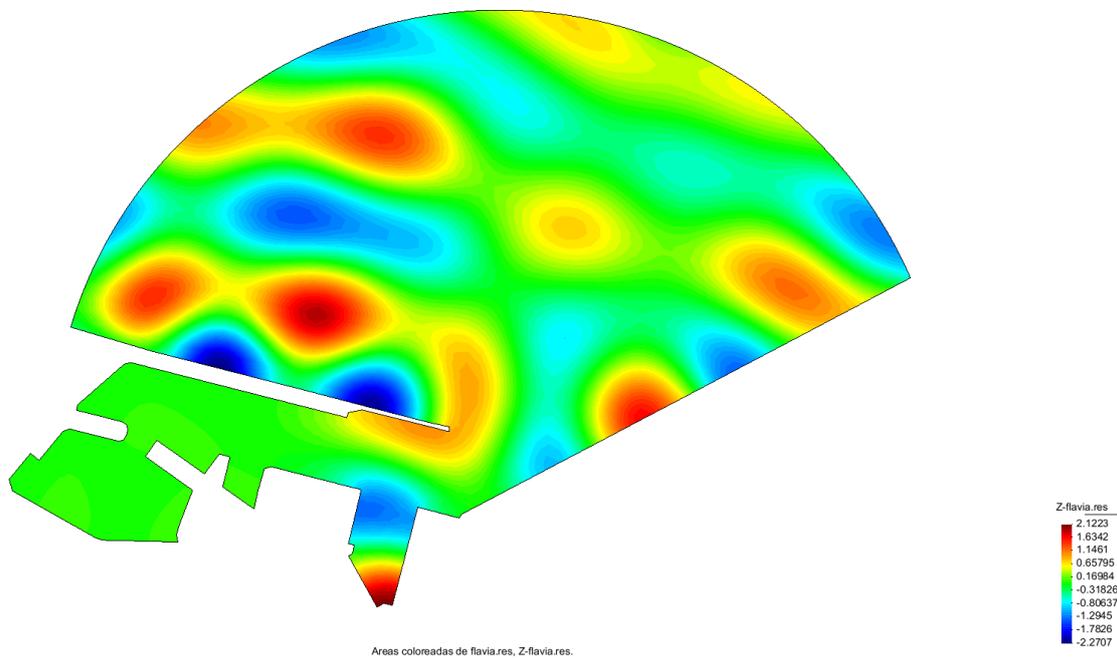


Figura A.II 77. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 120

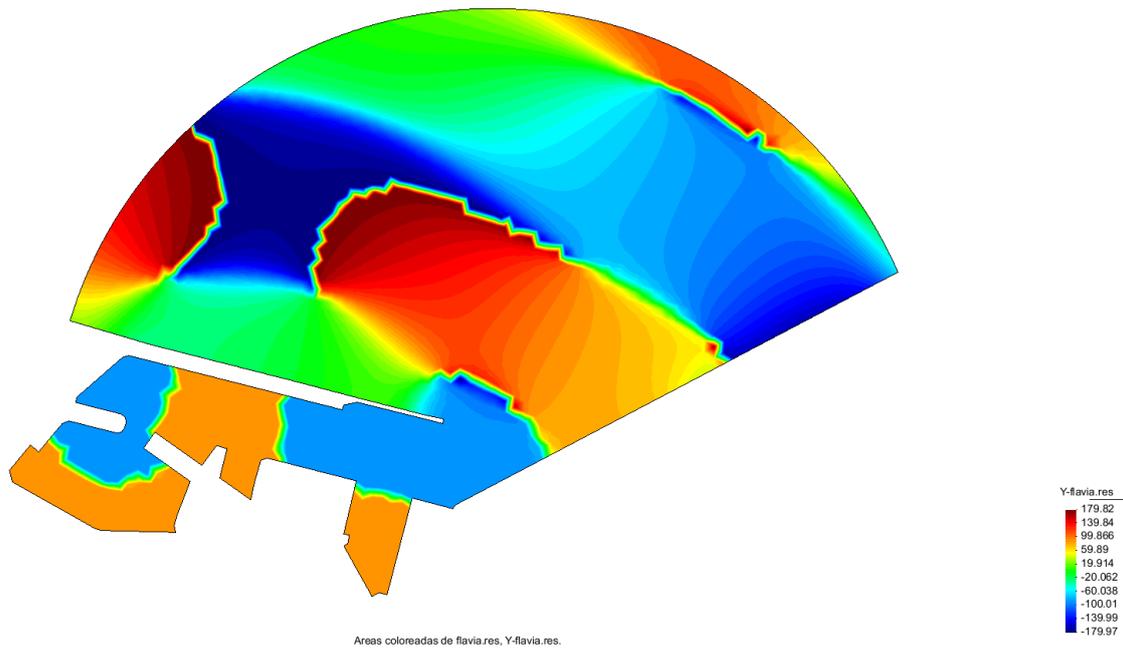


Figura A.II 78. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

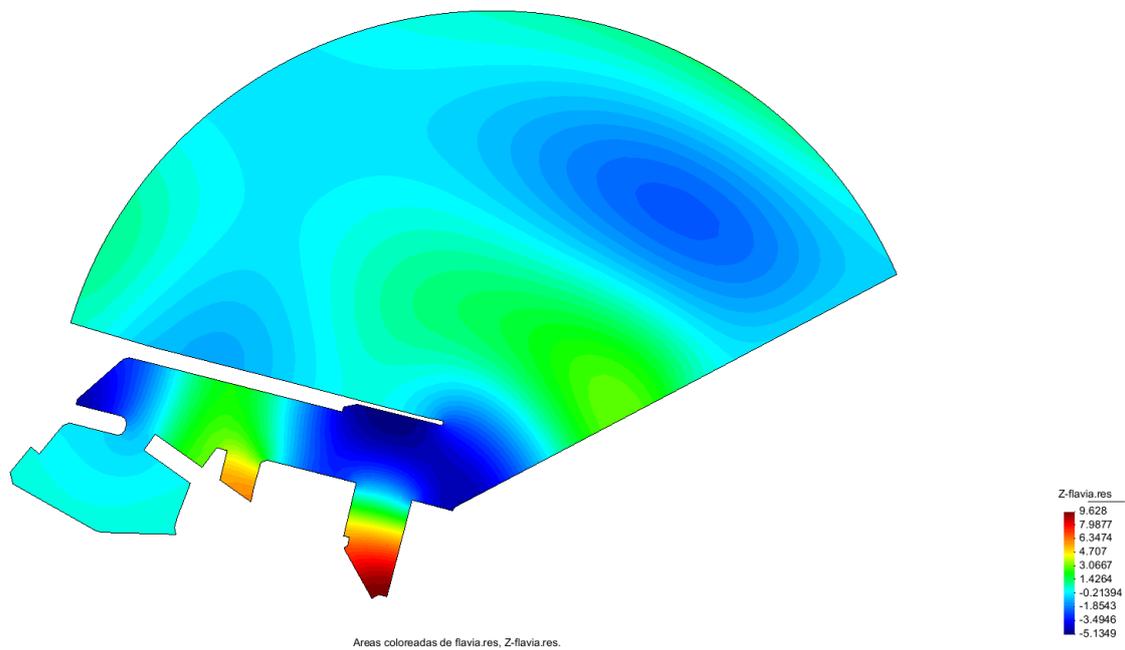


Figura A.II 79. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 120seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 180

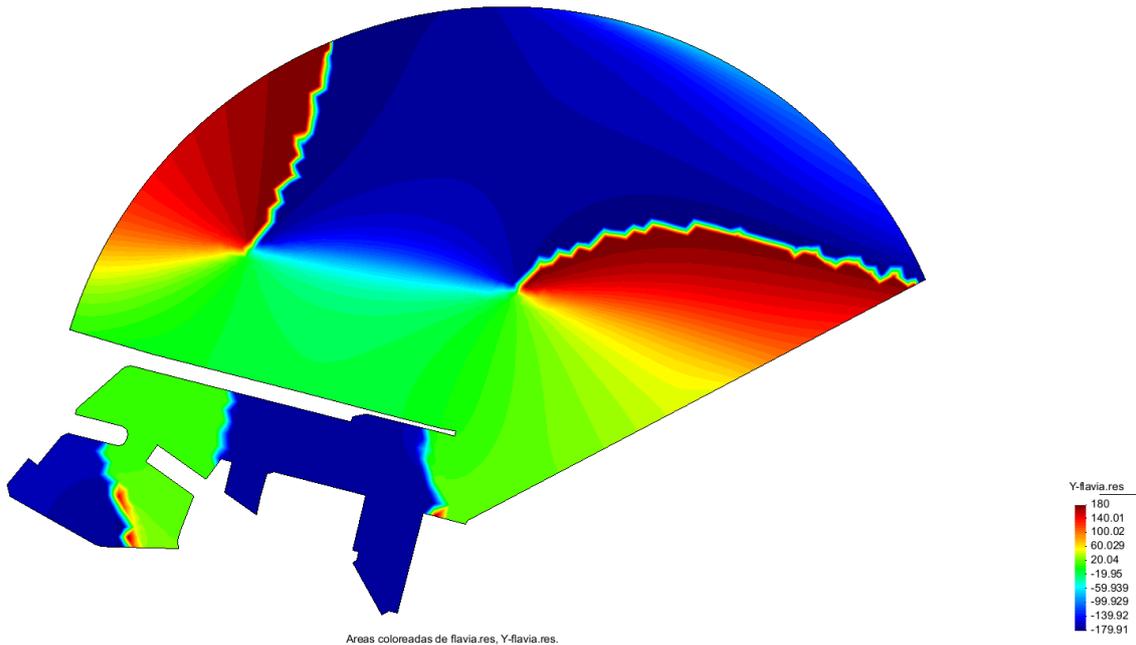


Figura A.II 80. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 180seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

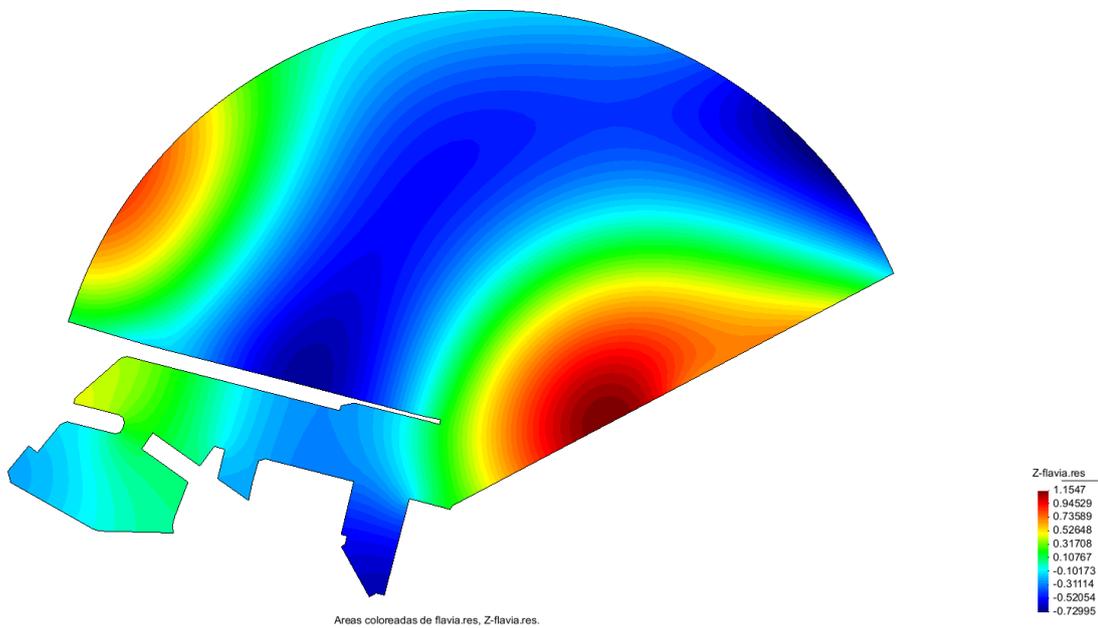


Figura A.II 81. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 240

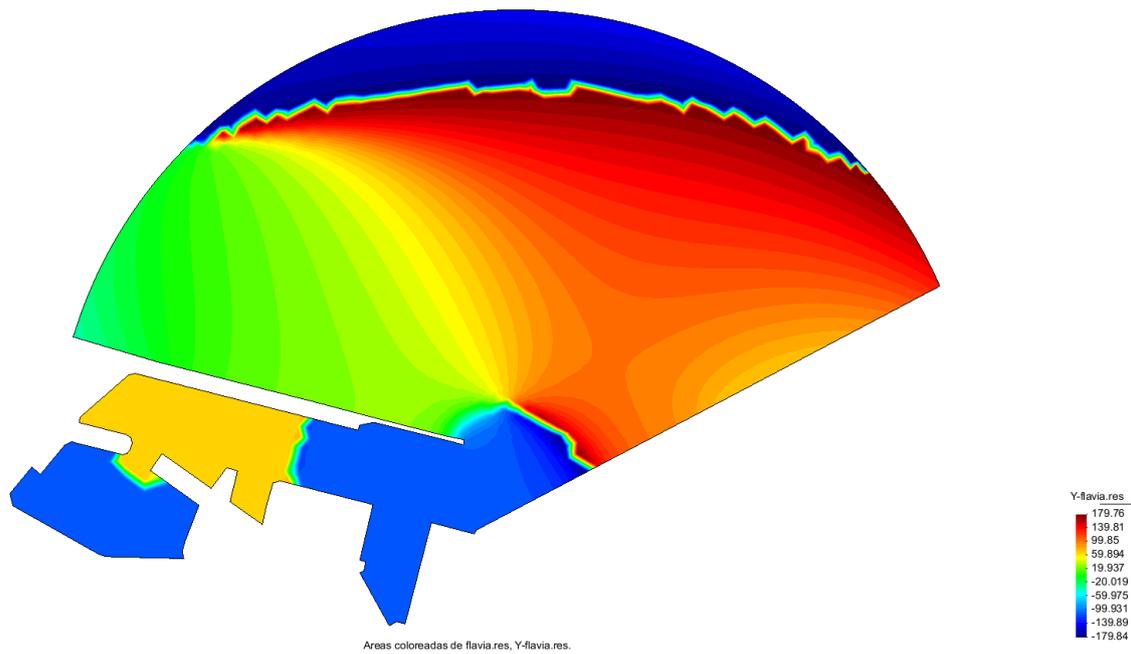


Figura A.II 82. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

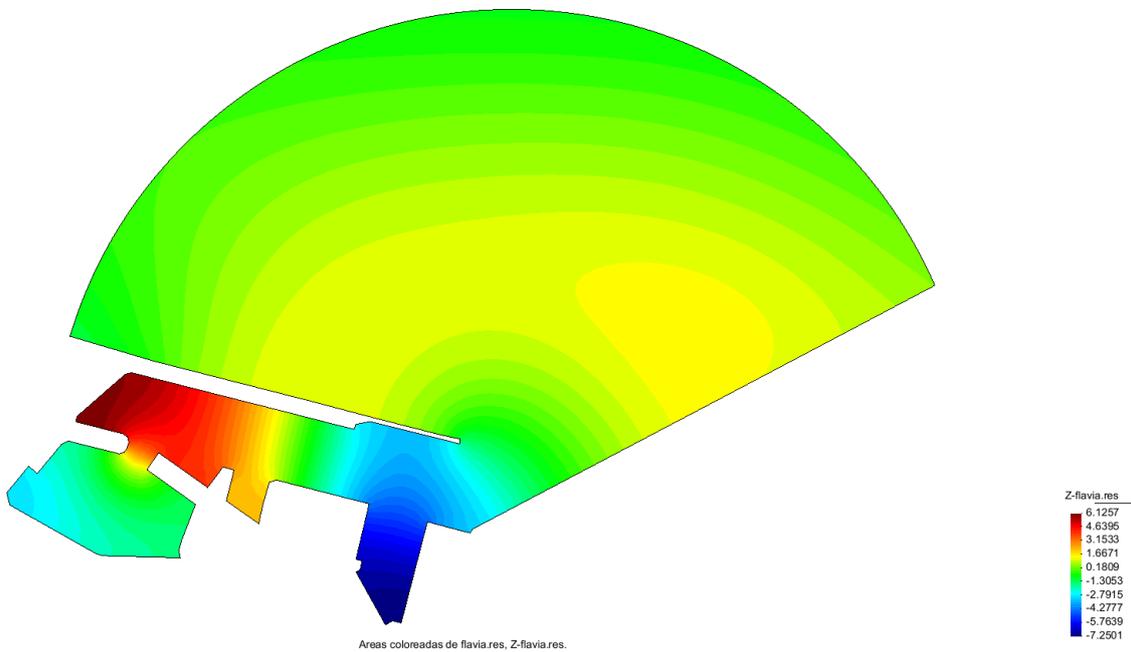


Figura A.II 83. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 300

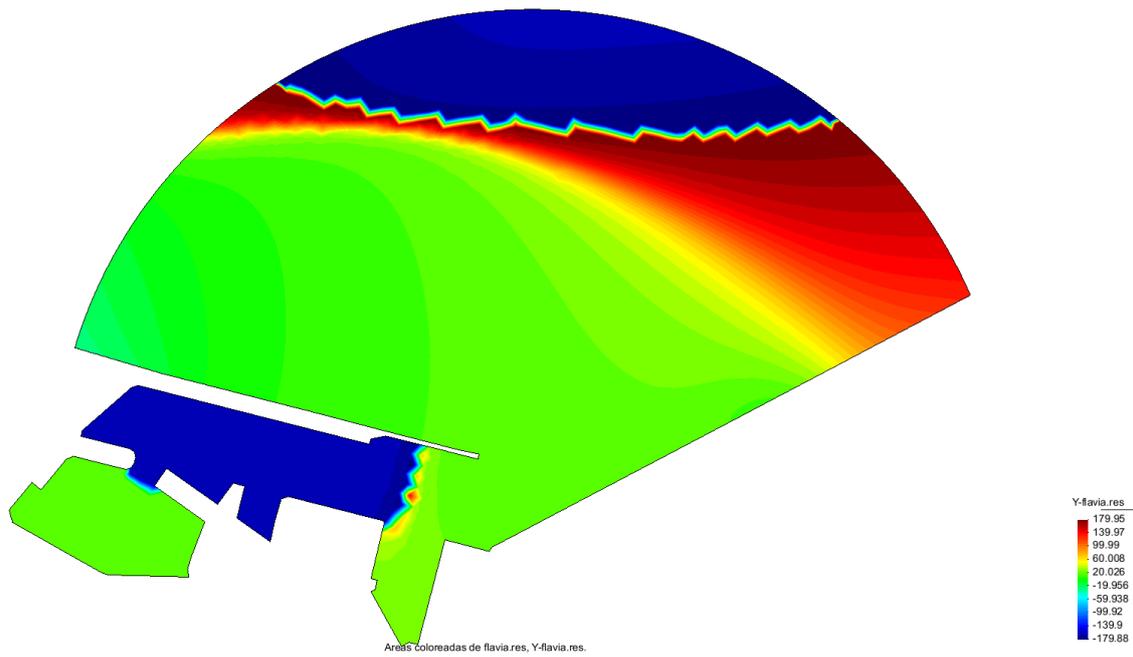


Figura A.II 84. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

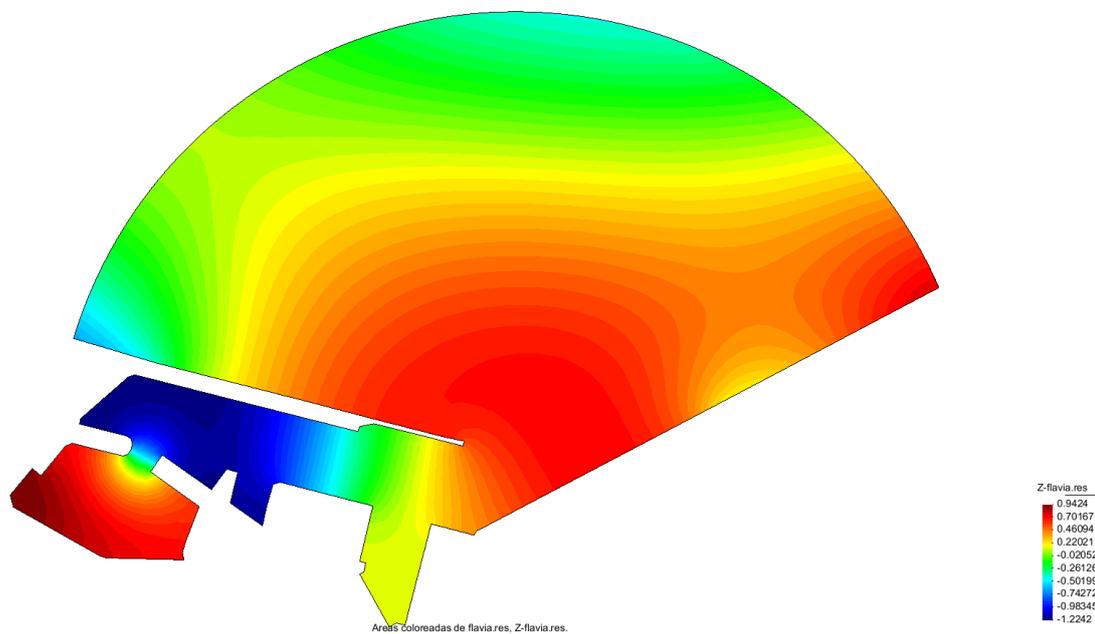


Figura A.II 85. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 5.08

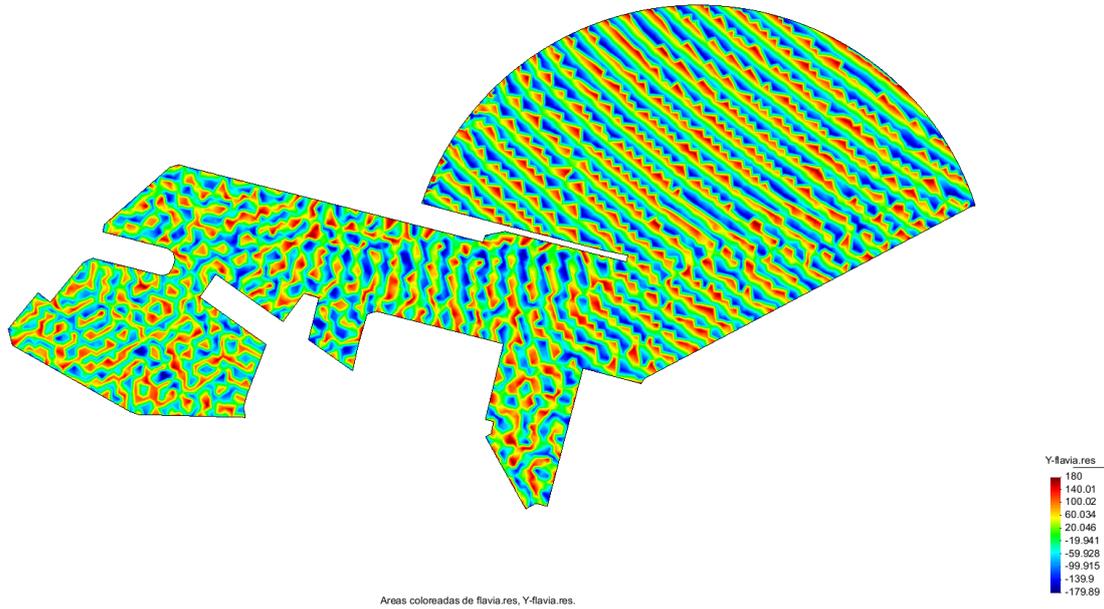


Figura A.II 86. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 5.08 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

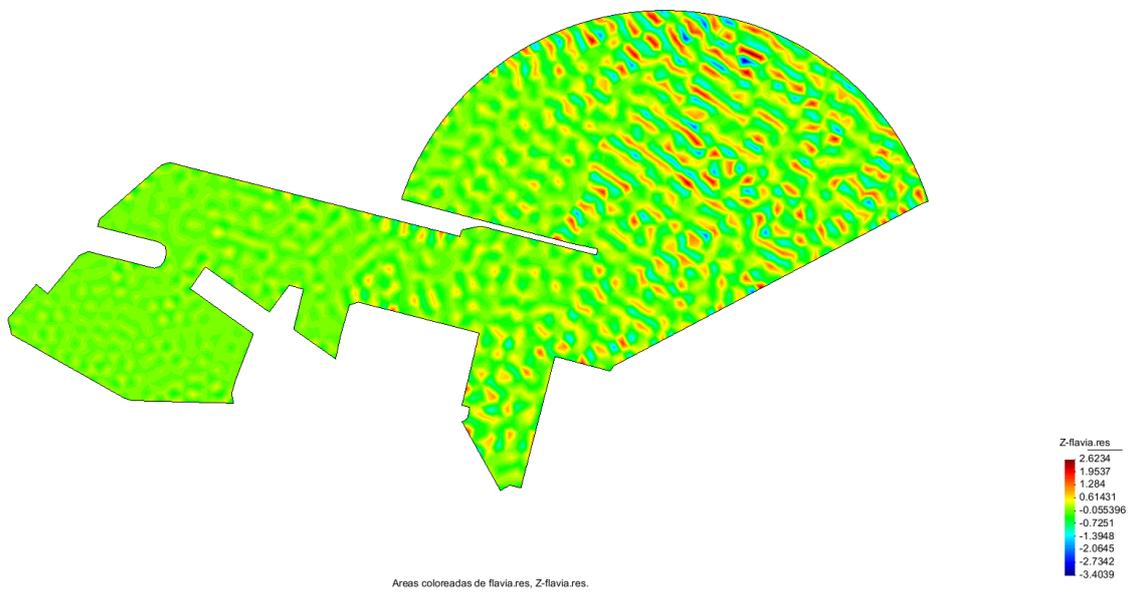


Figura A.II 87. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 5.08 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 7.941

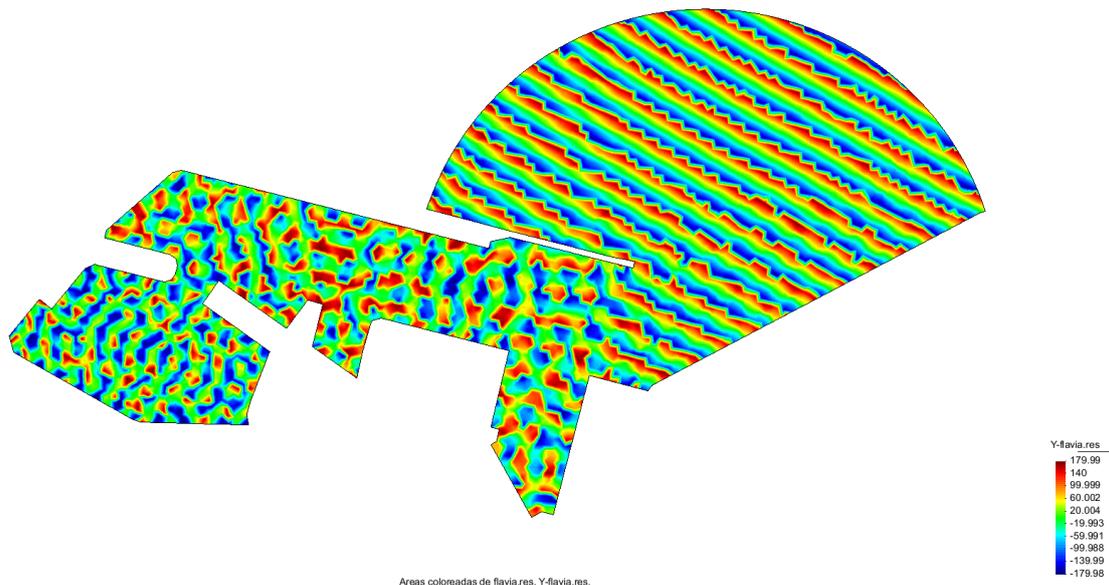


Figura A.II 88. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

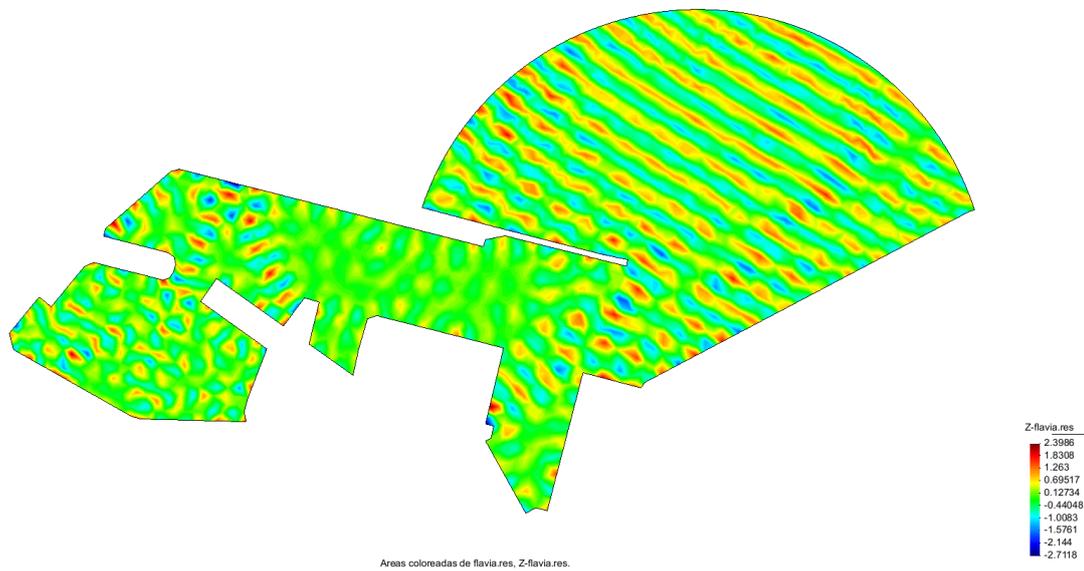


Figura A.II 89. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 9.929

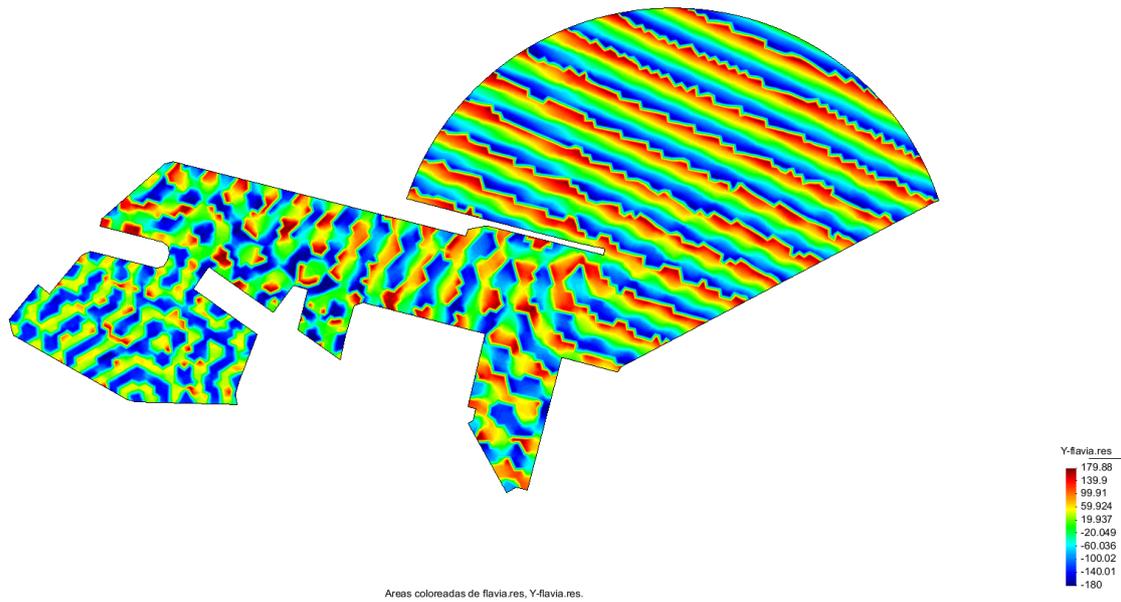


Figura A.II 90. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

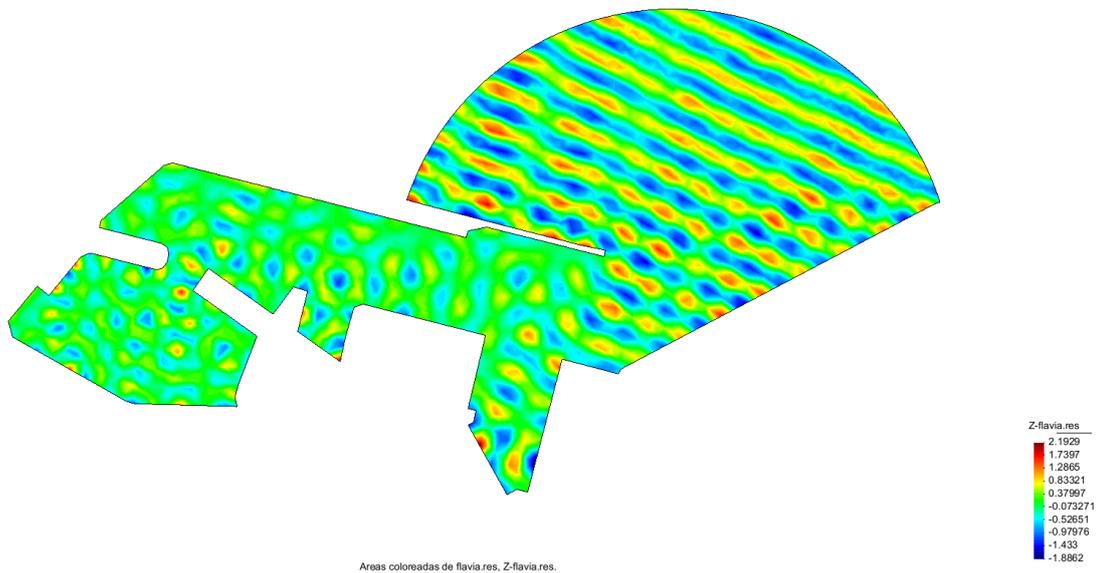


Figura A.II 91. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 30

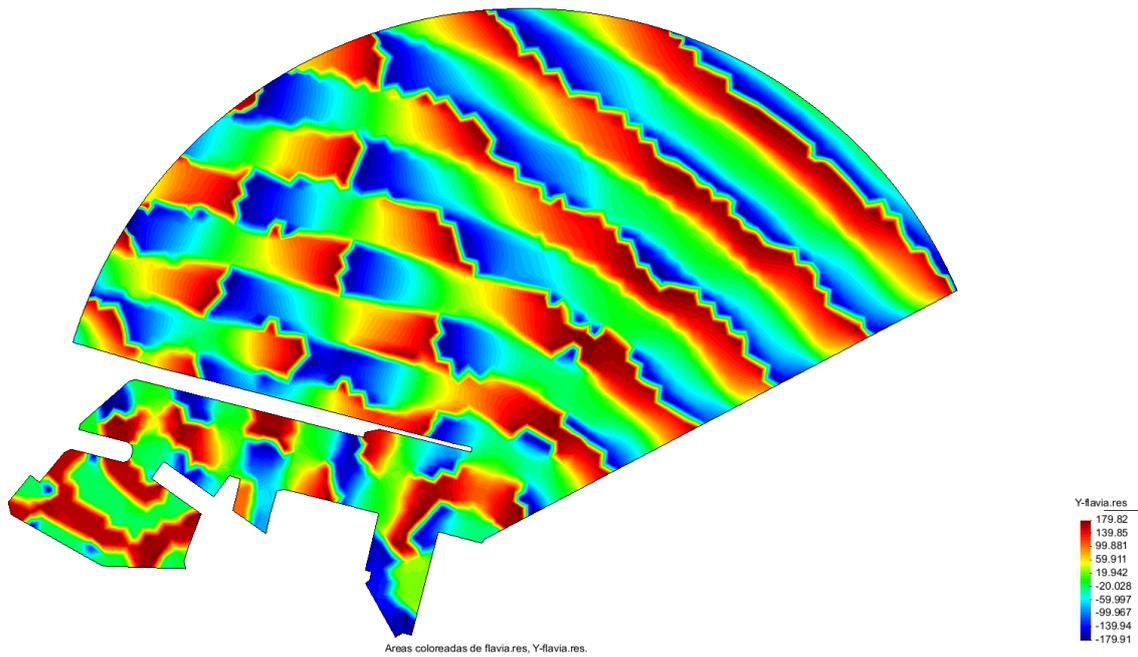


Figura A.II 92. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

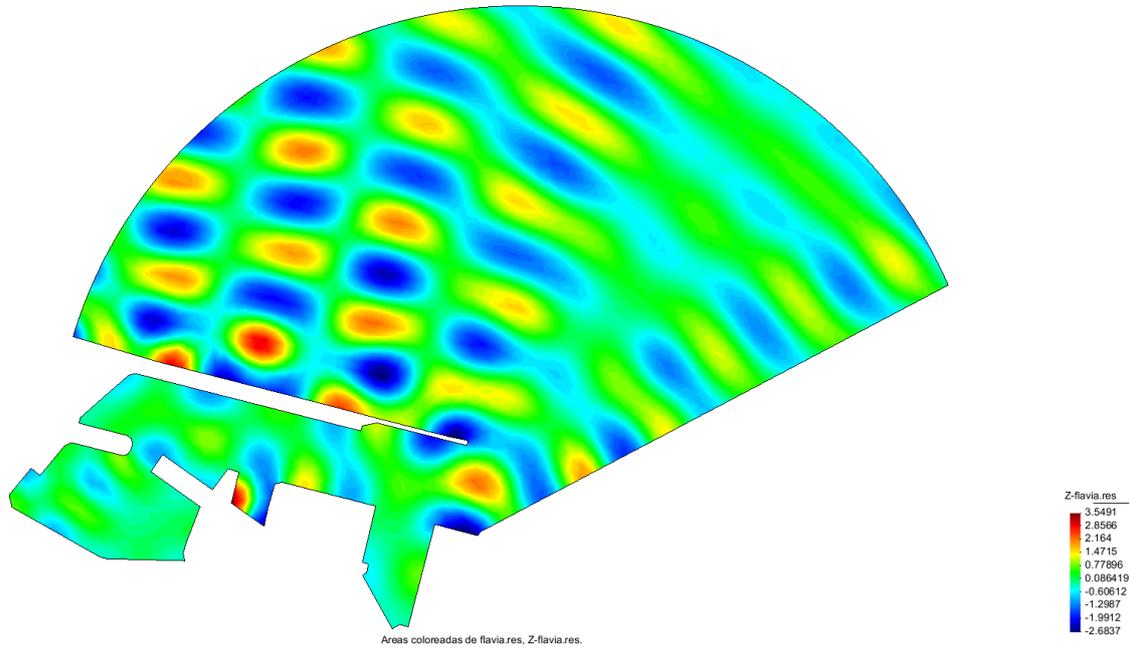


Figura A.II 93. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 60

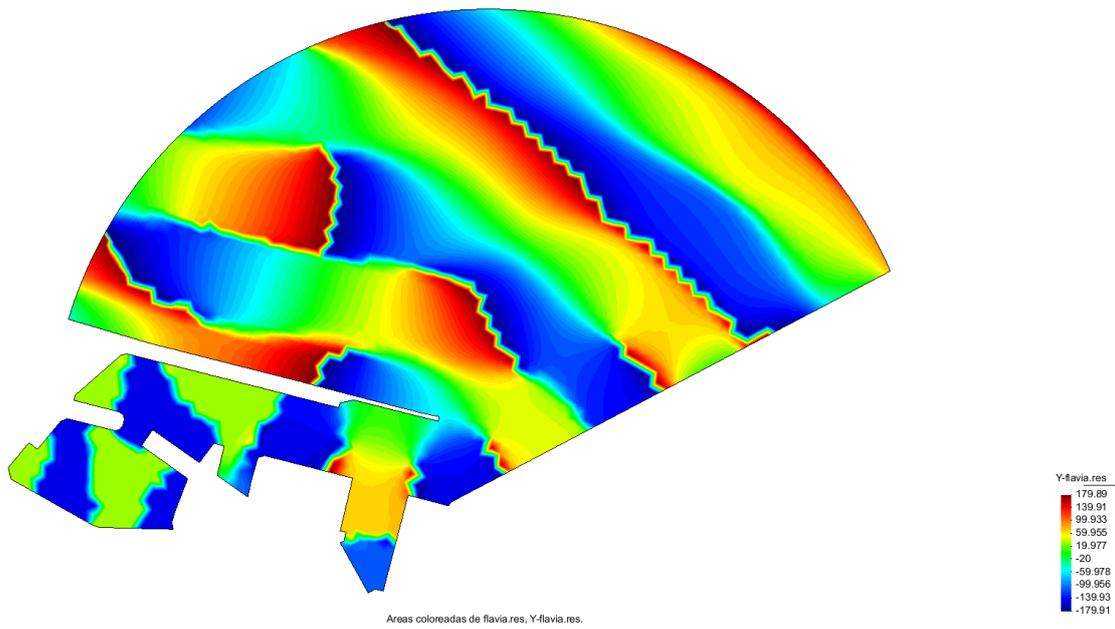


Figura A.II 94. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

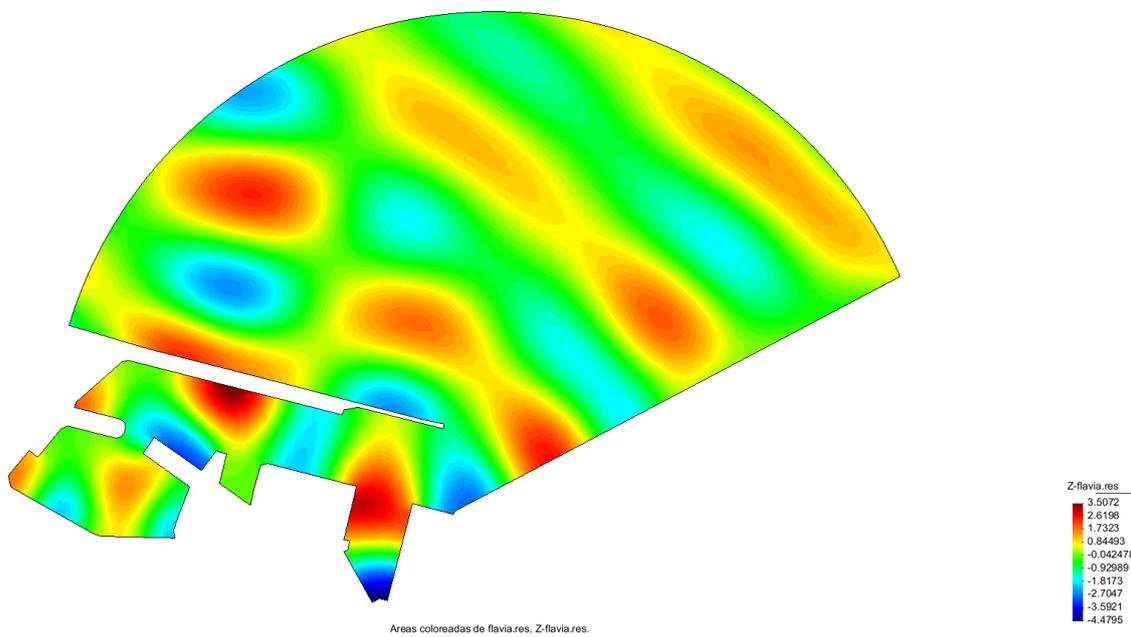


Figura A.II 95. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 120

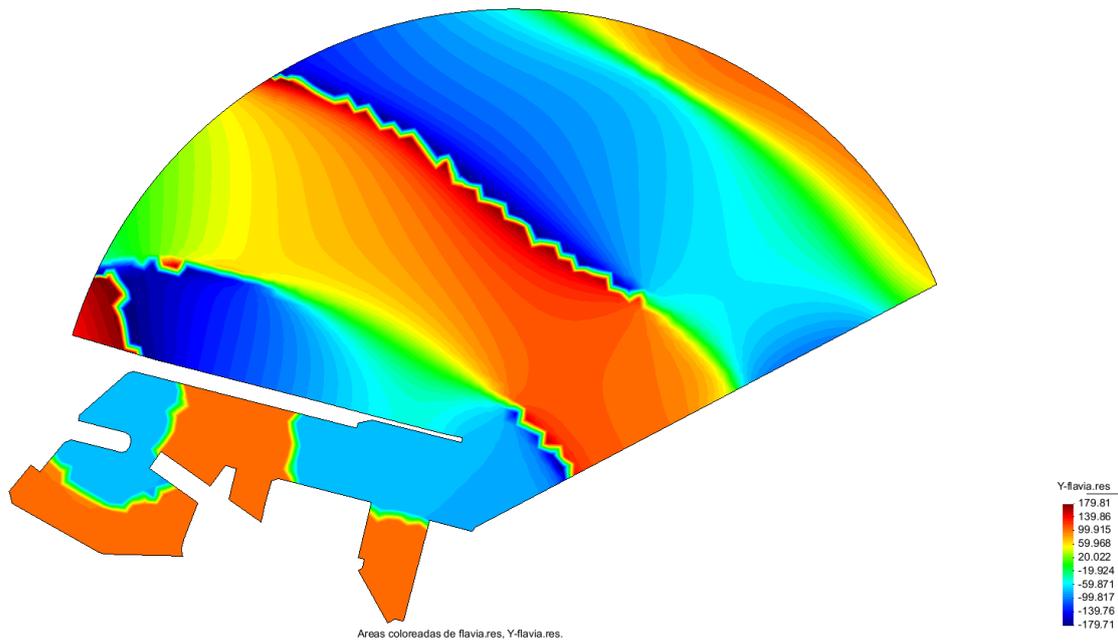


Figura A.II 96. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

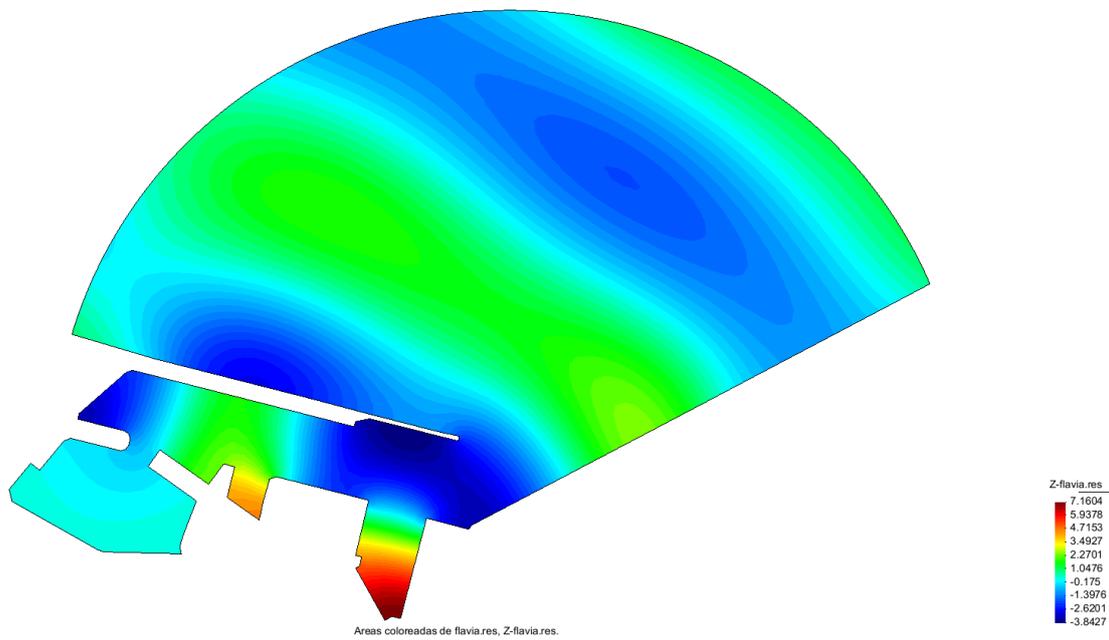


Figura A.II 97. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 180

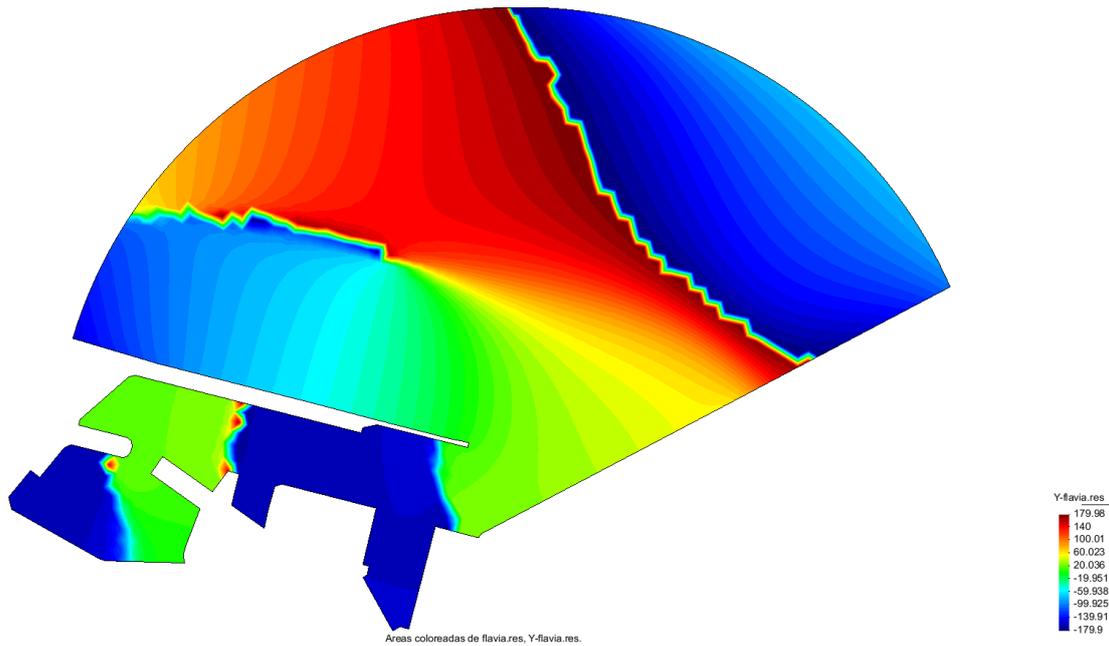


Figura A.II 98. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

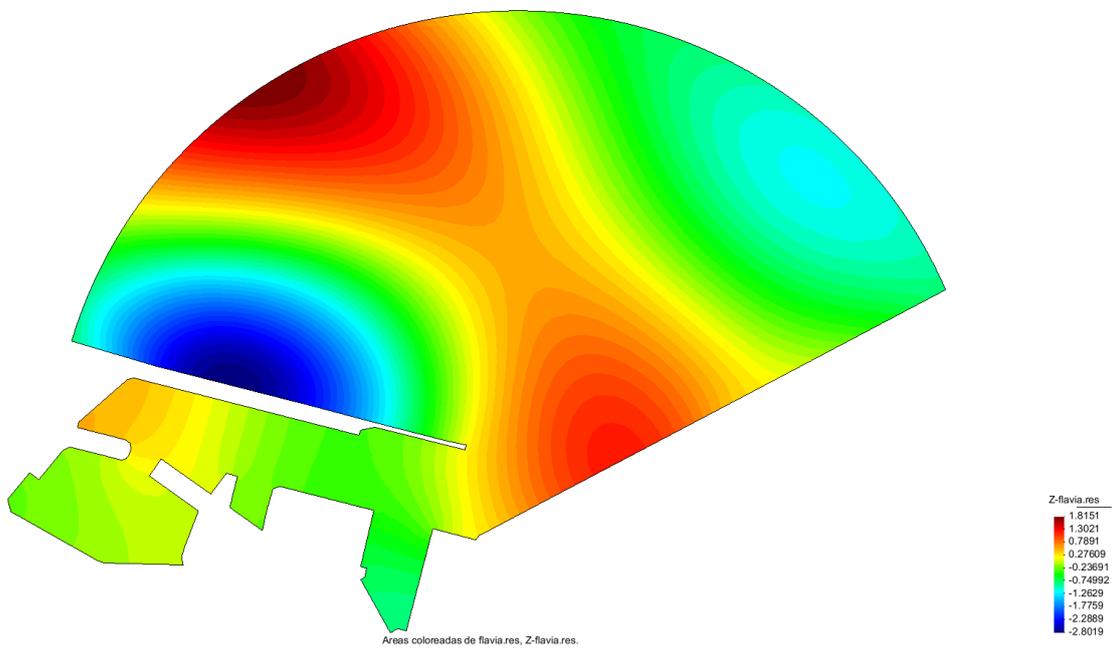


Figura A.II 99. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 240

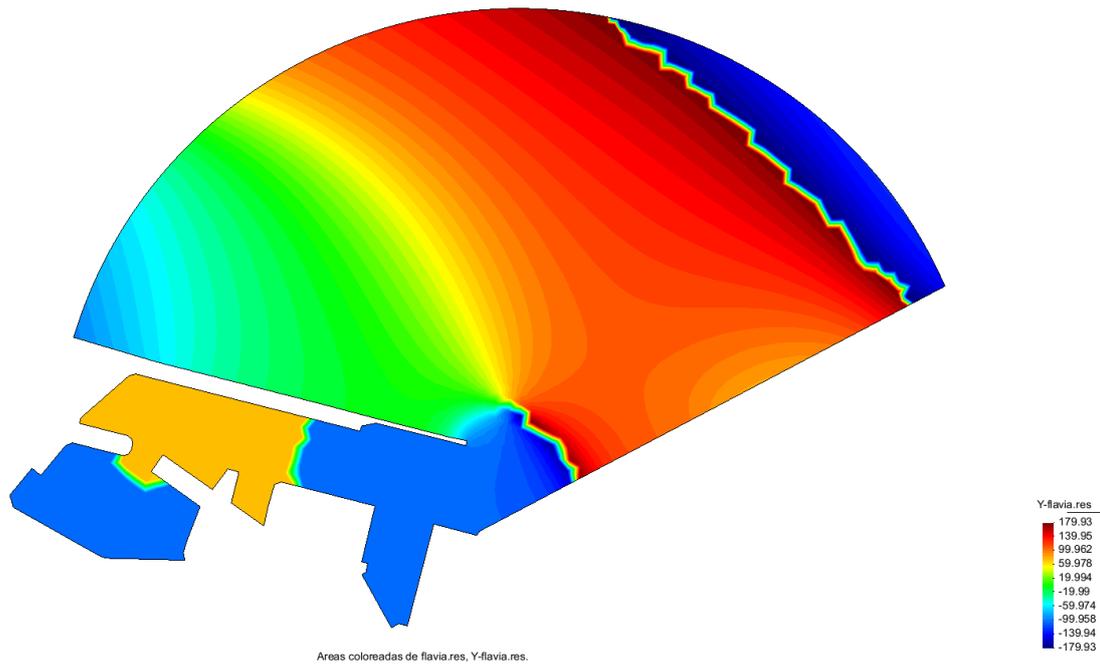


Figura A.II 100. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

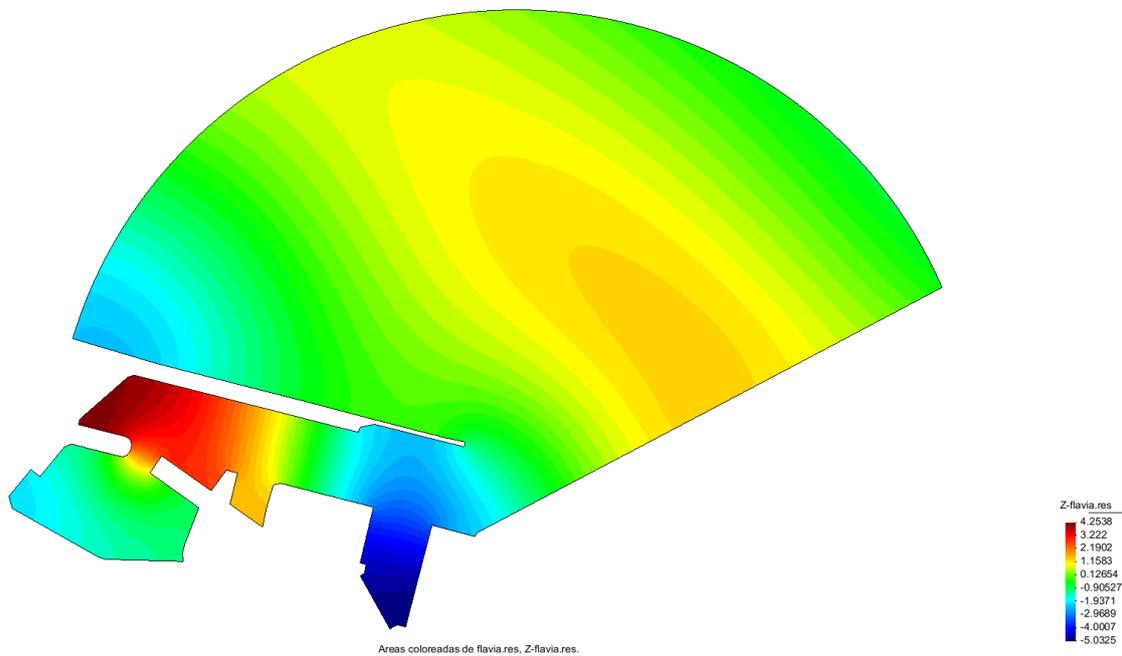


Figura A.II 101. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 300

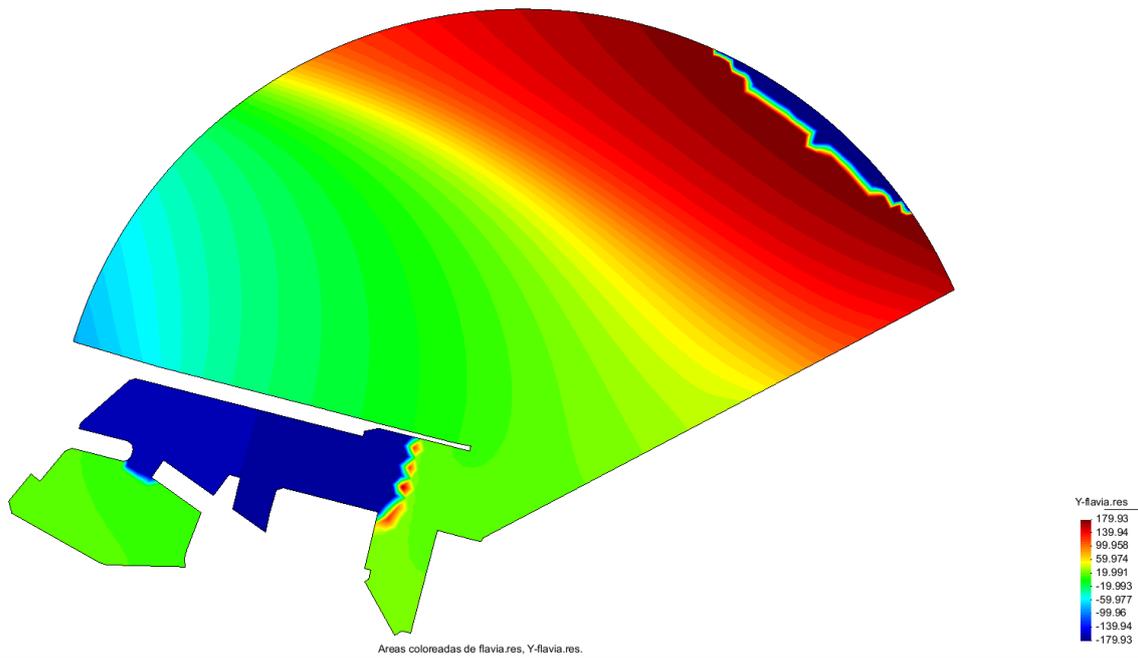


Figura A.II 102. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

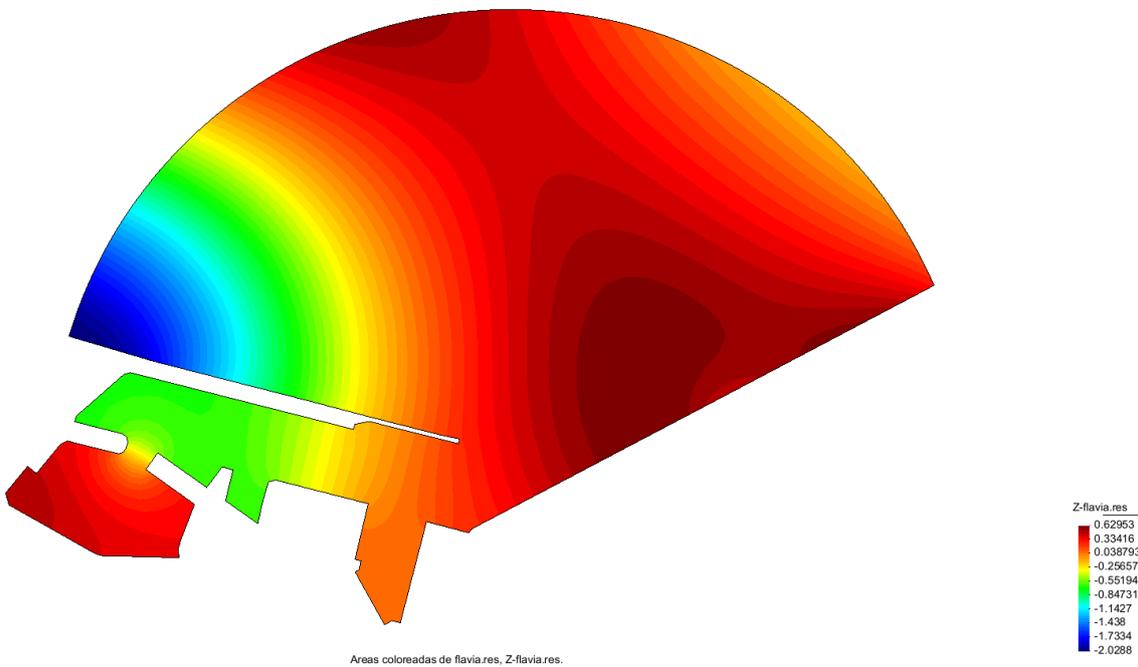


Figura A.II 103. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 4.117

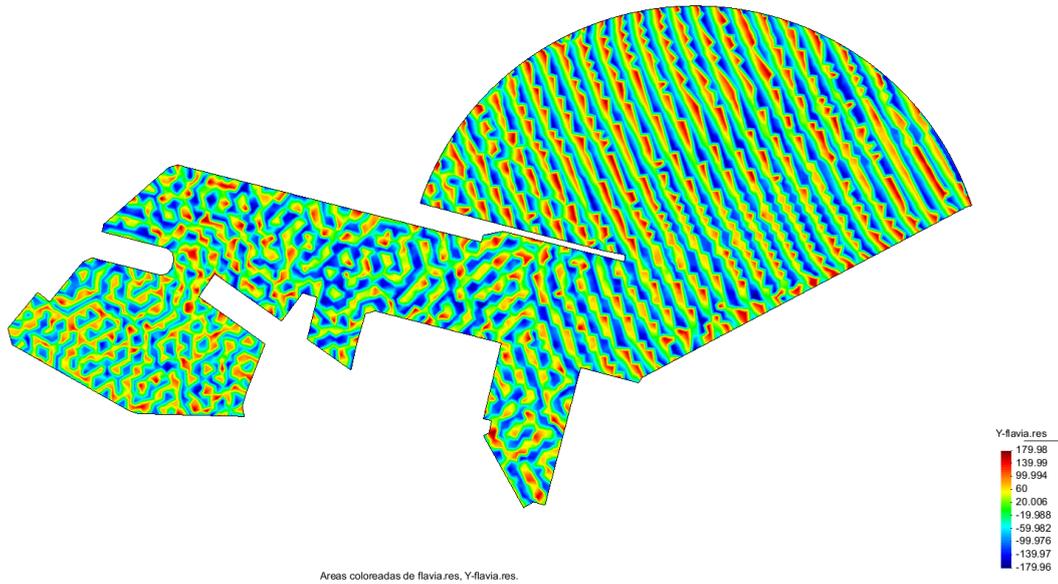


Figura A.II 104. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

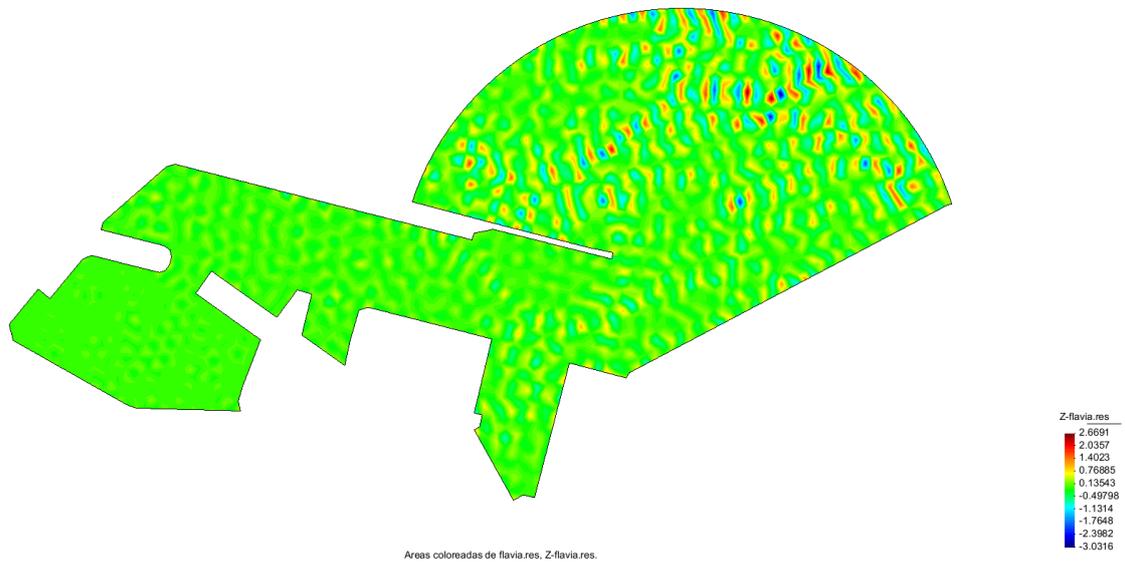


Figura A.II 105. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 6.538

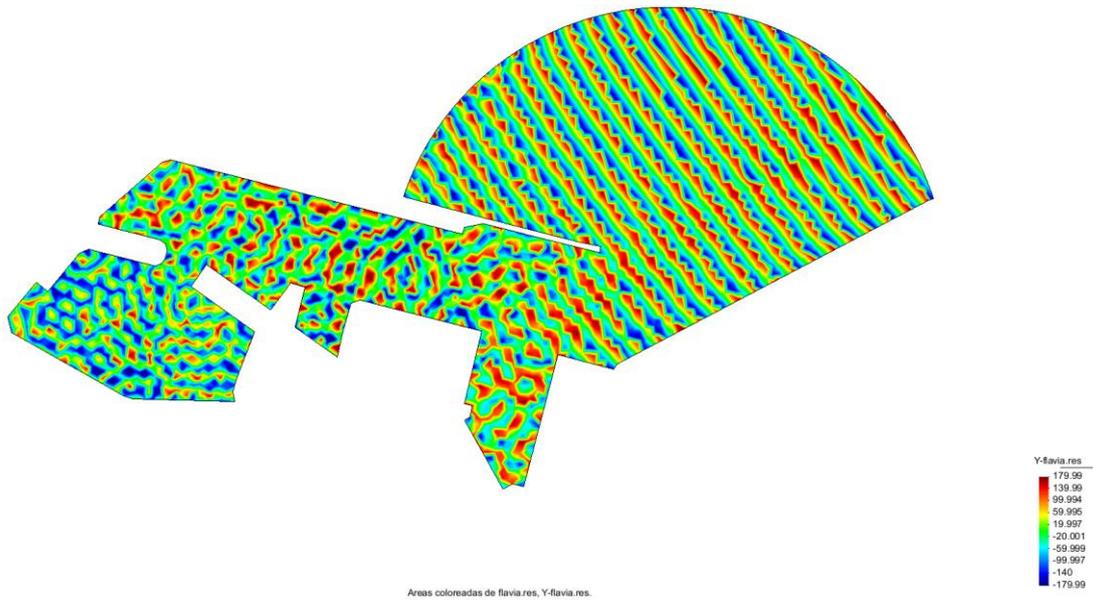


Figura A.II 106. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

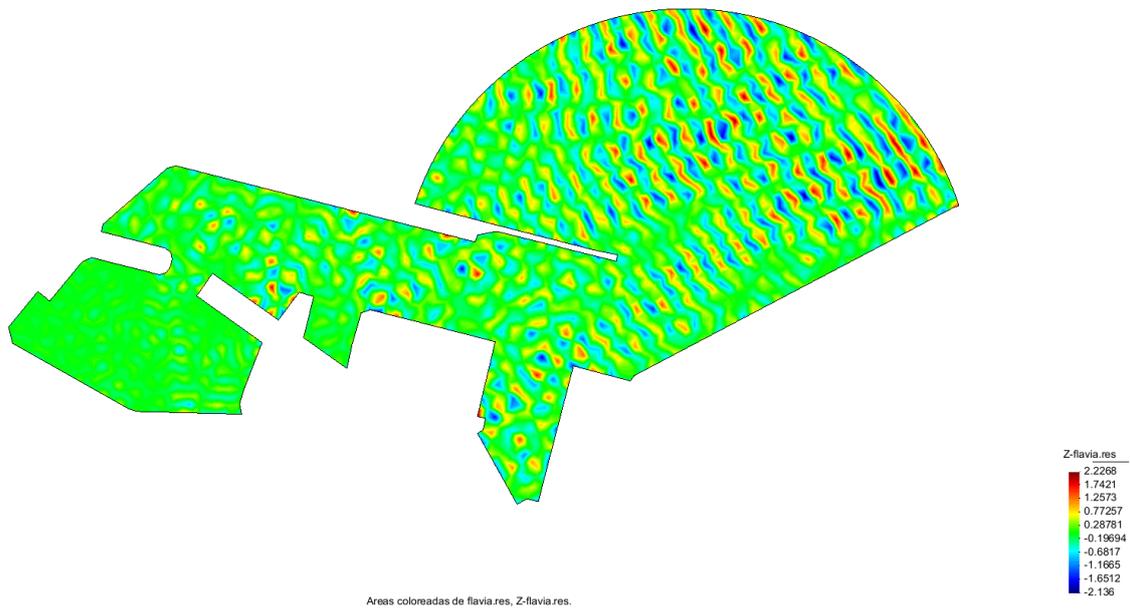


Figura A.II 107. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 8.143

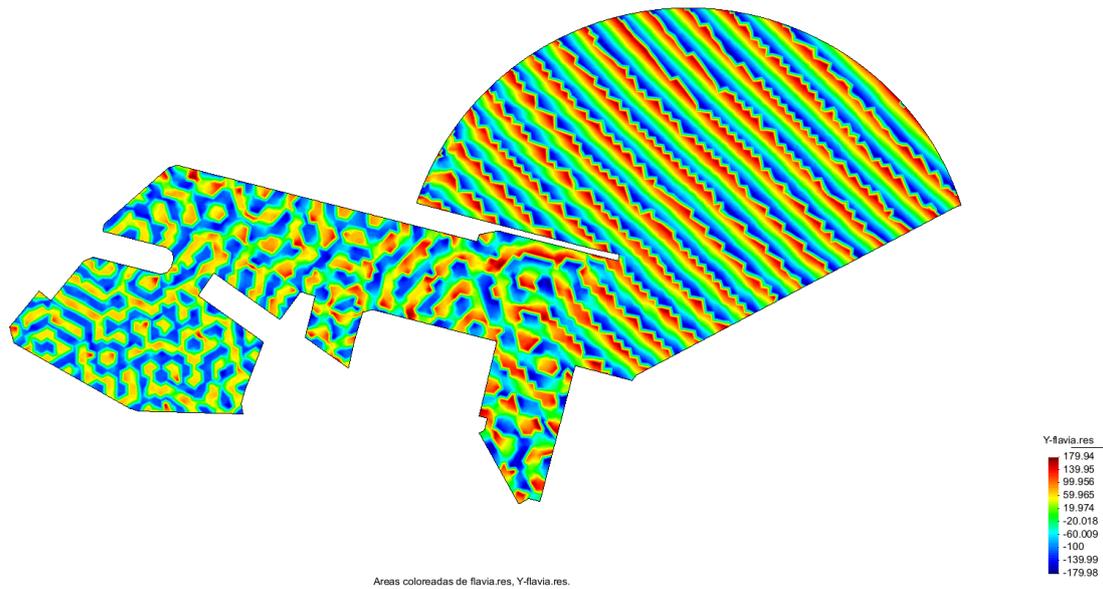


Figura A.II 108. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

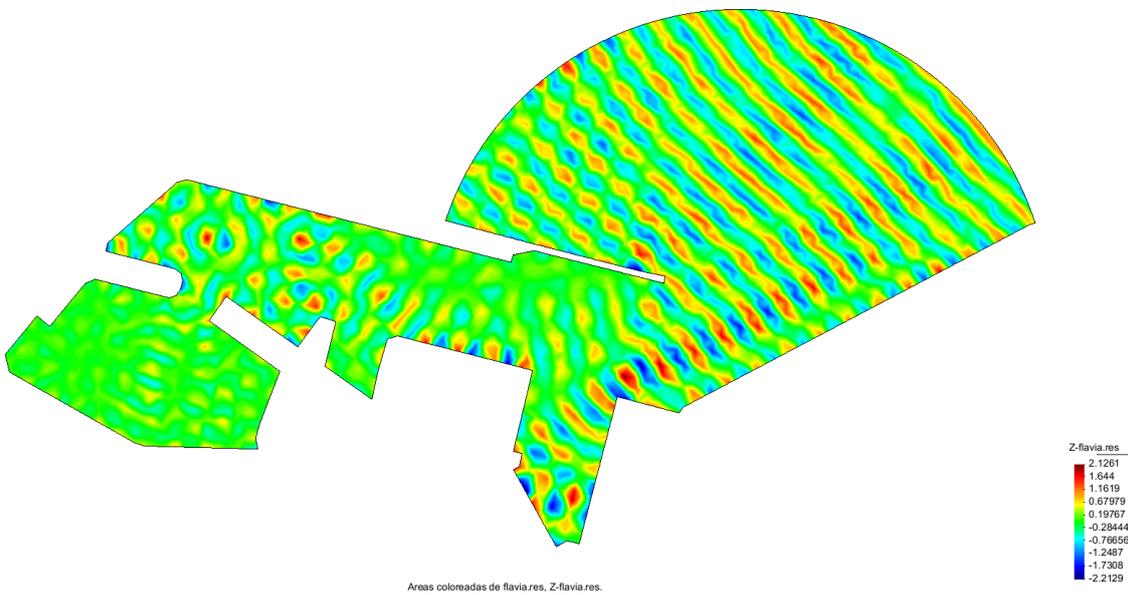


Figura A.II 109. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 30

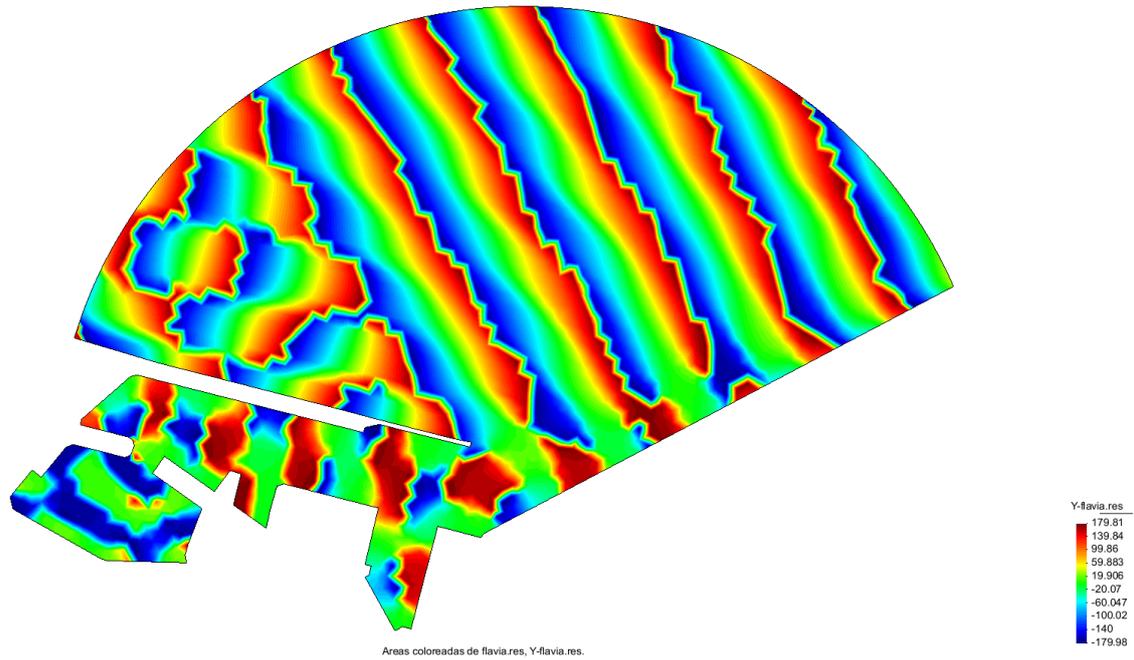


Figura A.II 110. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

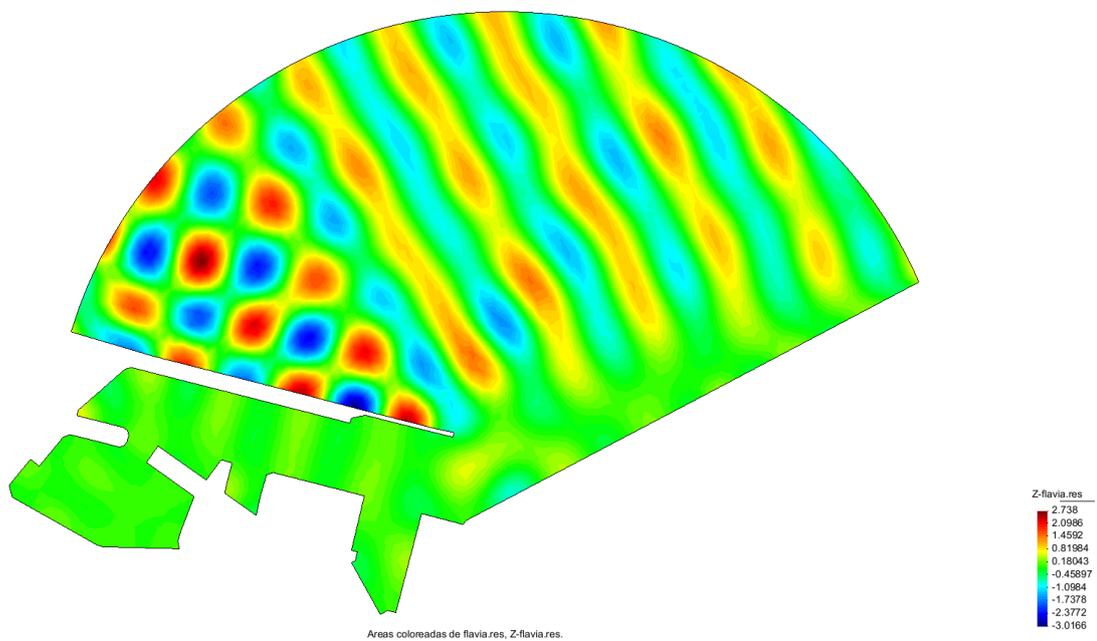


Figura A.II 111. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 30 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 60

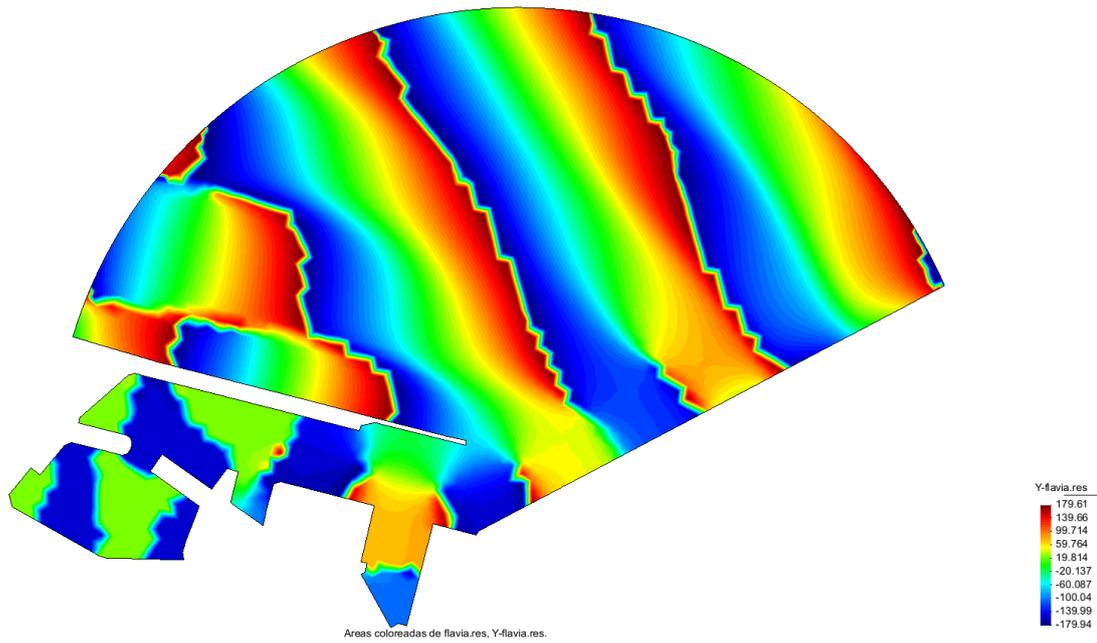


Figura A.II 112. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

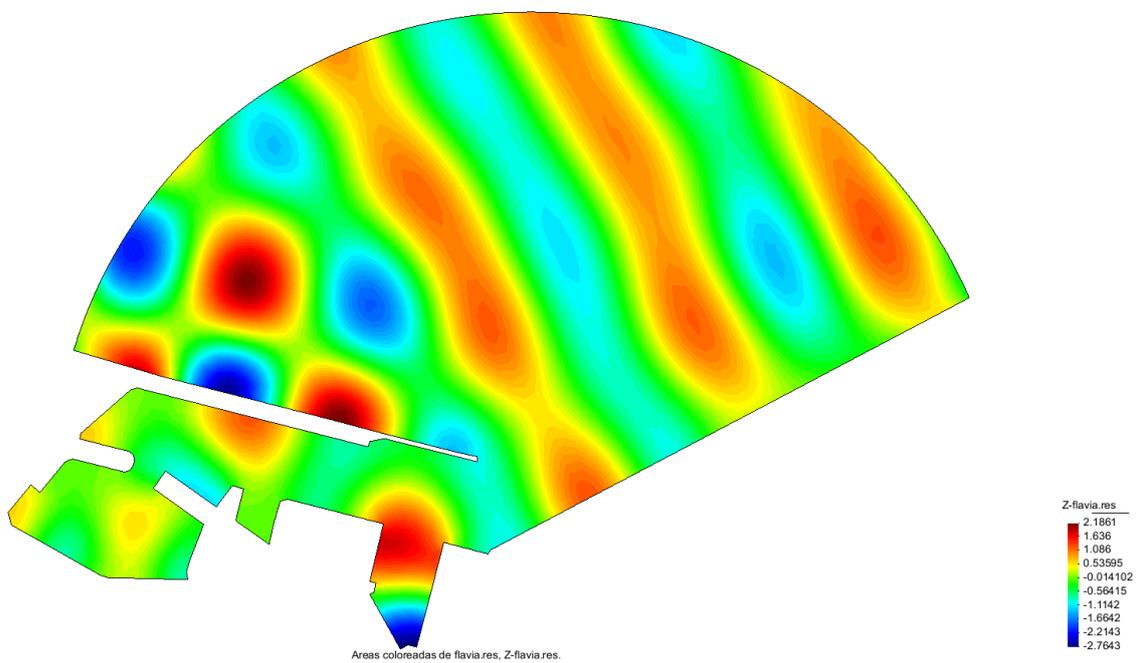


Figura A.II 113. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 60 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 120

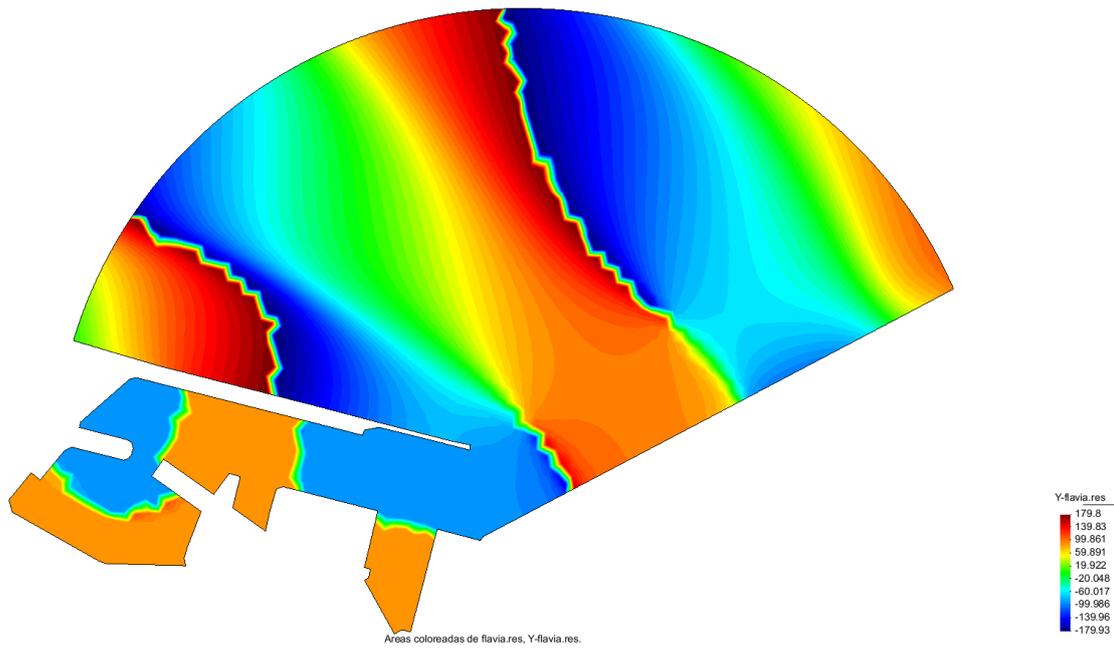


Figura A.II 114. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

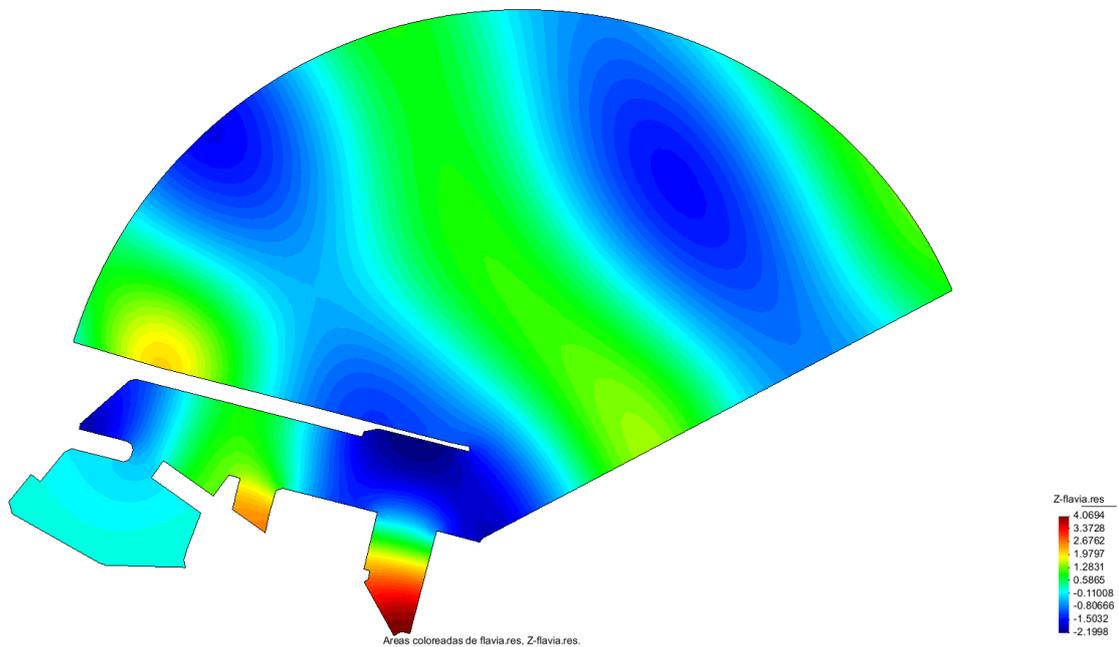


Figura A.II 115. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 180

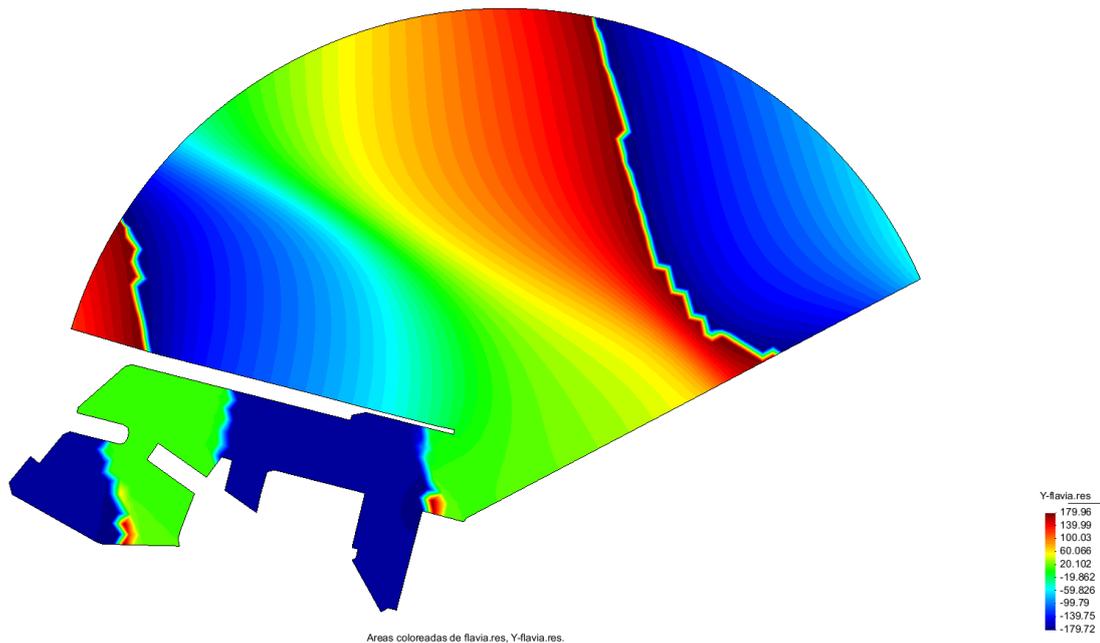


Figura A.II 116. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

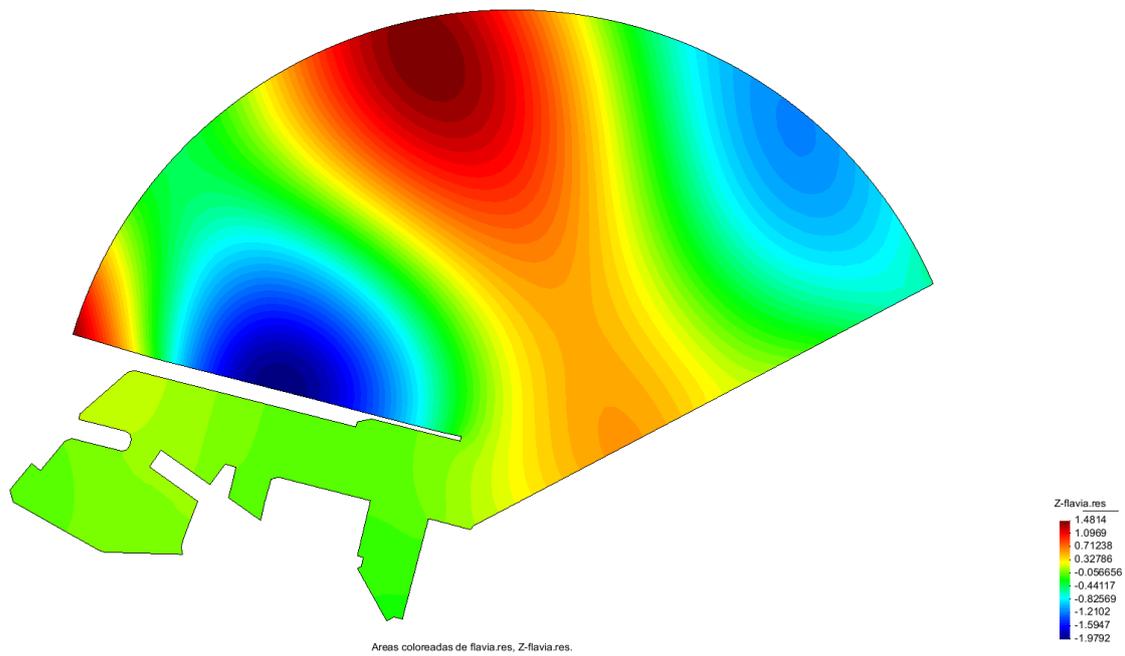


Figura A.II 117. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 180 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 240

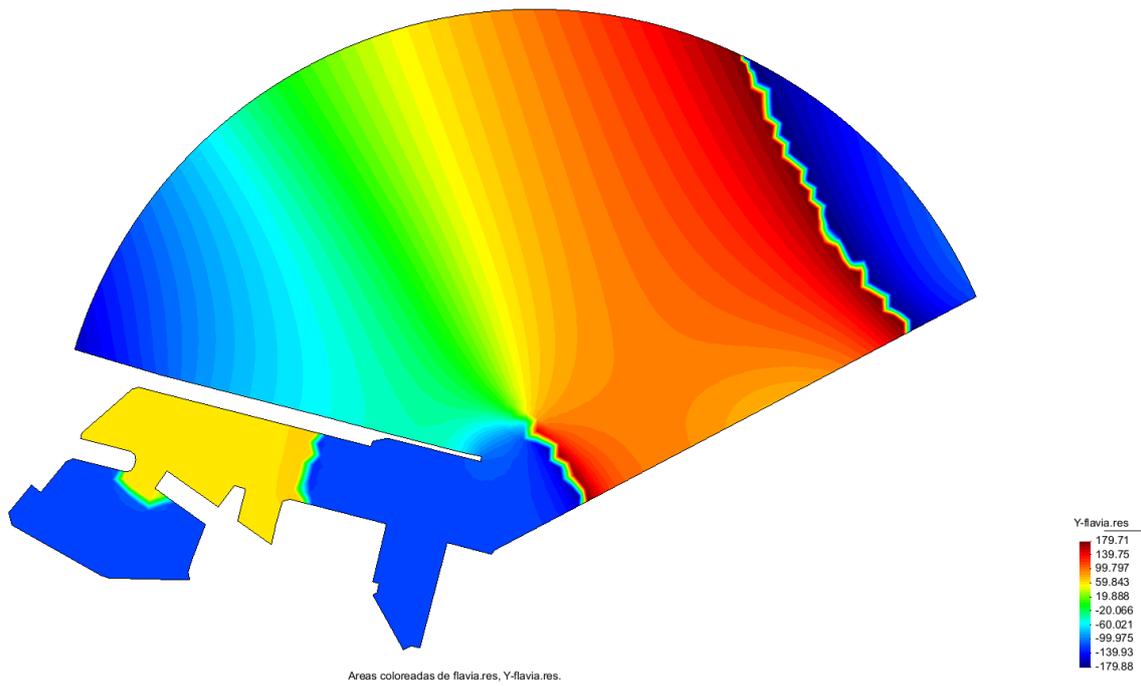


Figura A.II 118. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 240seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

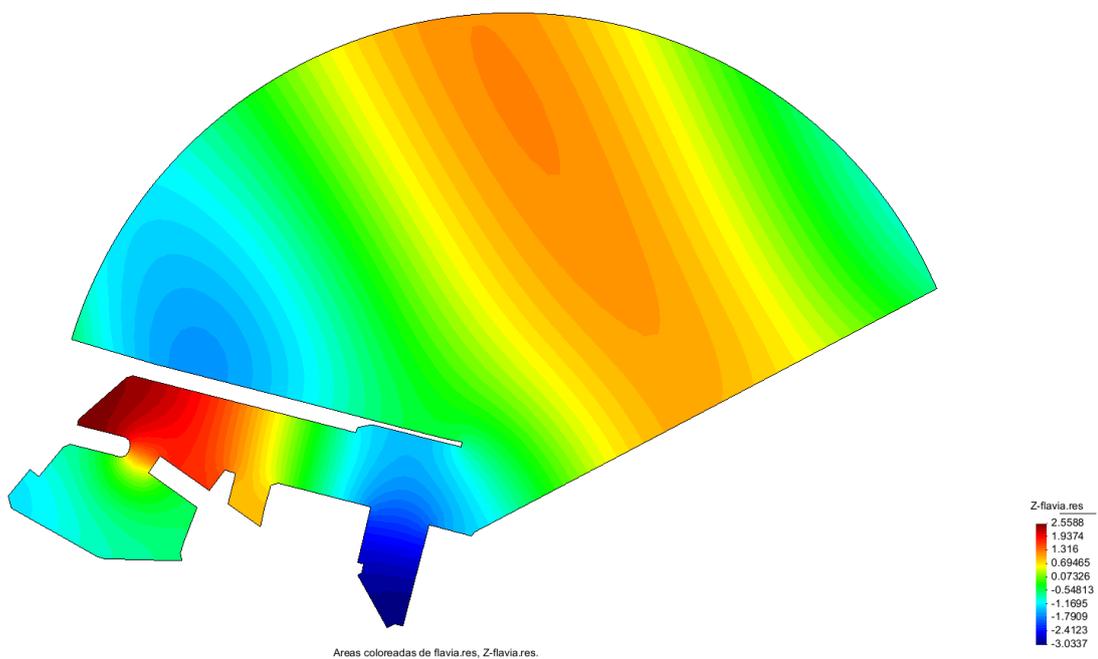


Figura A.II 119. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 300

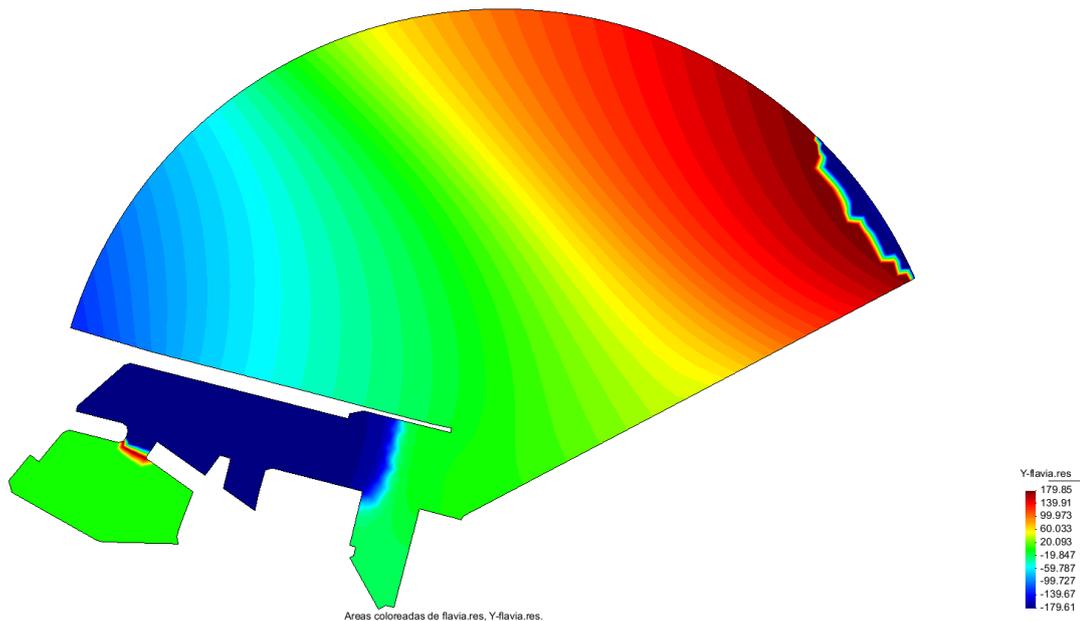


Figura A.II 120. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

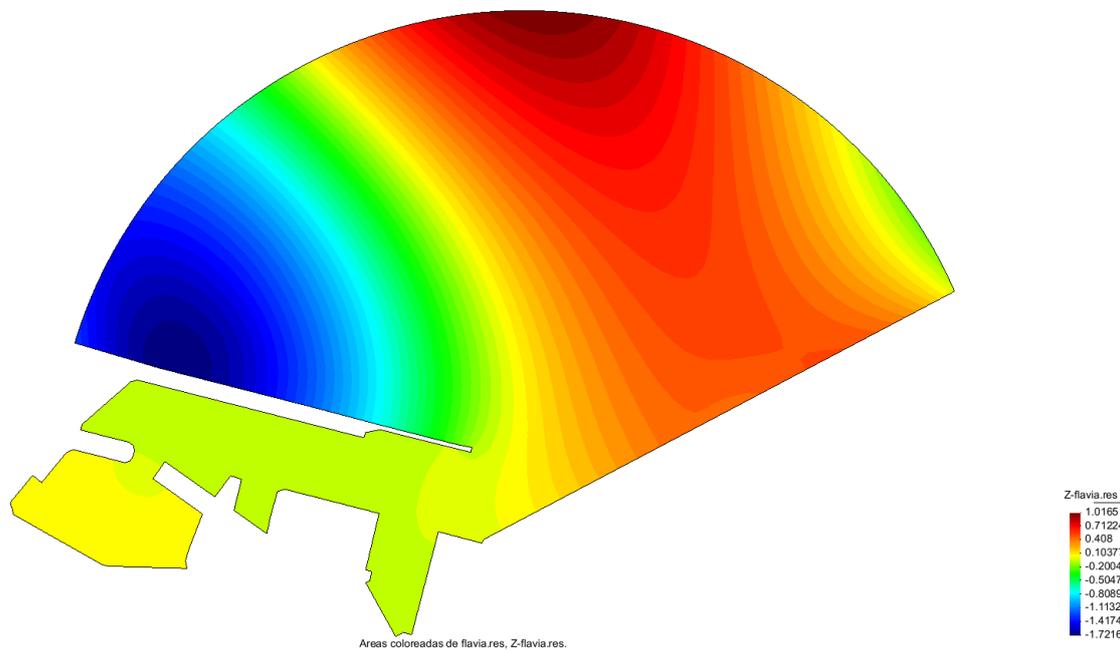


Figura A.II 121. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 300 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

ANEXO III

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A.III. 1. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	257
Figura A.III. 2. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	257
Figura A.III. 3. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	258
Figura A.III. 4. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	258
Figura A.III. 5. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	259
Figura A.III. 6. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	259
Figura A.III. 7. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	260
Figura A.III. 8. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	260
Figura A.III. 9. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	261
Figura A.III. 10. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	261
Figura A.III. 11. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	262
Figura A.III. 12. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	262
Figura A.III. 13. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	263
Figura A.III. 14. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	263
Figura A.III. 15. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	264
Figura A.III. 16. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	264
Figura A.III. 17. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	265
Figura A.III. 18. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	265
Figura A.III. 19. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	266
Figura A.III. 20. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	266
Figura A.III. 21. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	267
Figura A.III. 22. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	267
Figura A.III. 23. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	268

Figura A.III. 24. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	268
Figura A.III. 25. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	269
Figura A.III. 26. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	269
Figura A.III. 27. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	270
Figura A.III. 28. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	270
Figura A.III. 29. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	271
Figura A.III. 30. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	271
Figura A.III. 31. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	272
Figura A.III. 32. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	272
Figura A.III. 33. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	273
Figura A.III. 34. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	273
Figura A.III. 35. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	274
Figura A.III. 36. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	274
Figura A.III. 37. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	275
Figura A.III. 38. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	275
Figura A.III. 39. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	276
Figura A.III. 40. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	276
Figura A.III. 41. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	277
Figura A.III. 42. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	277
Figura A.III. 43. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	278
Figura A.III. 44. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	278
Figura A.III. 45. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	279
Figura A.III. 46. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	279
Figura A.III. 47. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	280

Figura A.III. 48. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	280
Figura A.III. 49. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	281
Figura A.III. 50. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	281
Figura A.III. 51. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	282
Figura A.III. 52. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	282
Figura A.III. 53. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	283
Figura A.III. 54. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	283
Figura A.III. 55. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	284
Figura A.III. 56. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	284
Figura A.III. 57. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	285
Figura A.III. 58. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	285
Figura A.III. 59. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	286
Figura A.III. 60. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	286
Figura A.III. 61. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	287
Figura A.III. 62. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	287
Figura A.III. 63. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	288
Figura A.III. 64. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	288
Figura A.III. 65. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	289
Figura A.III. 66. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID	289

Se pretende realizar el estudio de los coeficientes de agitación adimensionales de los siguientes oleajes:

DIR	Tp(s)	Dirección
ENE	120	N67.5E
	240	N67.5E
E	120	S90E
	240	S90E
ESE	120	S67.5E
	240	S67.5E
SE	8.234	S48.52S
	9.968	S50.05S
SSE	7.941	S30.59E
	9.929	S35.66E
S	6.538	S8.4E
	8.143	S16.62E

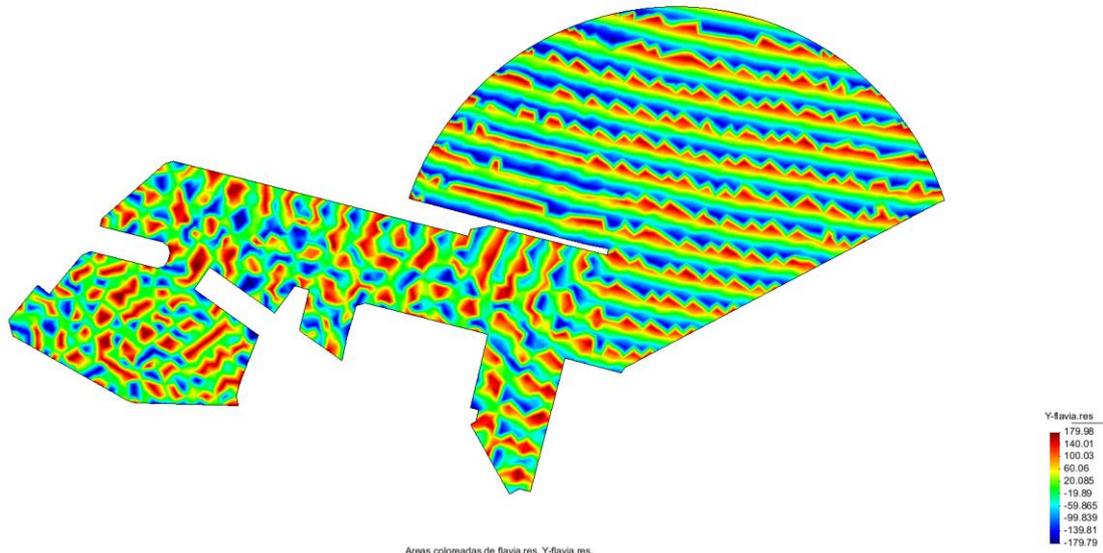
Tabla 1. Oleajes a representar. Fuente: Propia

Donde las tres primeras direcciones corresponden al oleaje de infragravedad, mientras que las tres últimas direcciones corresponden al oleaje perteneciente al régimen medio. Se recogen en las siguientes páginas:

OLEAJE ALTERNATIVA 1	257
OLEAJE ALTERNATIVA 2	264
OLEAJE ALTERNATIVA 3	271
ONDAS DE INFRAGRAVEDAD ALTERNATIVA 1.....	278
ONDAS DE INFRAGRAVEDAD ALTERNATIVA 2 y 3	284

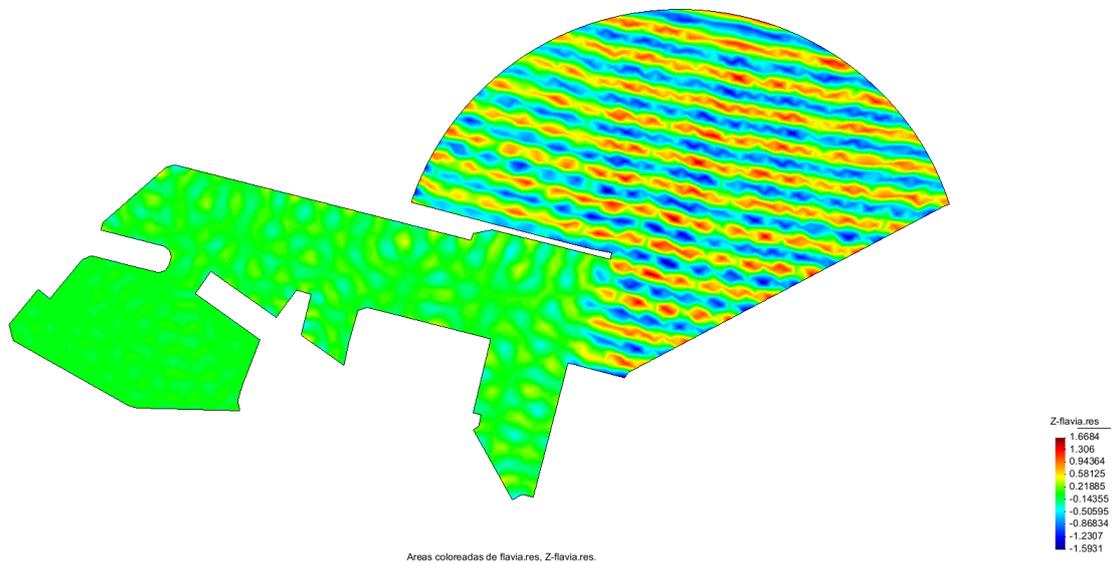
OLEAJE ALTERNATIVA 1

Dir. SE Tp(s) 8.234



Áreas coloreadas de flavia.res, Y-flavia.res.

Figura A.III. 1. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID



Áreas coloreadas de flavia.res, Z-flavia.res.

Figura A.III. 2. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 9.968

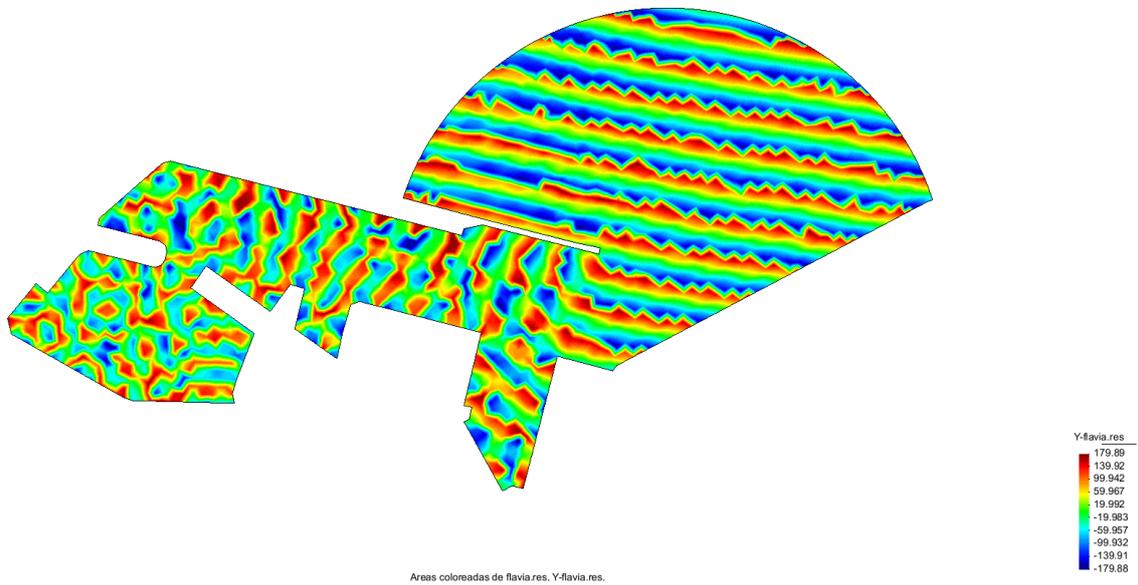


Figura A.III. 3. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

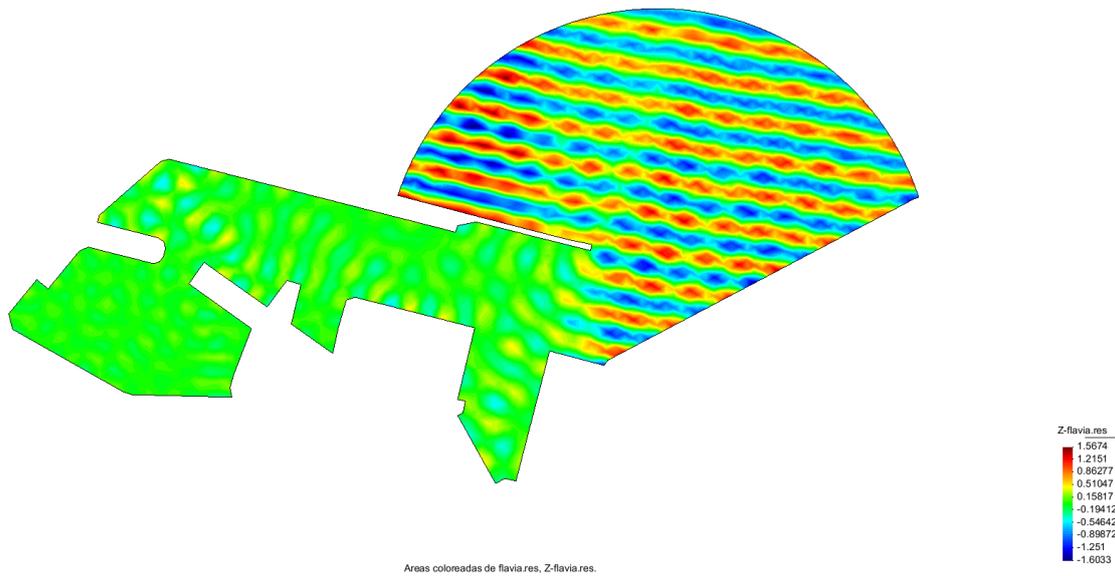


Figura A.III. 4. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 7.941

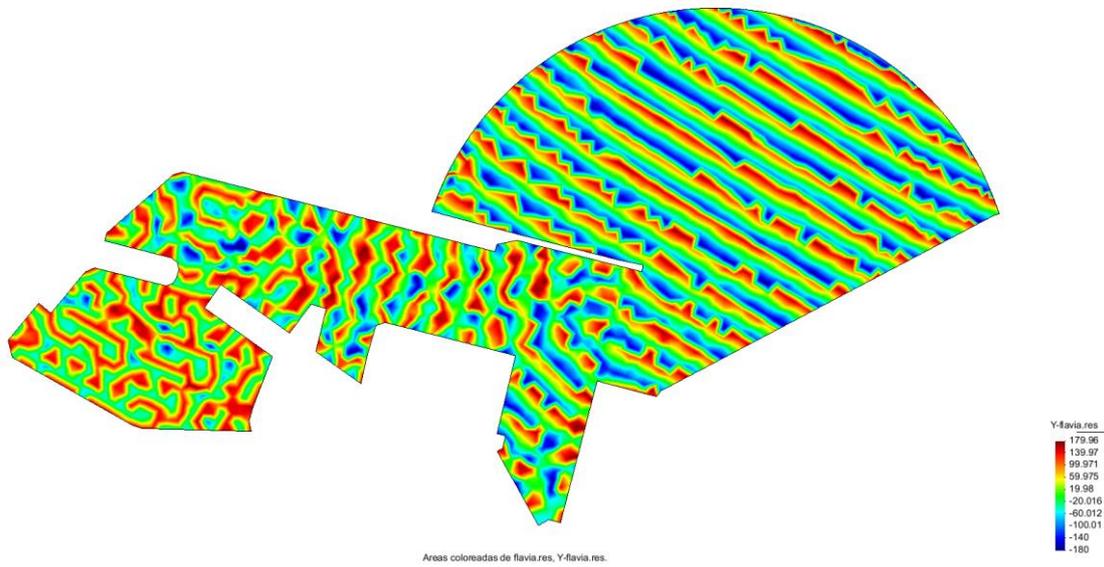


Figura A.III. 5. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

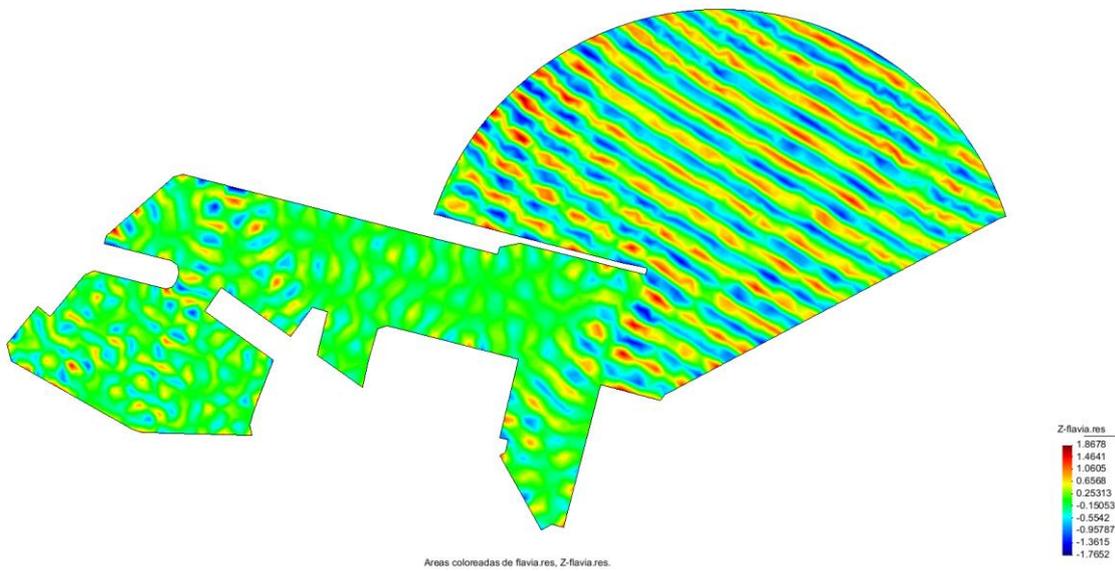


Figura A.III. 6. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 9.929

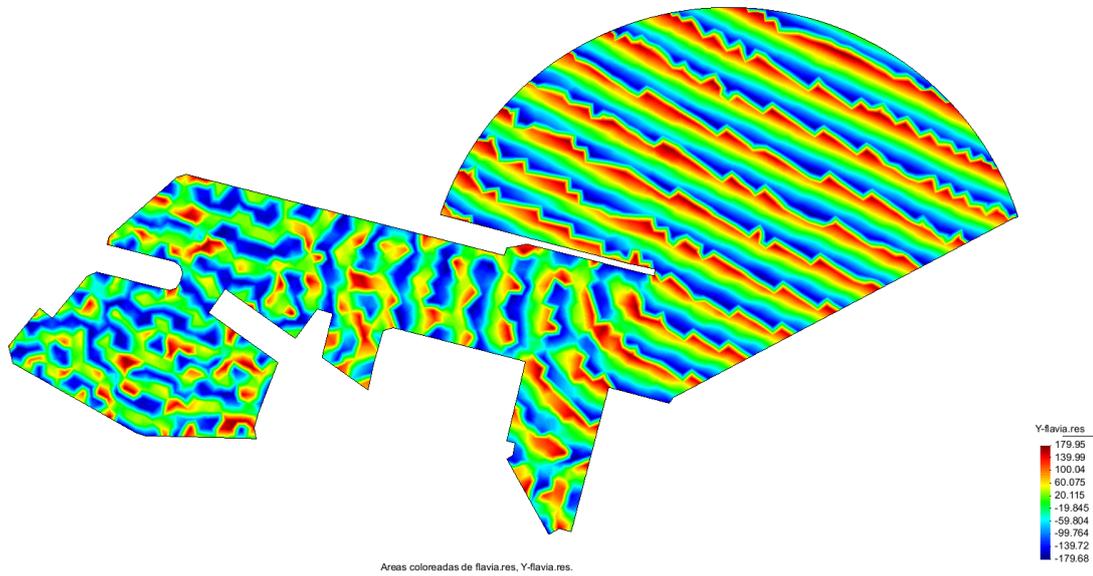


Figura A.III. 7. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

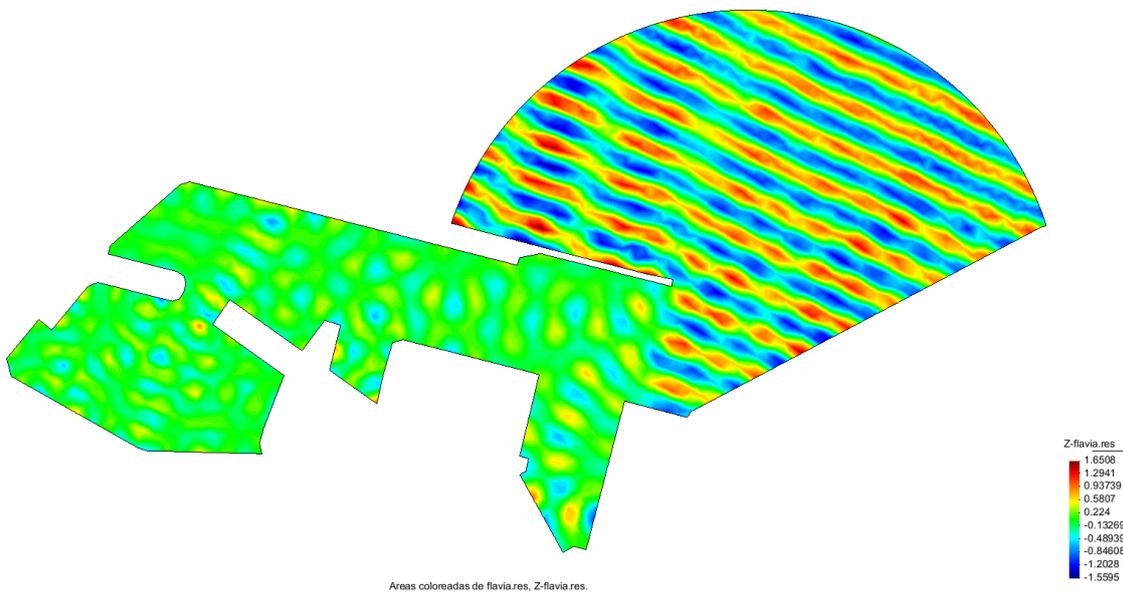


Figura A.III. 8. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 4.117

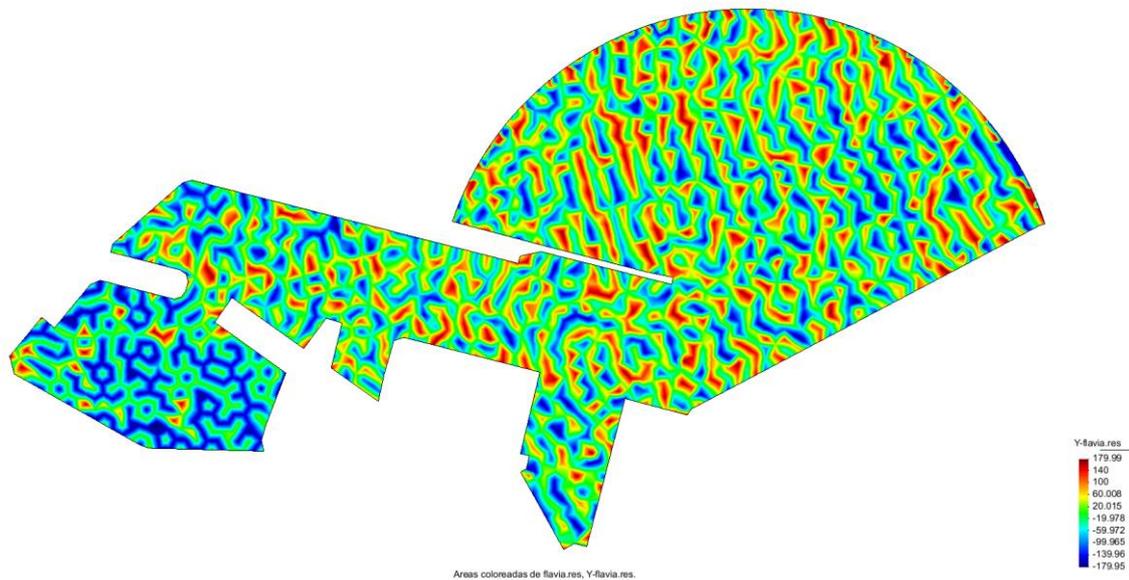


Figura A.III. 9. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

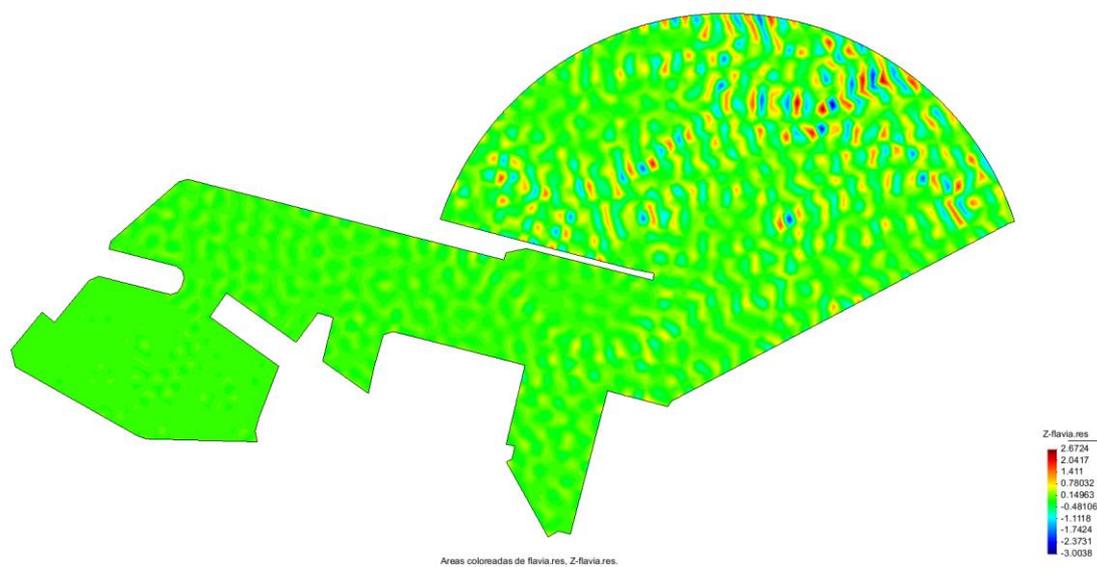


Figura A.III. 10. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 6.538

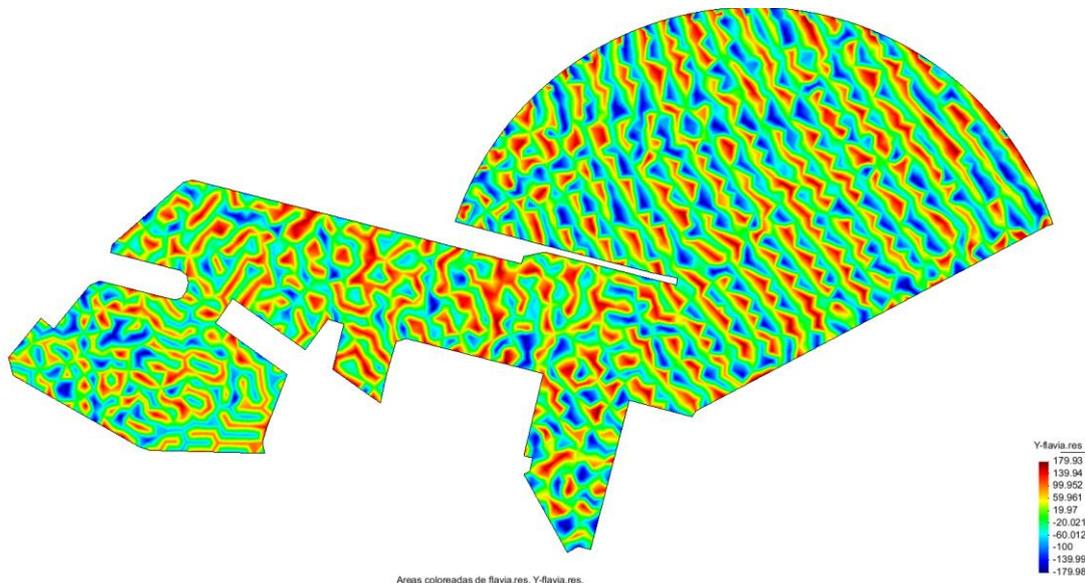


Figura A.III. 11. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

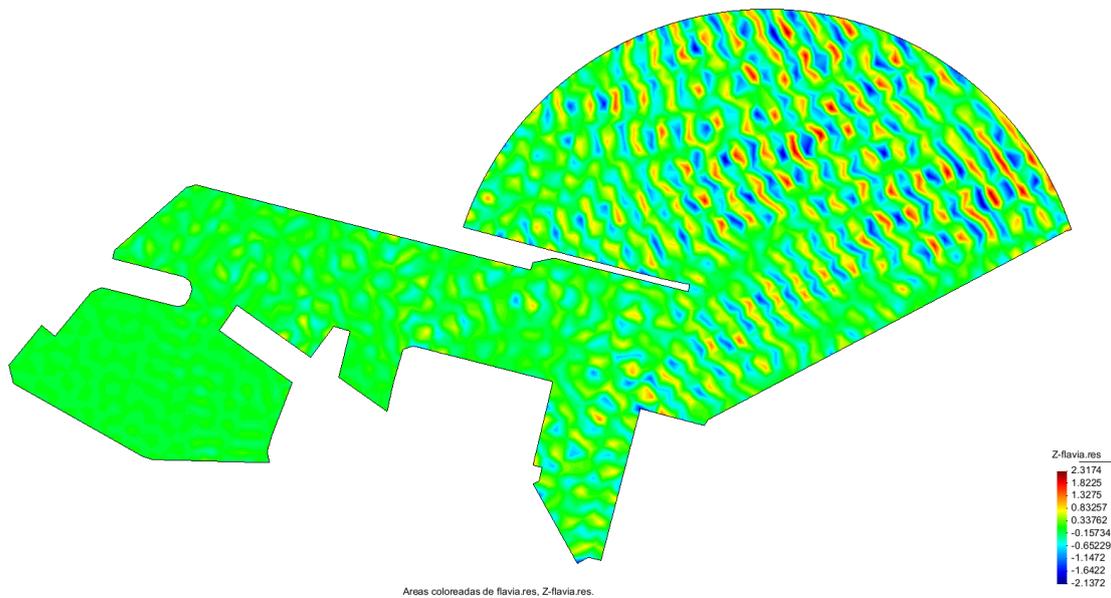


Figura A.III. 12. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 8.143

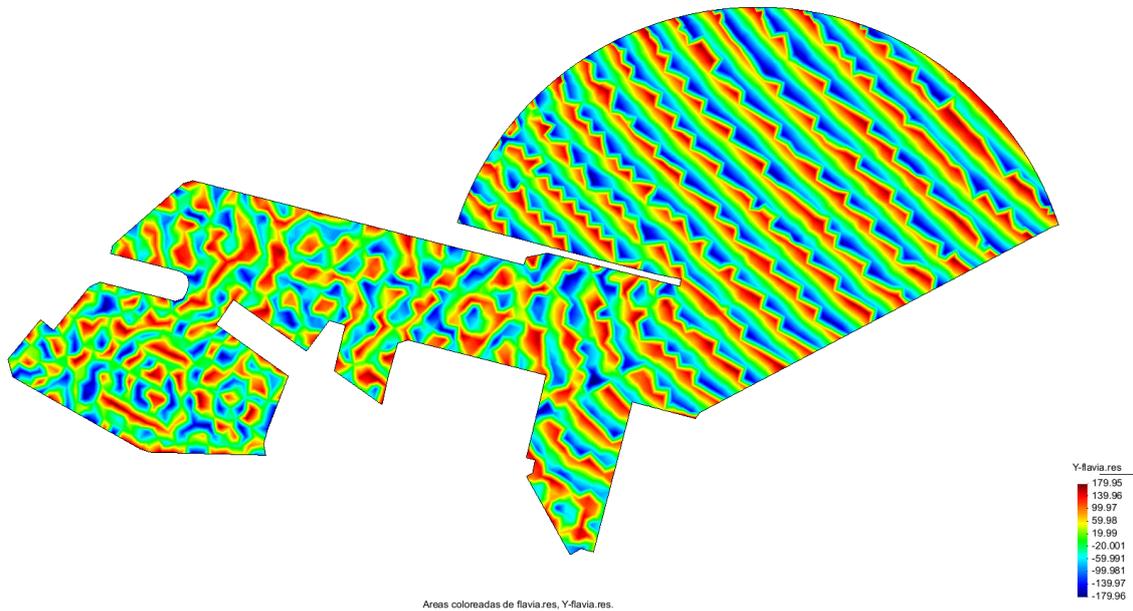


Figura A.III. 13. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

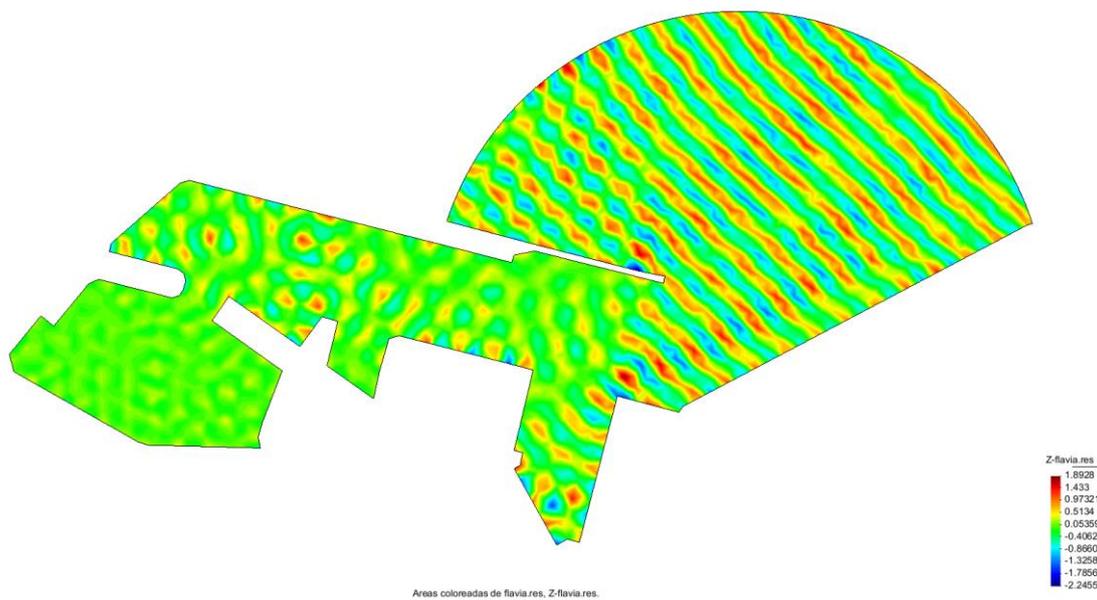


Figura A.III. 14. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

OLEAJE ALTERNATIVA 2

Dir. SE Tp(s) 8.234

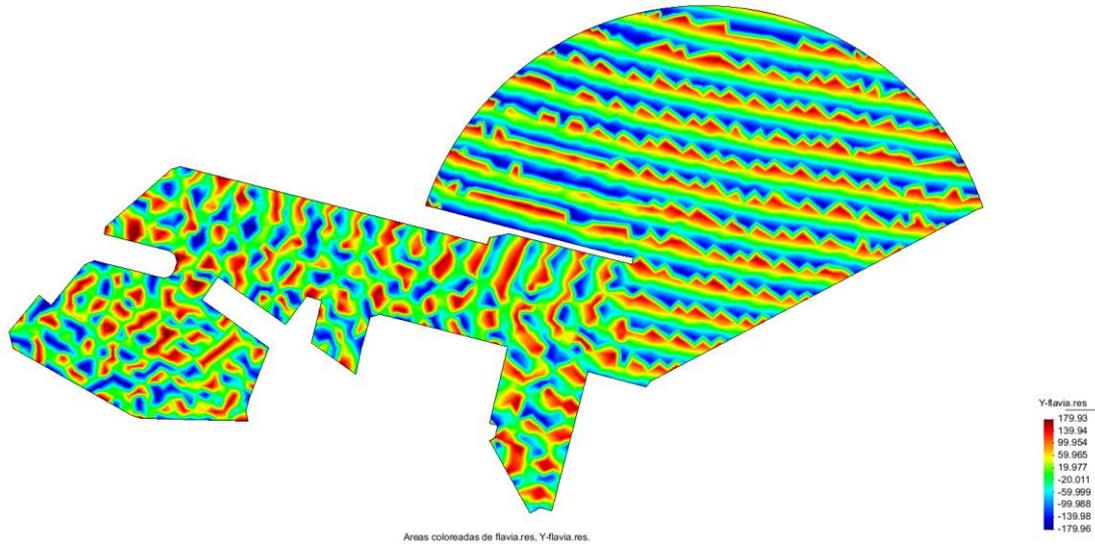


Figura A.III. 15. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

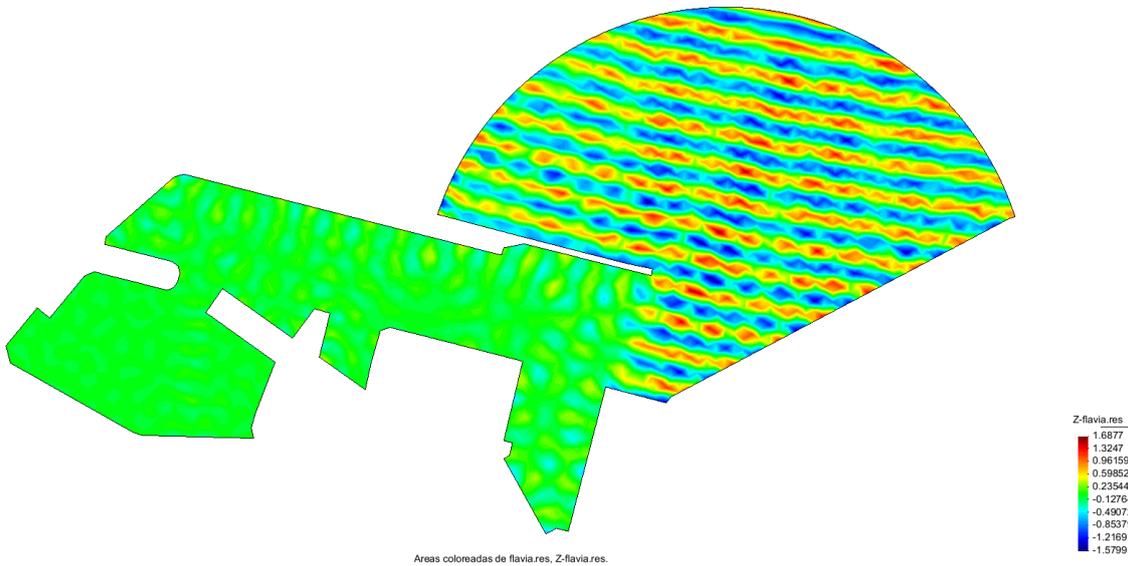


Figura A.III. 16. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 9.968



Figura A.III. 17. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

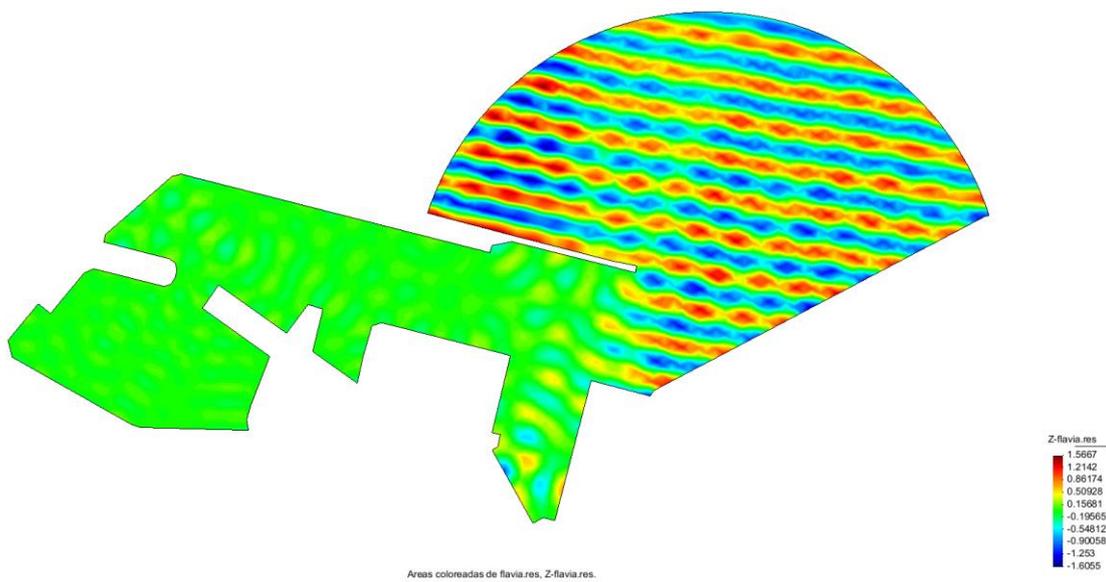


Figura A.III. 18. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 7.941

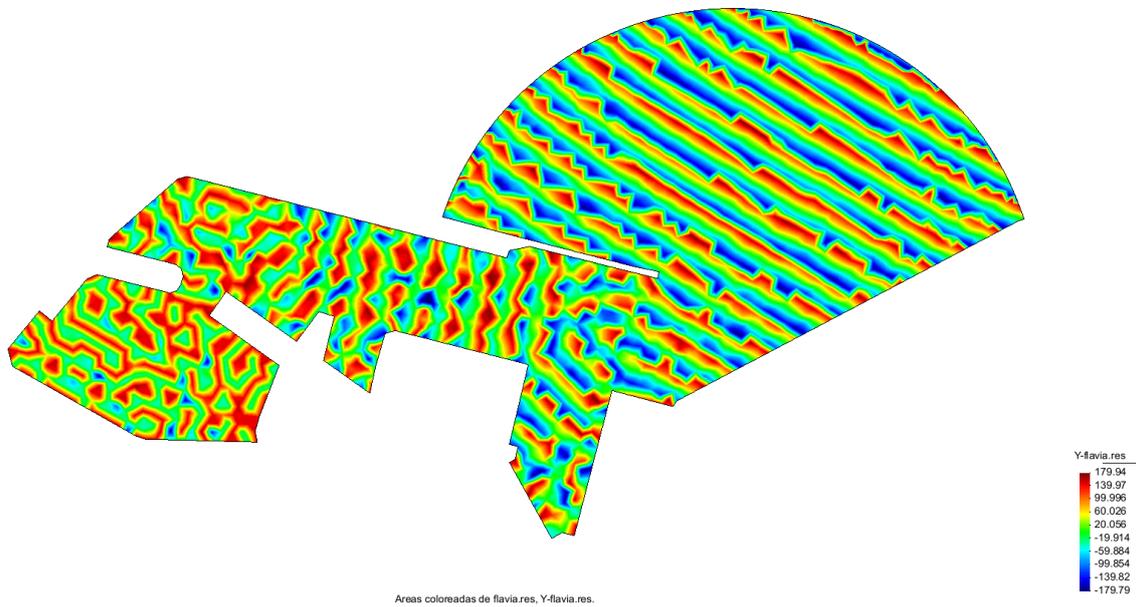


Figura A.III. 19. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

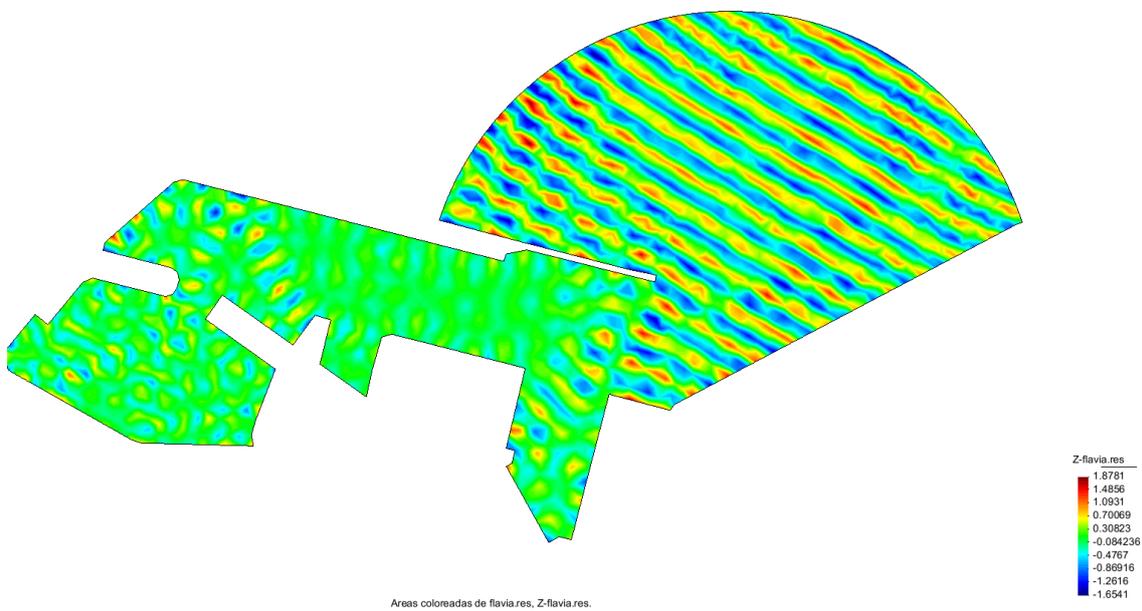


Figura A.III. 20. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 9.929



Figura A.III. 21. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

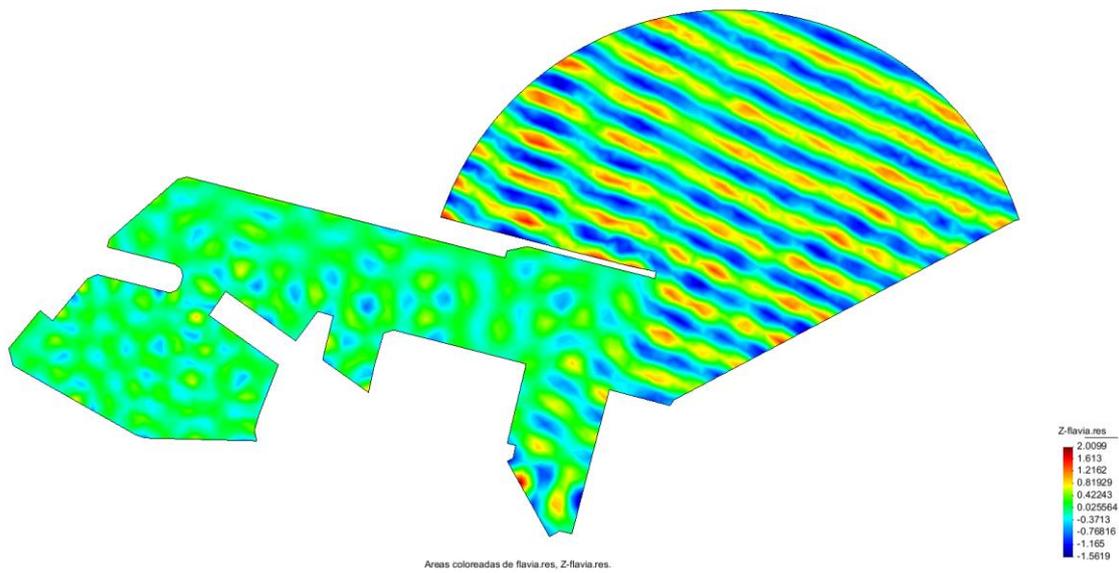


Figura A.III. 22. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 4.117

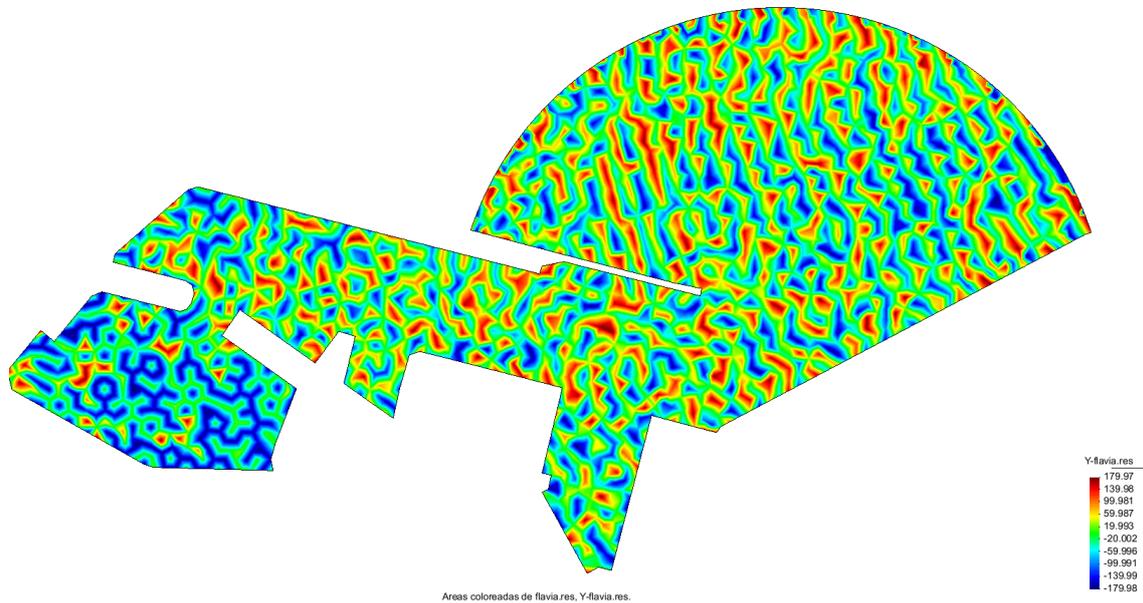


Figura A.III. 23. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

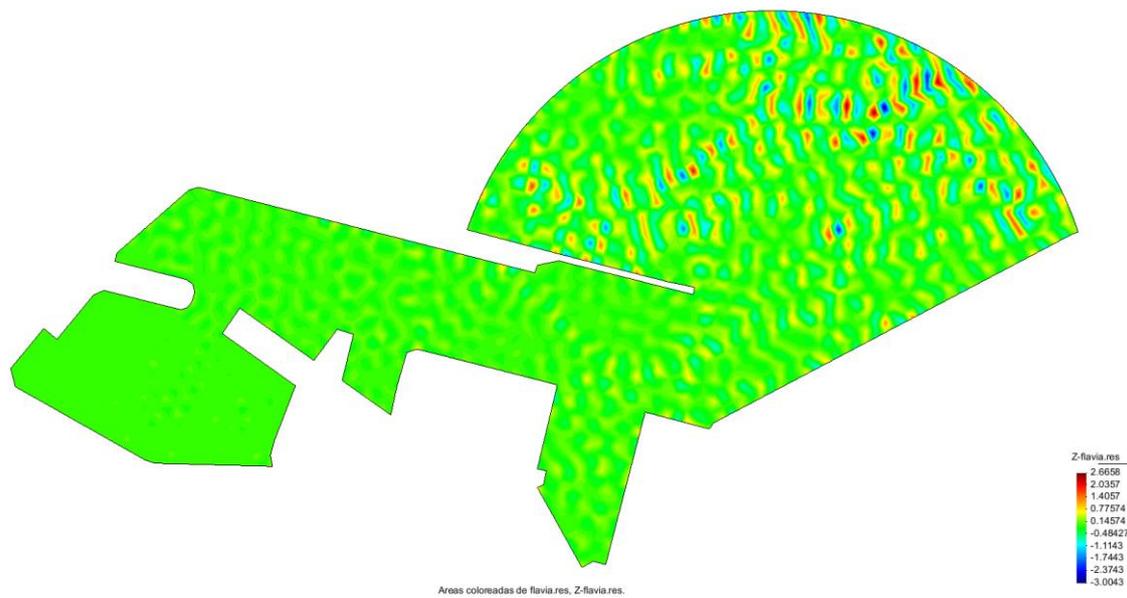


Figura A.III. 24. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 6.538

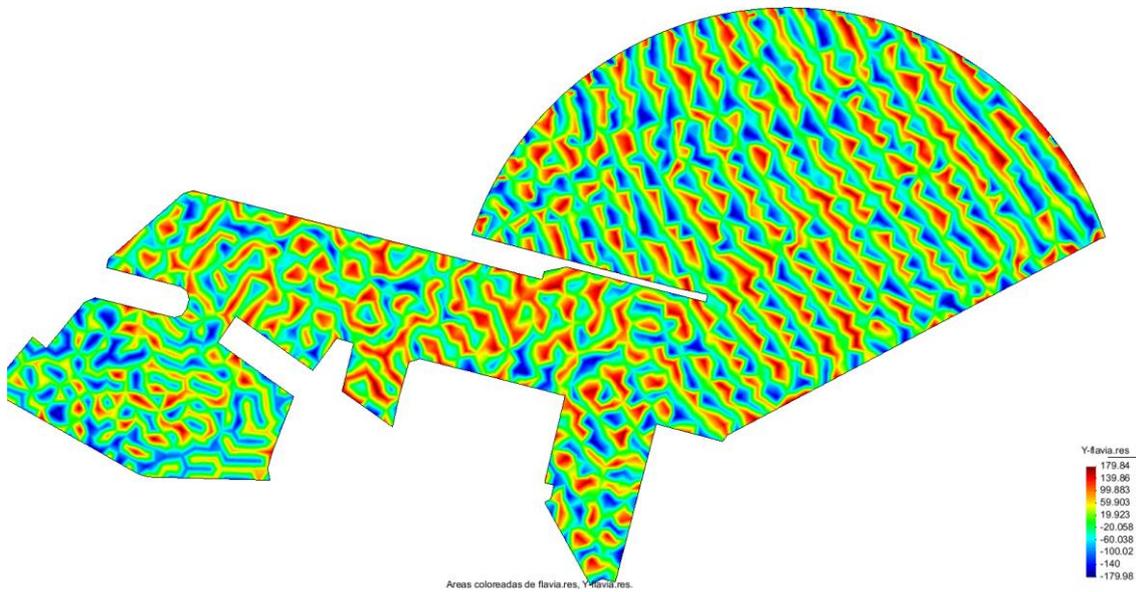


Figura A.III. 25. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

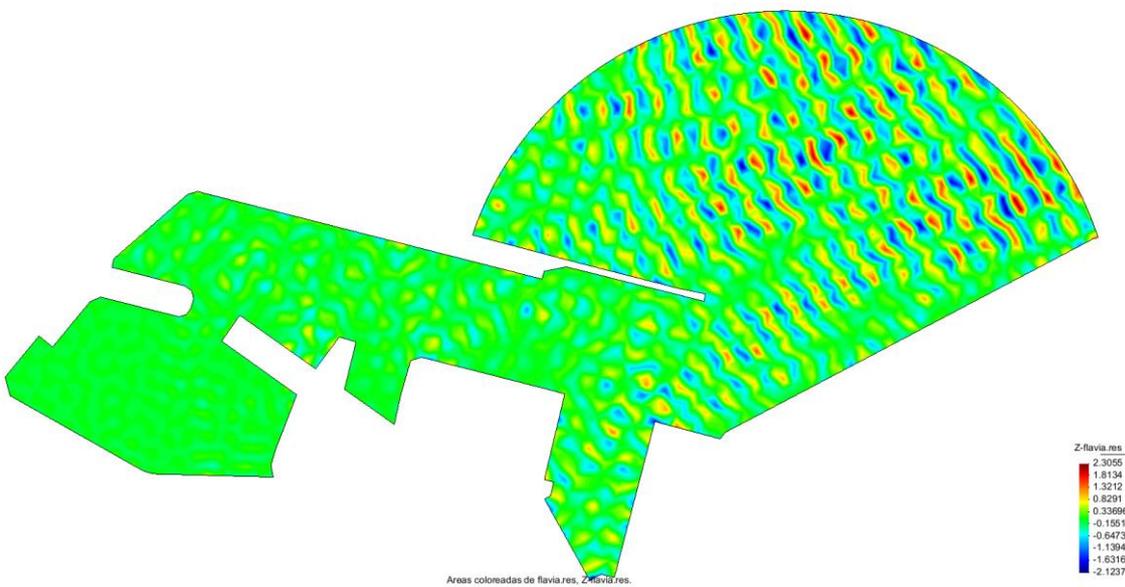


Figura A.III. 26. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 8.143



Figura A.III. 27. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

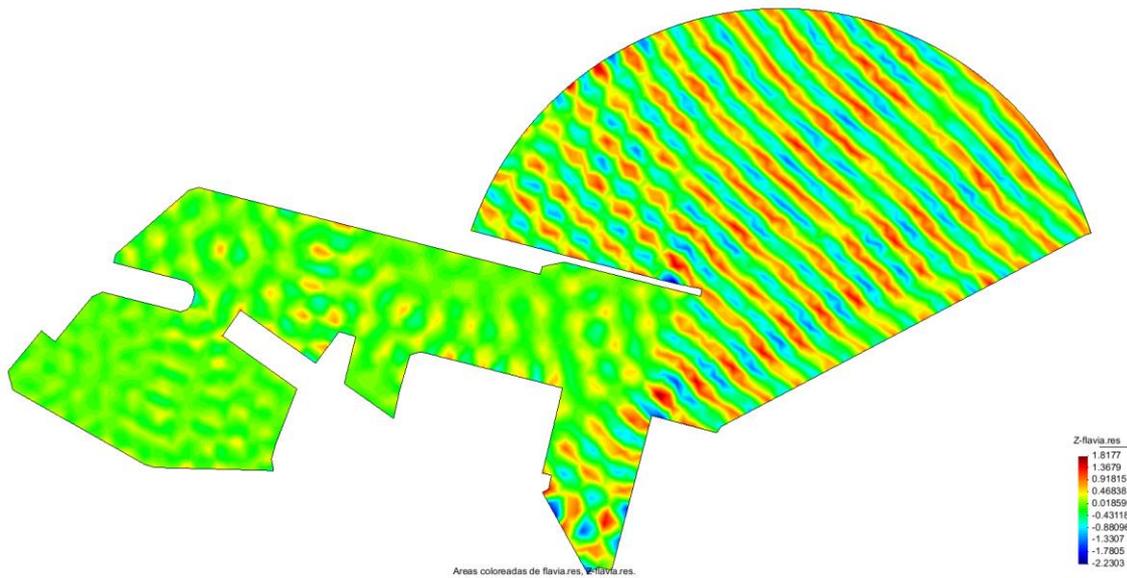


Figura A.III. 28. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

OLEAJE ALTERNATIVA 3

Dir. SE Tp(s) 8.234

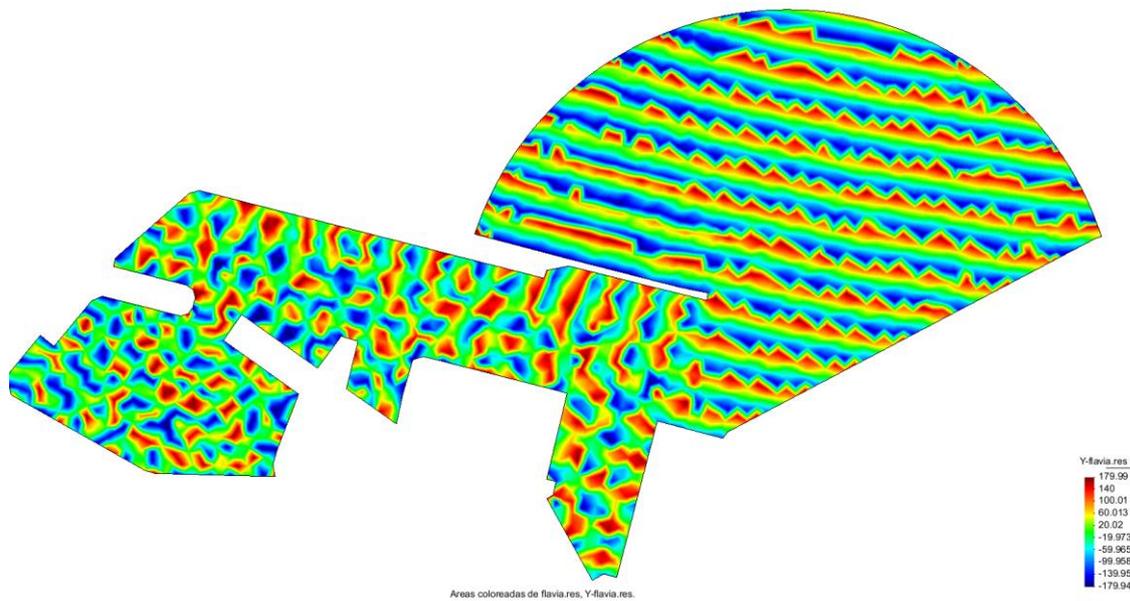


Figura A.III. 29. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

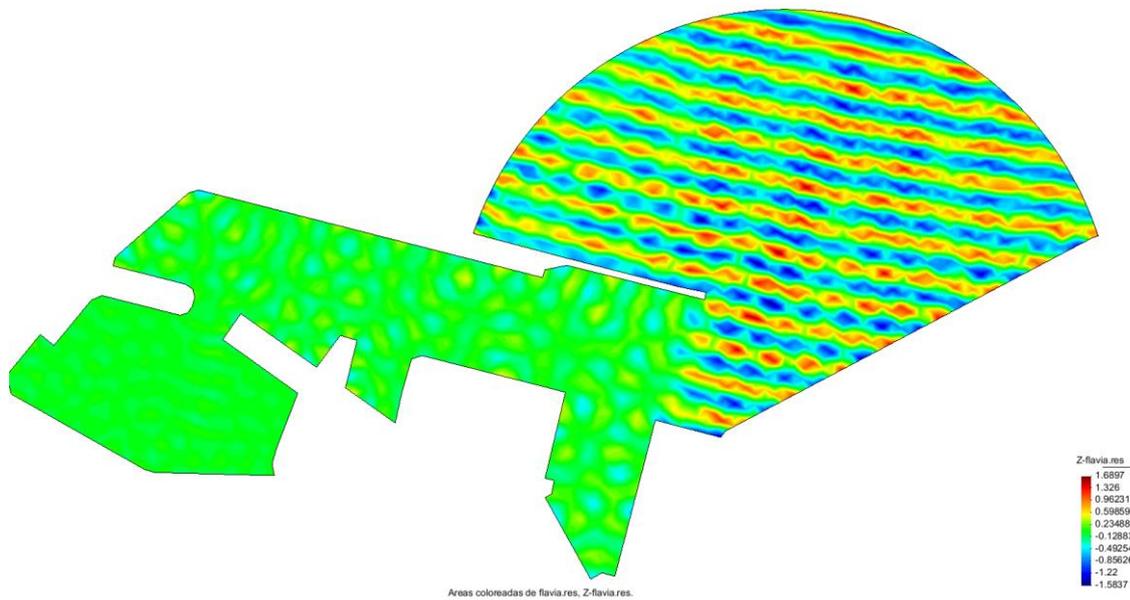


Figura A.III. 30. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 8.234 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SE Tp(s) 9.968

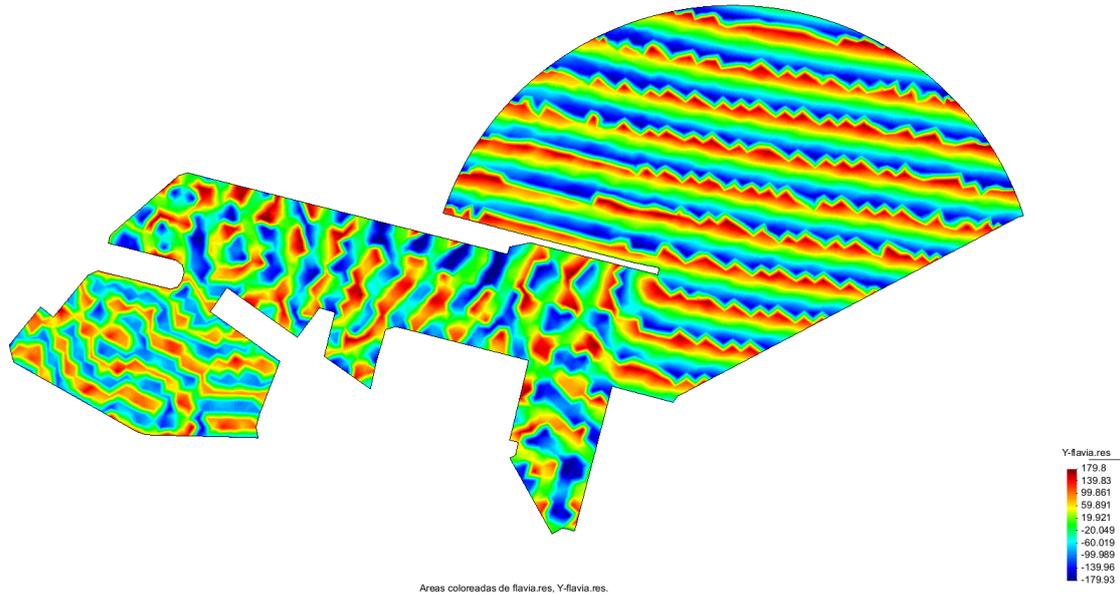


Figura A.III. 31. Diagrama de fases para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

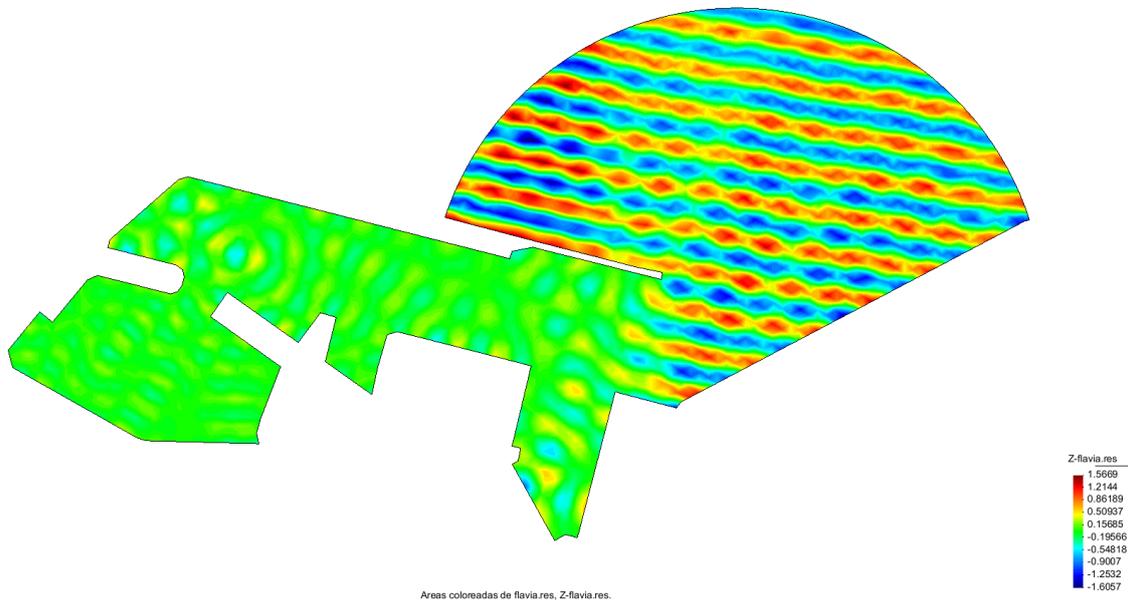


Figura A.III. 32. Coeficientes de agitación para la dirección SE con periodo 9.968 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 7.941

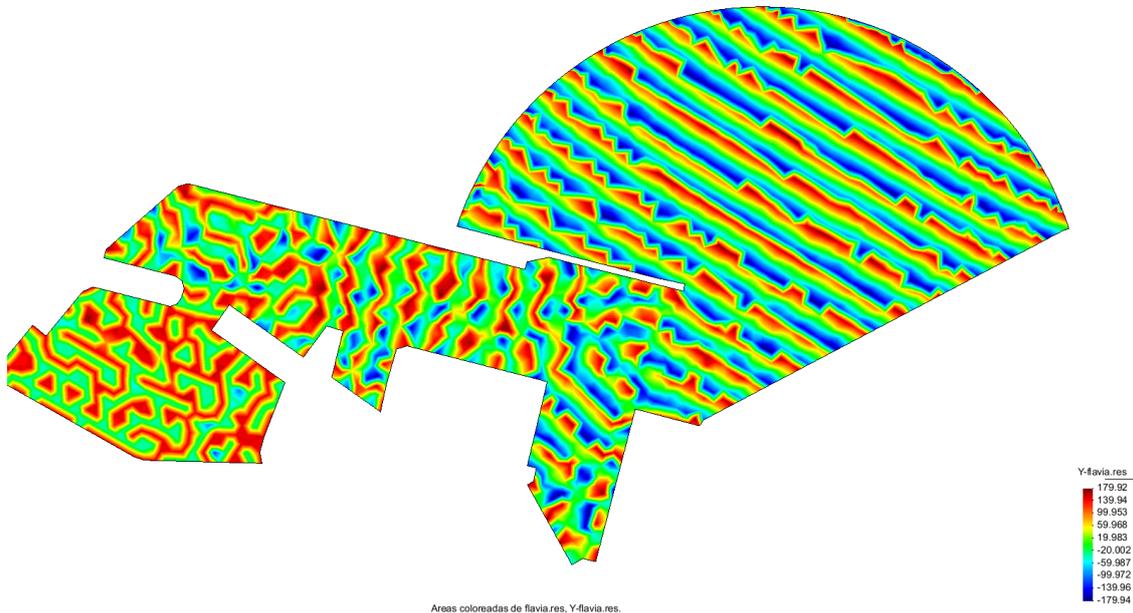


Figura A.III. 33. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

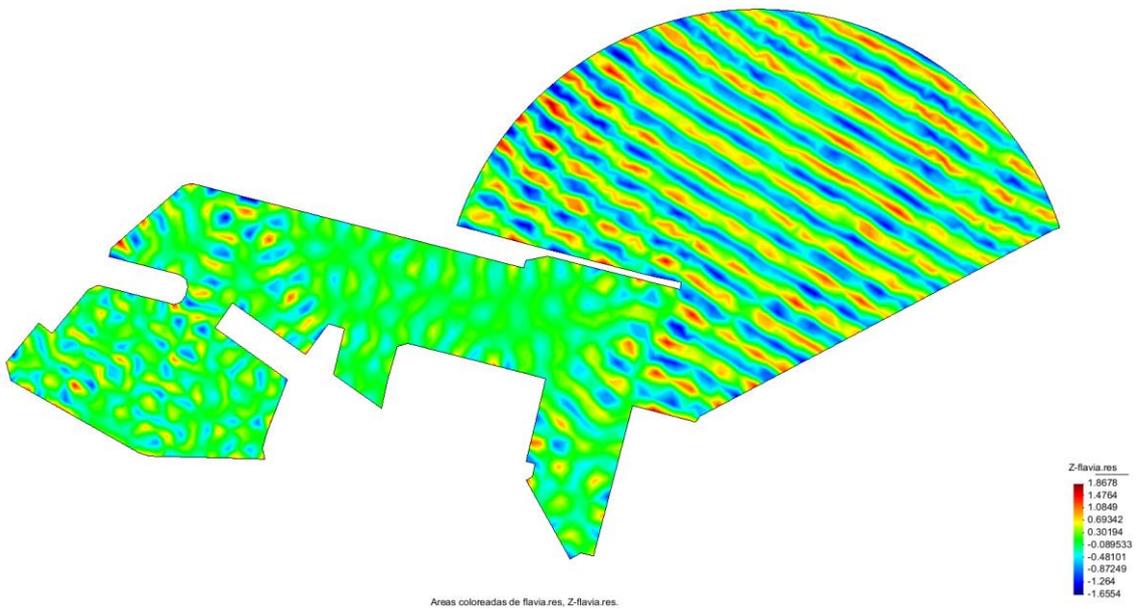


Figura A.III. 34. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 7.941 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. SSE Tp(s) 9.929

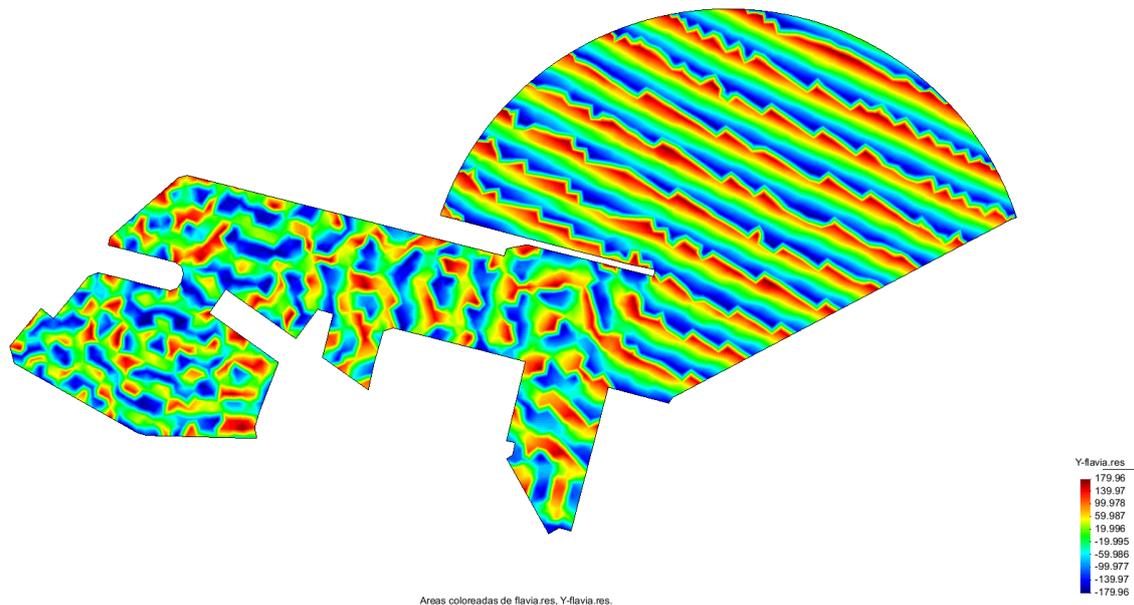


Figura A.III. 35. Diagrama de fases para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

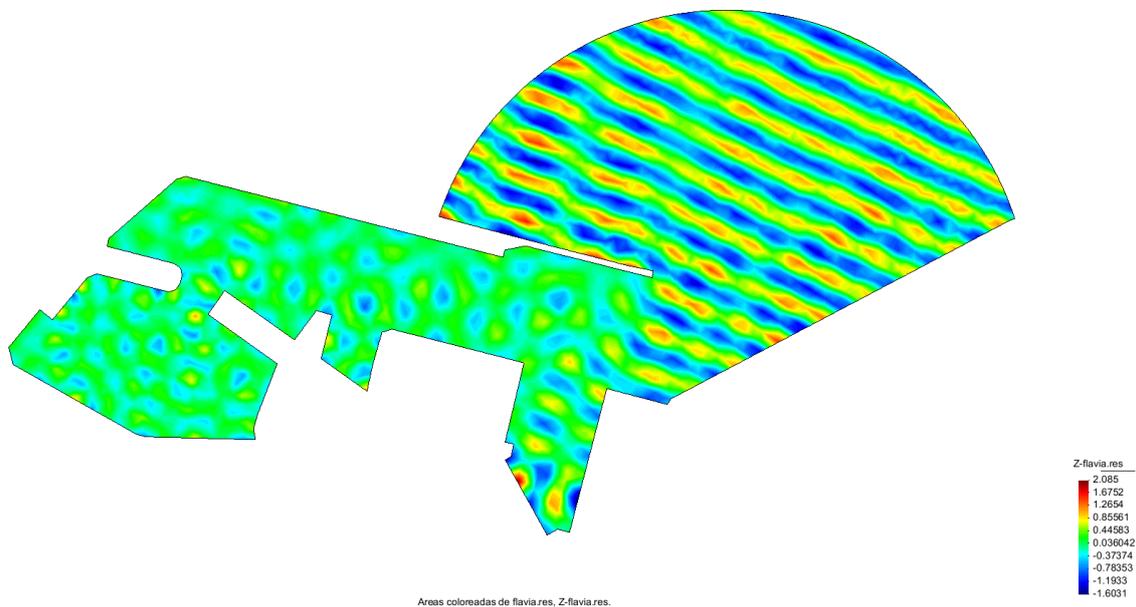


Figura A.III. 36. Coeficientes de agitación para la dirección SSE con periodo 9.929 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 4.117

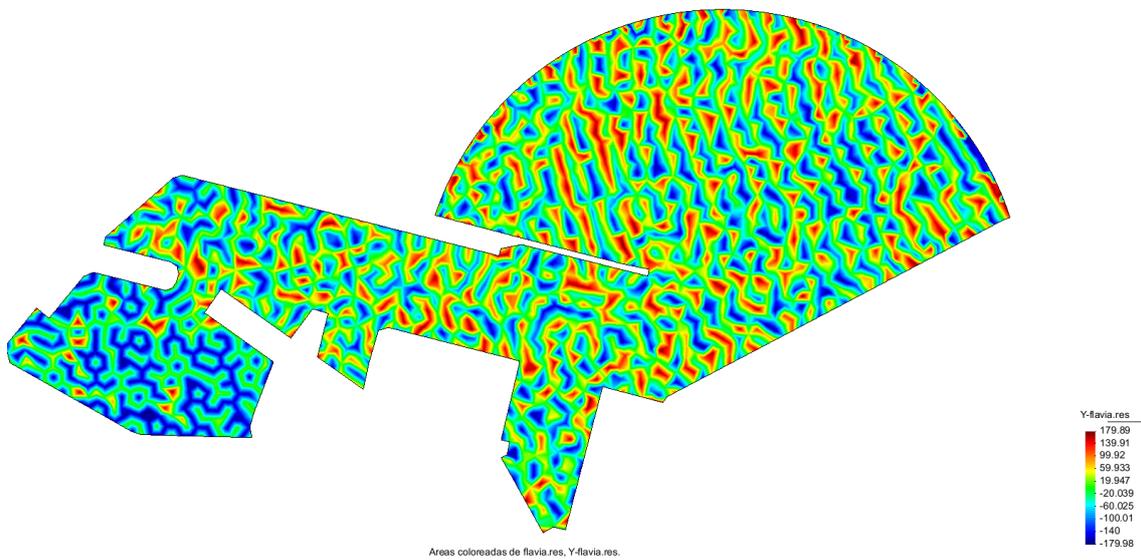


Figura A.III. 37. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

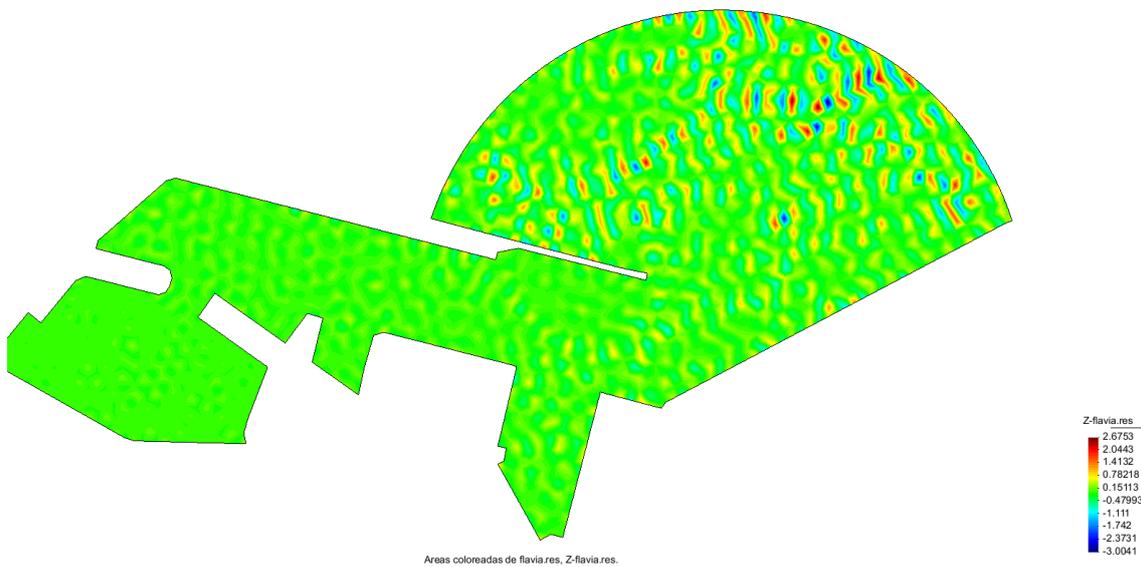


Figura A.III. 38. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 4.117 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 6.538

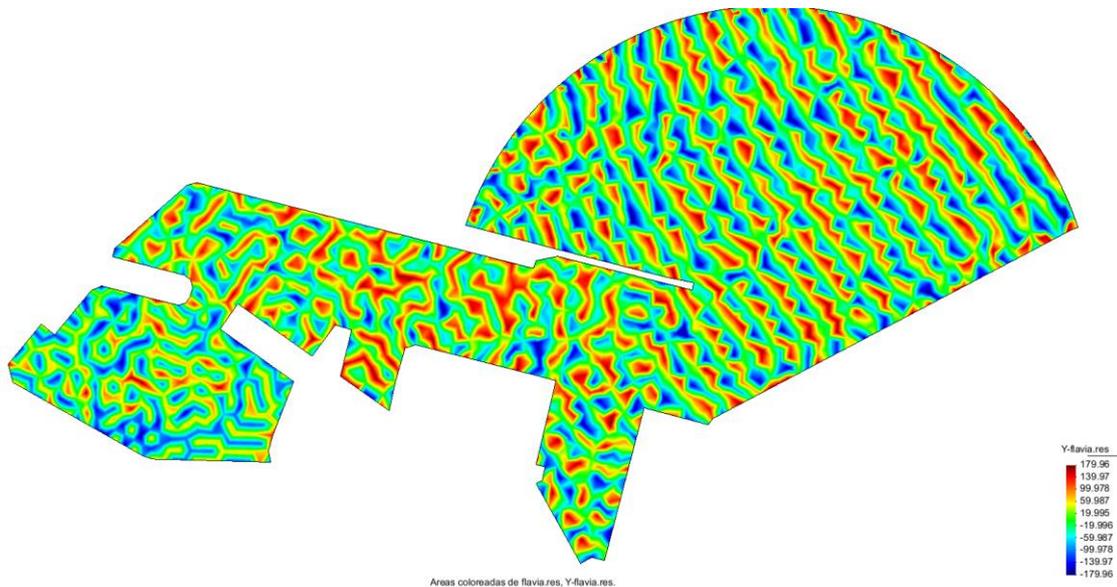


Figura A.III. 39. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

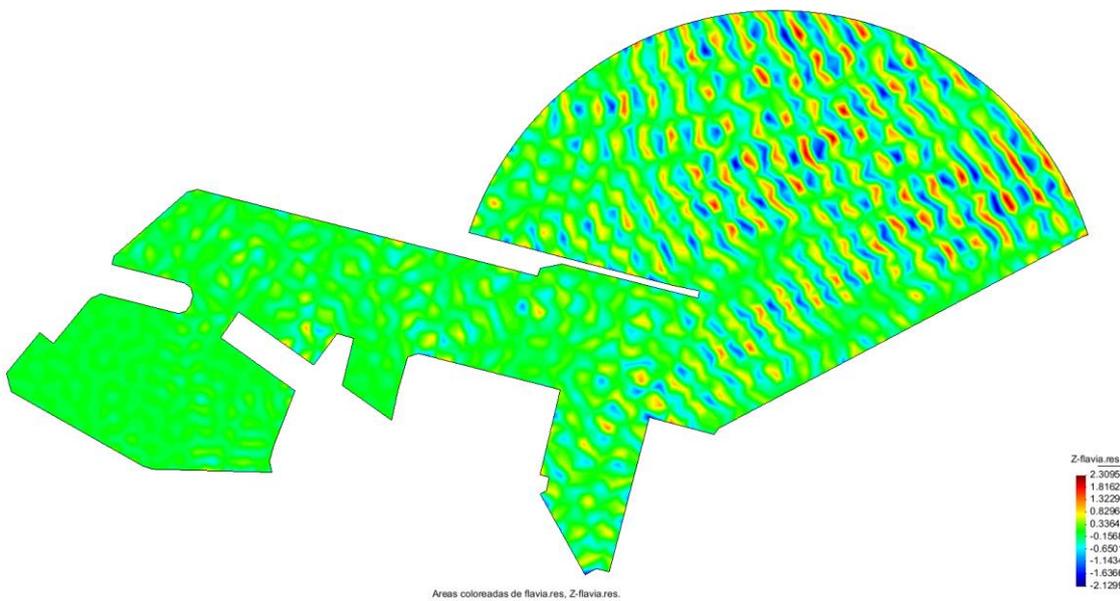


Figura A.III. 40. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 6.538 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. S Tp(s) 8.143



Figura A.III. 41. Diagrama de fases para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

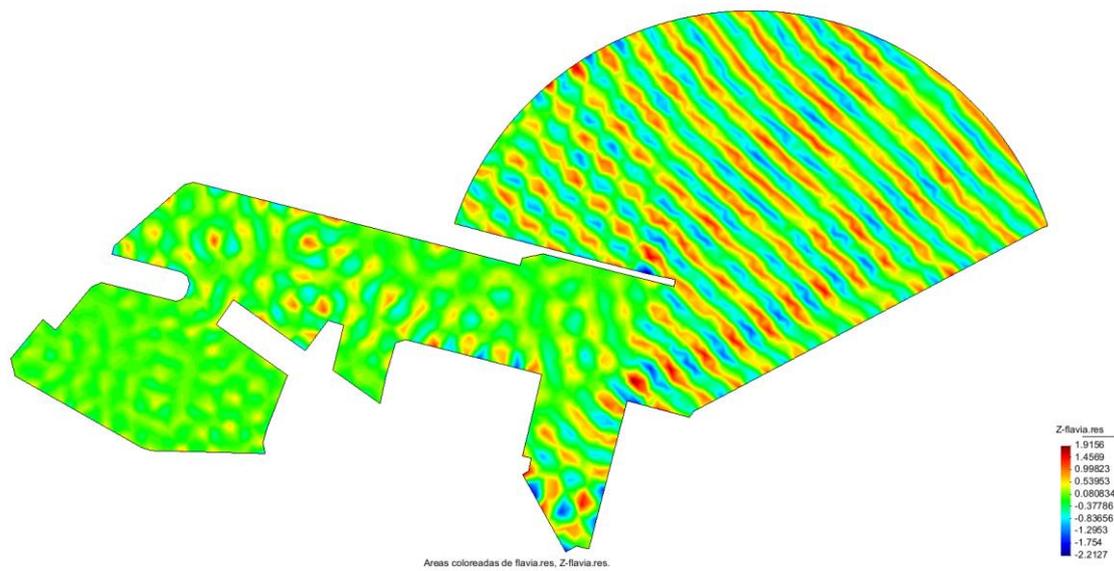


Figura A.III. 42. Coeficientes de agitación para la dirección S con periodo 8.143 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

ONDAS DE INFRAGRAVEDAD ALTERNATIVA 1

Dir. ENE Tp(s) 120

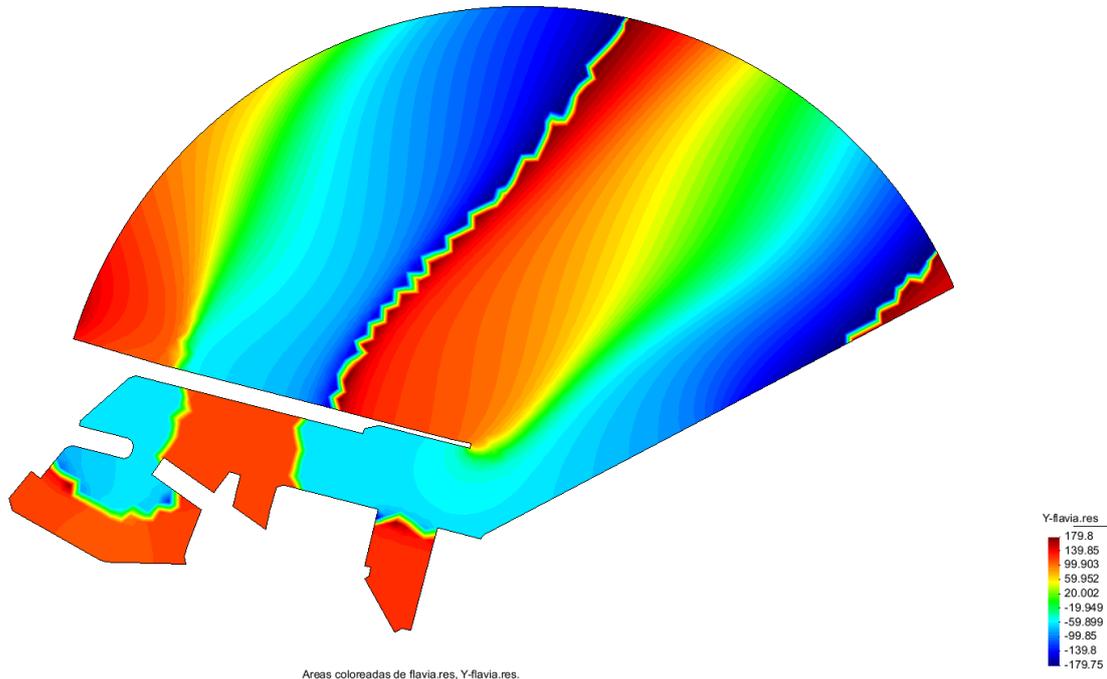


Figura A.III. 43. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

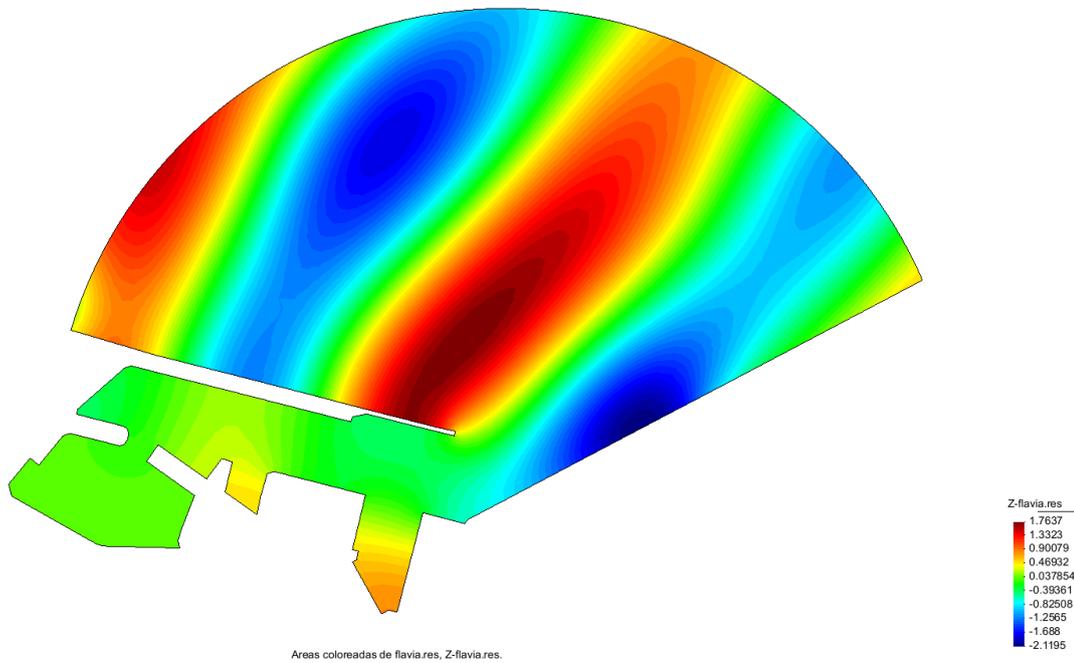


Figura A.III. 44. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 240

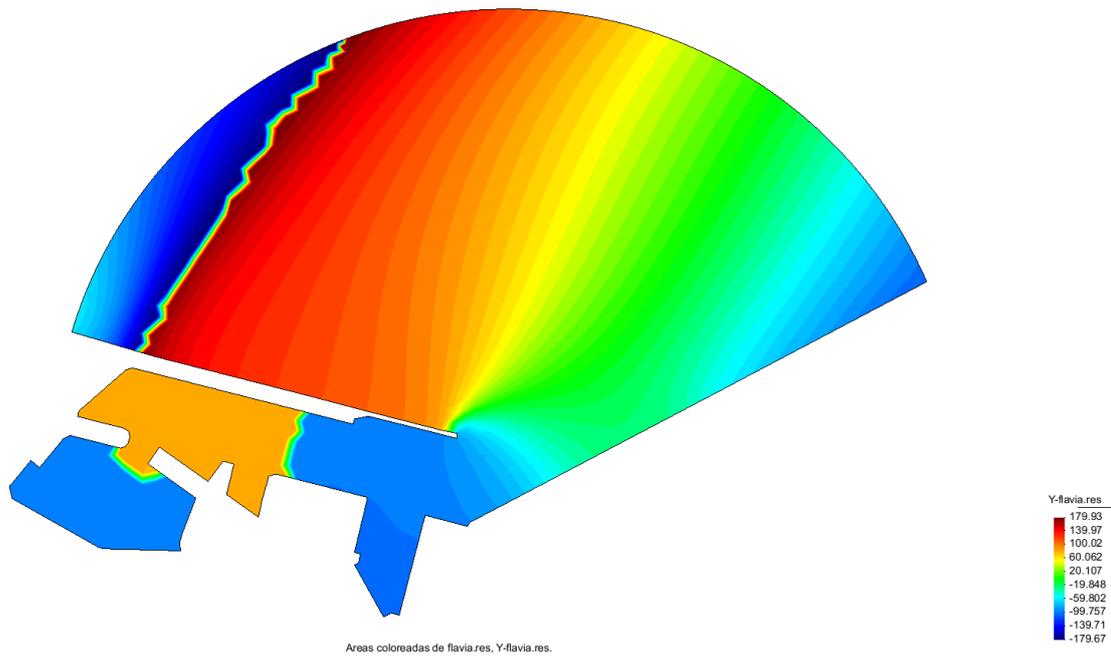


Figura A.III. 45. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

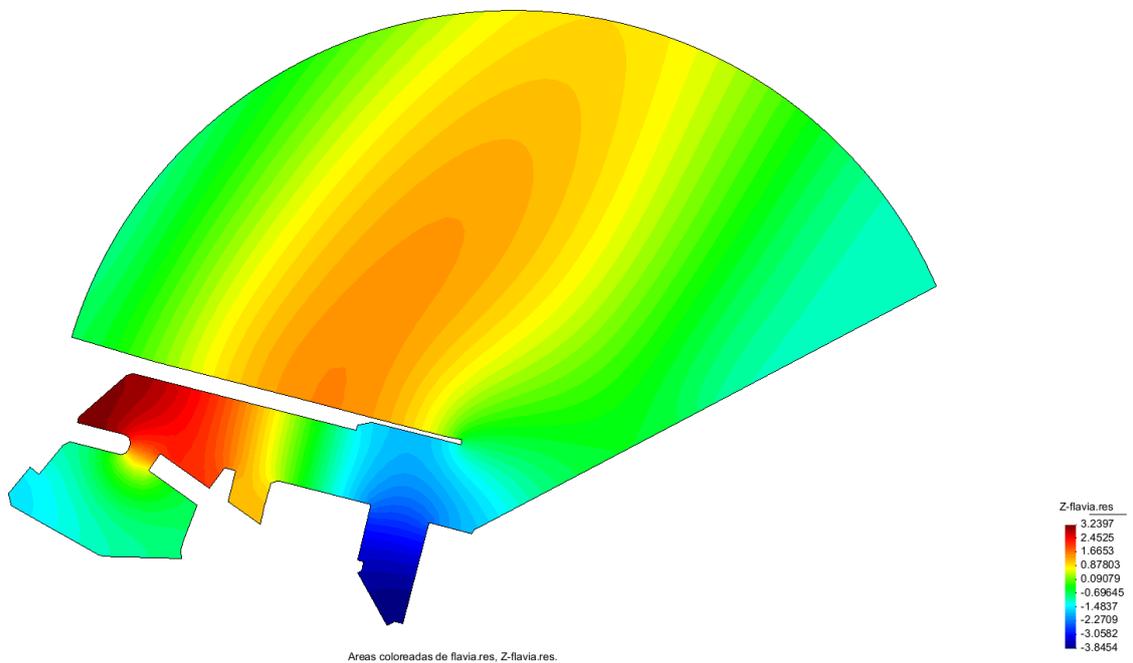


Figura A.III. 46. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 120

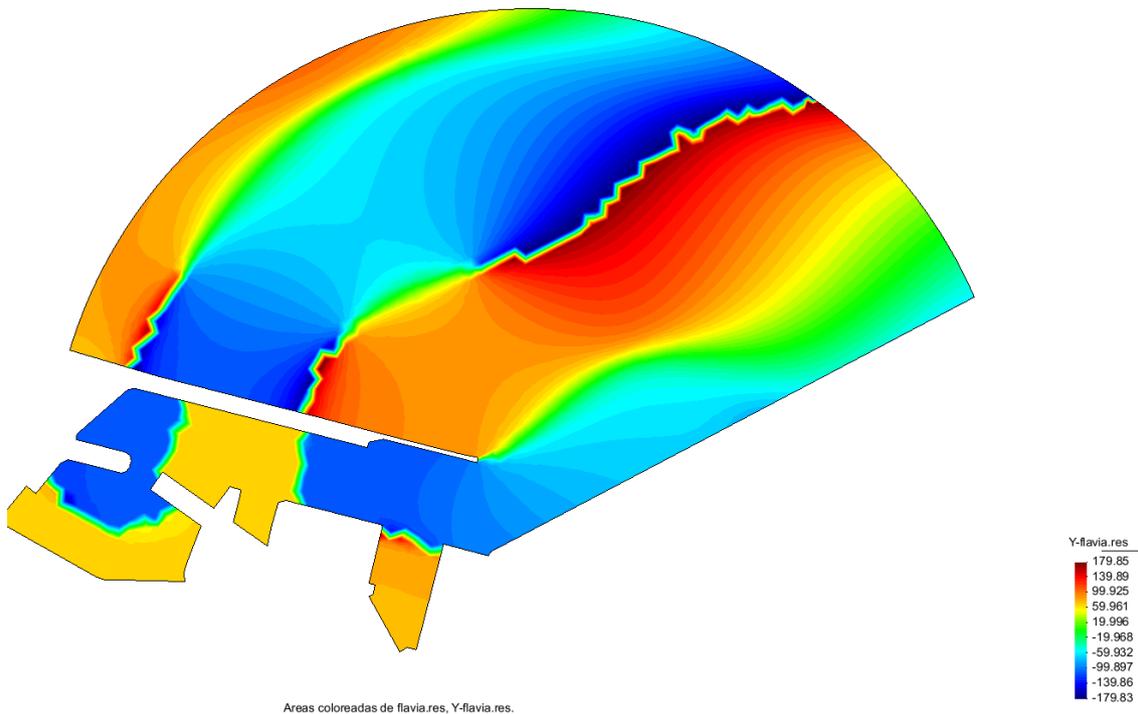


Figura A.III. 47. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

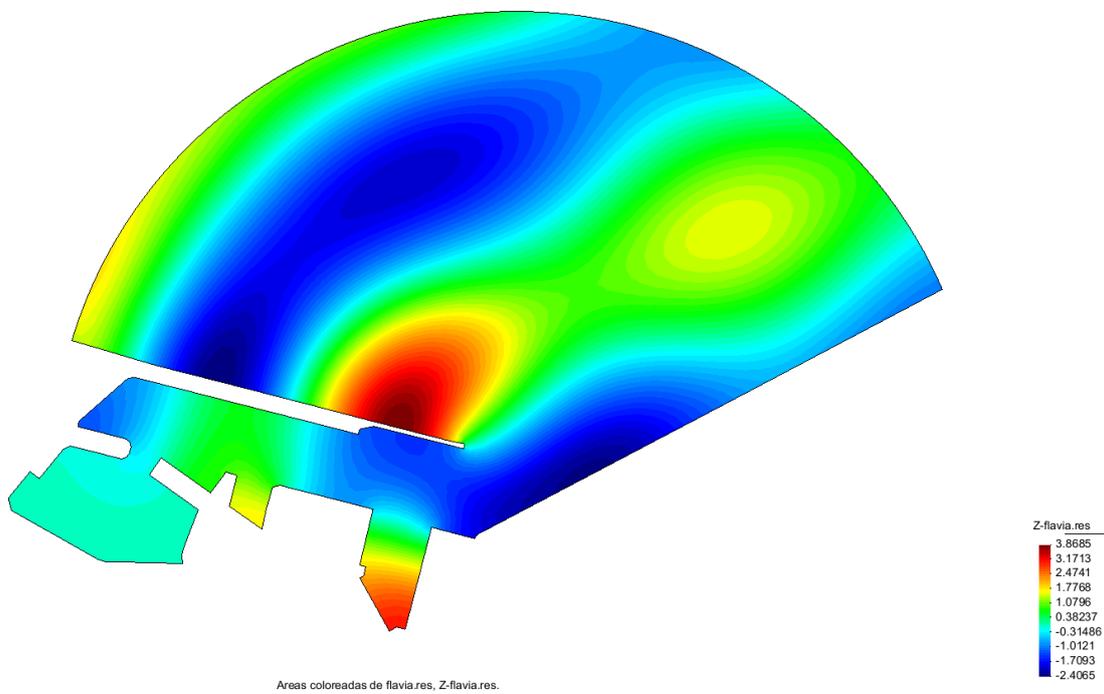


Figura A.III. 48. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 240

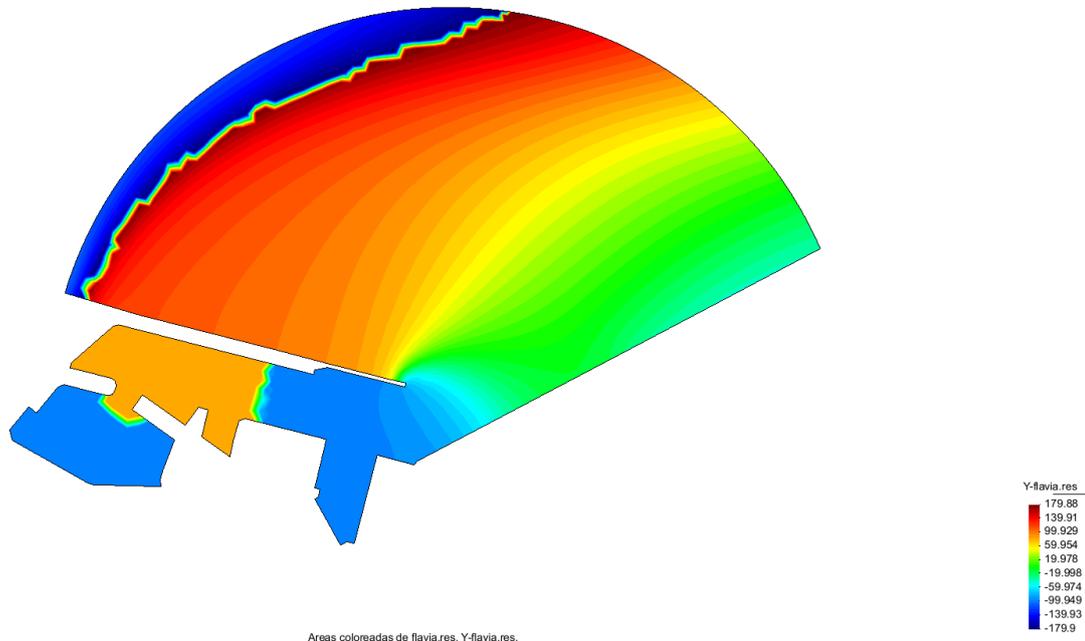


Figura A.III. 49. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

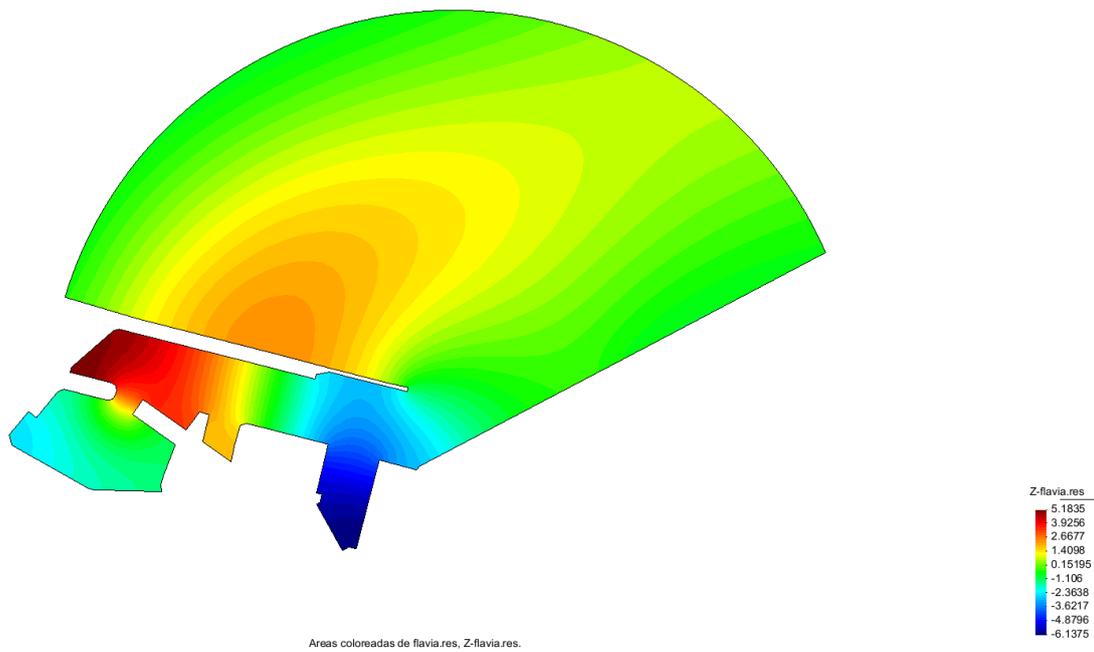


Figura A.III. 50. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 120

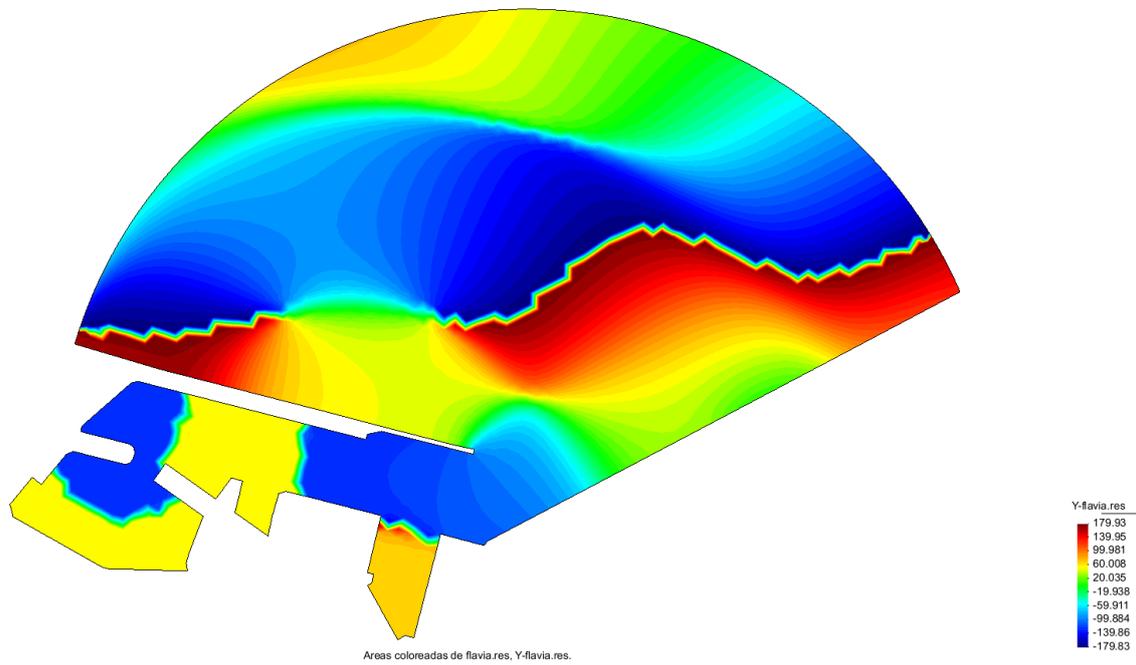


Figura A.III. 51. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

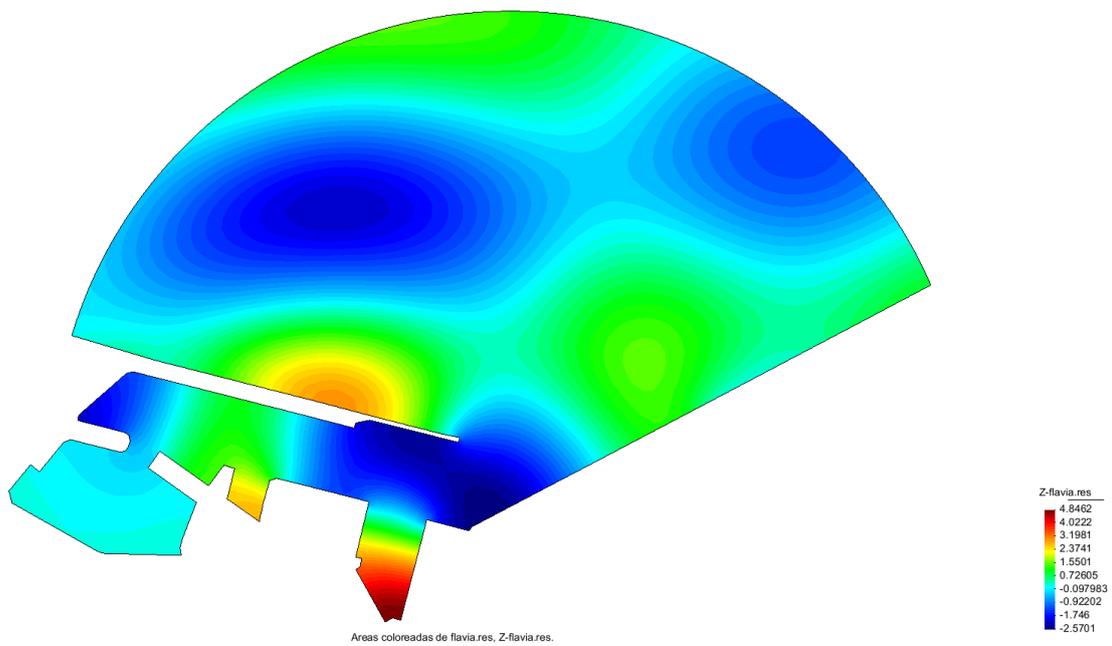


Figura A.III. 52. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 240

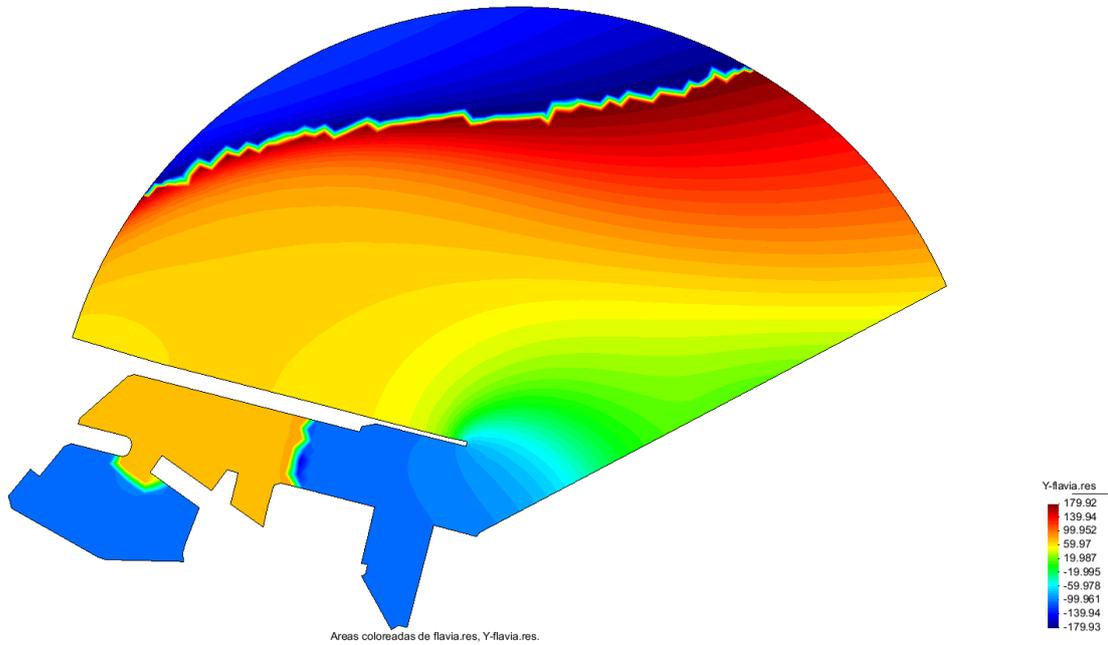


Figura A.III. 53. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

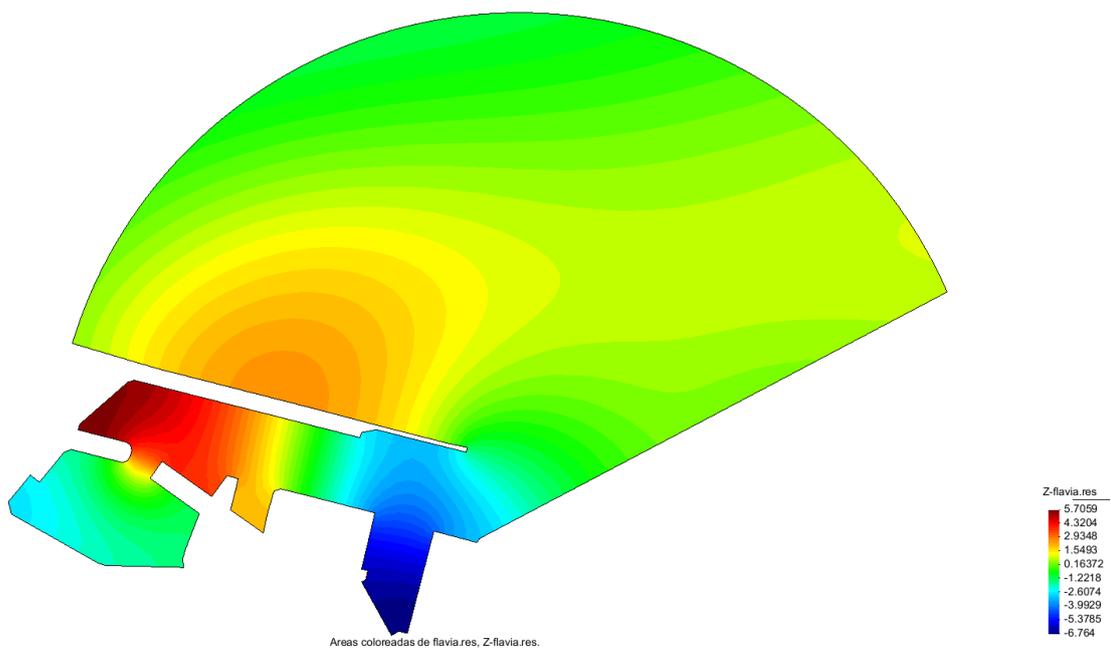


Figura A.III. 54. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

ONDAS DE INFRAGRAVEDAD ALTERNATIVA 2 y 3

Dir. ENE Tp(s) 120

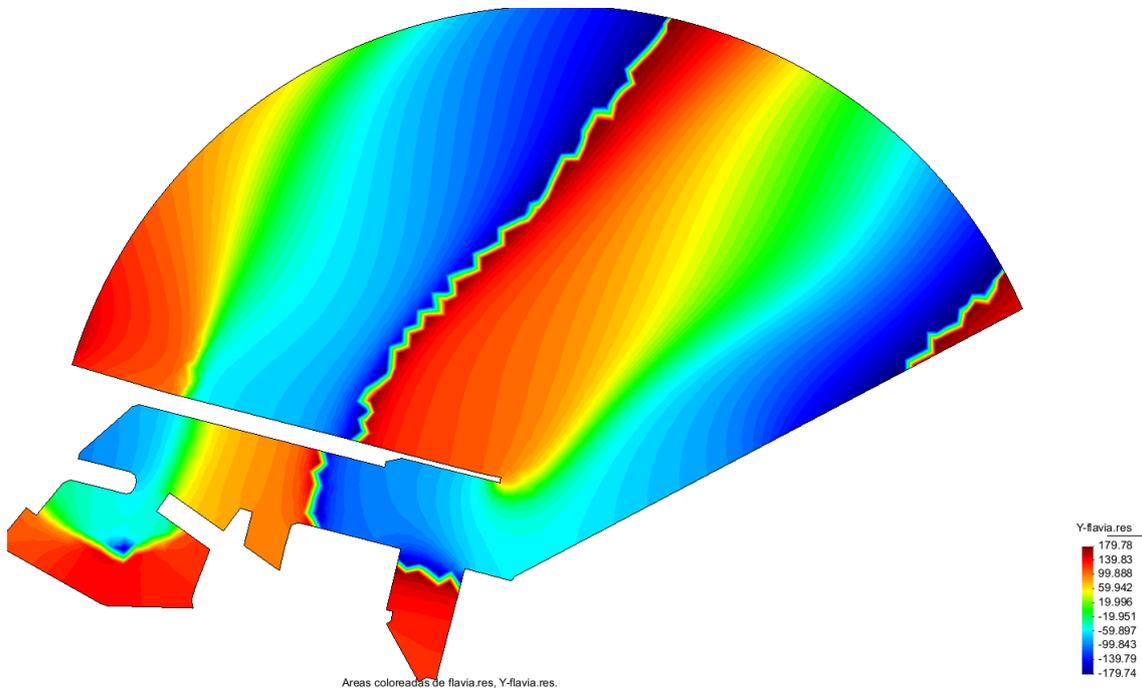


Figura A.III. 55. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

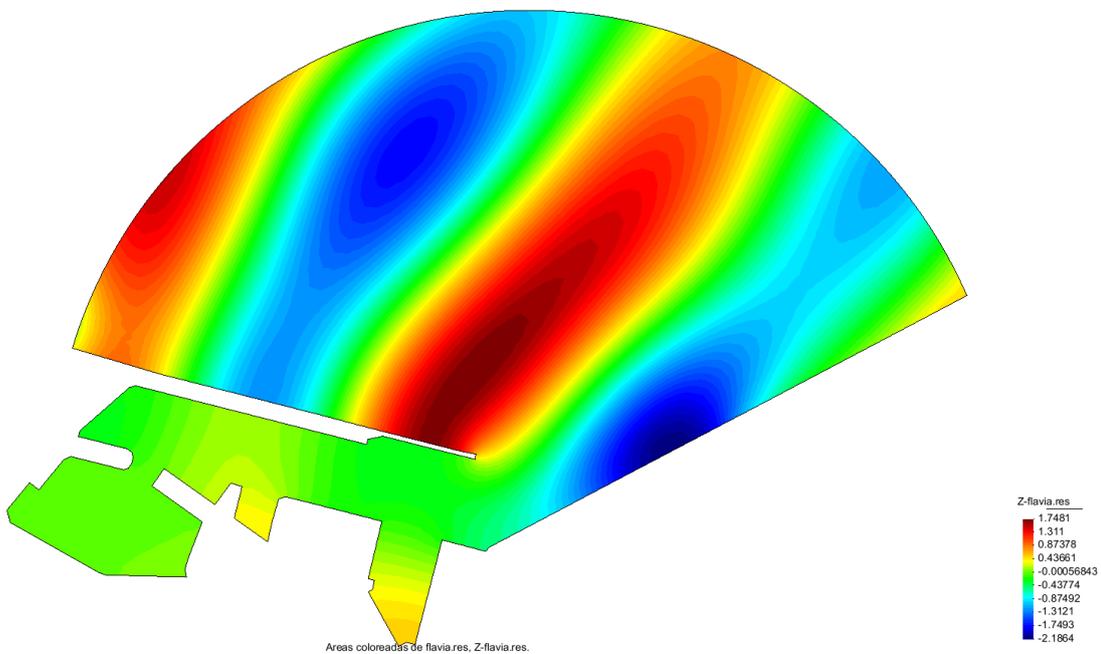


Figura A.III. 56. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ENE Tp(s) 240

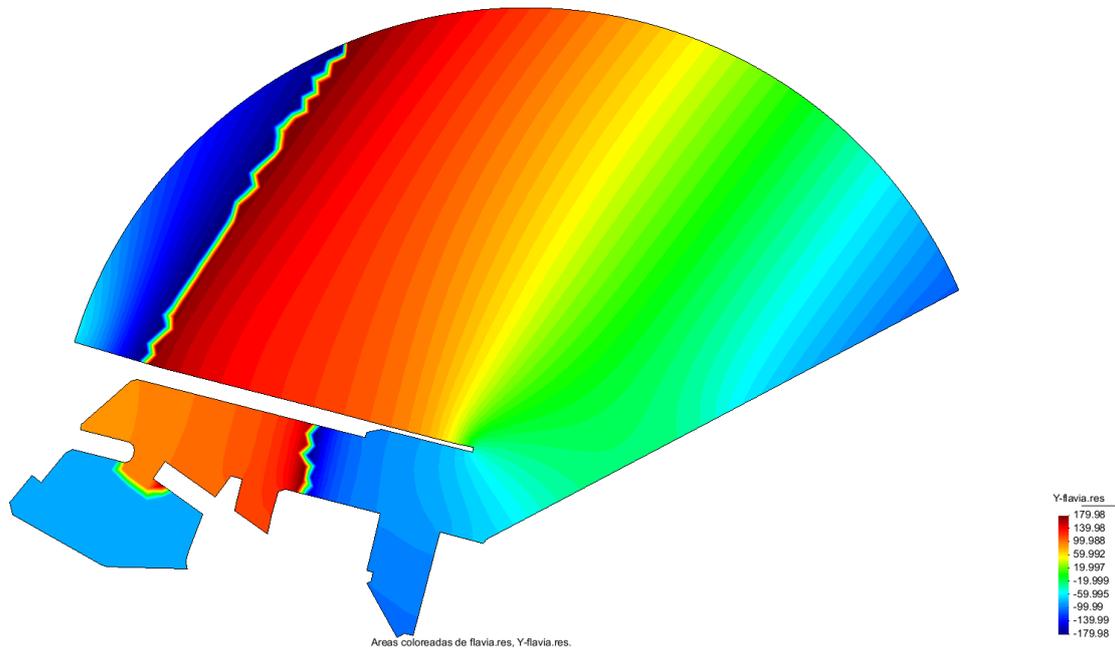


Figura A.III. 57. Diagrama de fases para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

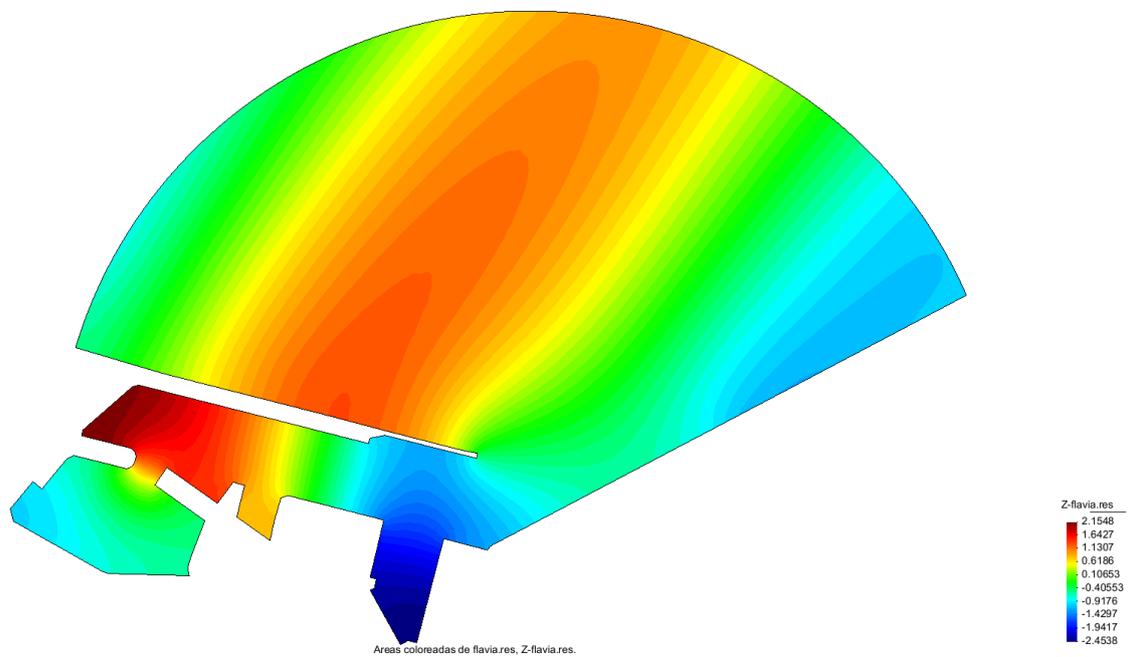


Figura A.III. 58. Coeficientes de agitación para la dirección ENE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E $T_p(s)$ 120

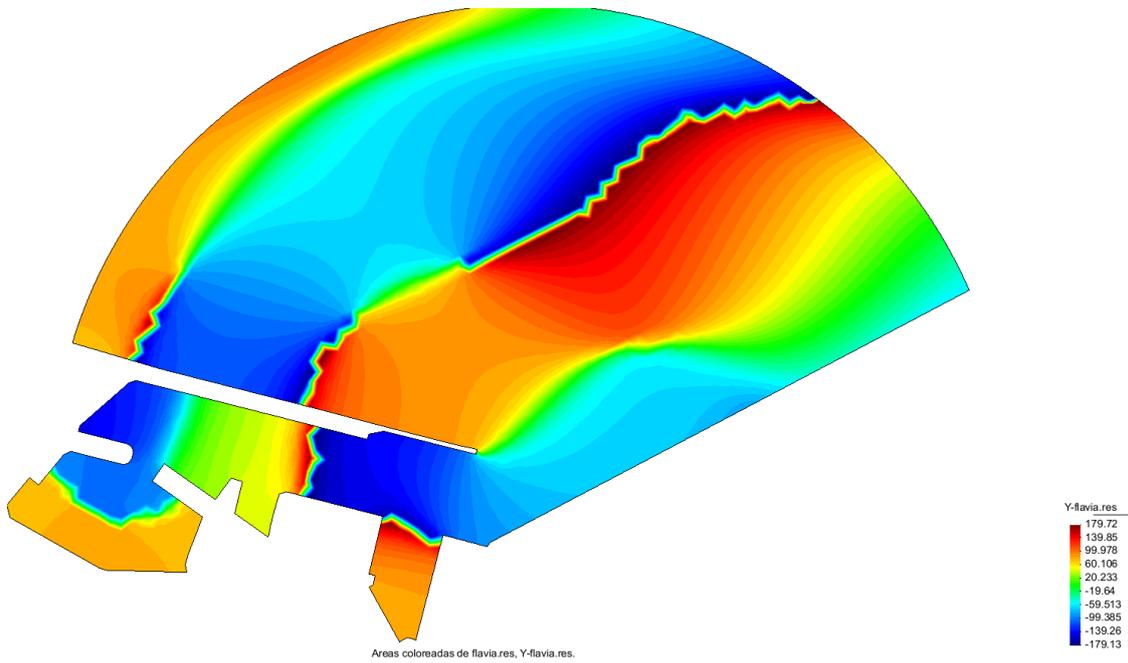


Figura A.III. 59. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

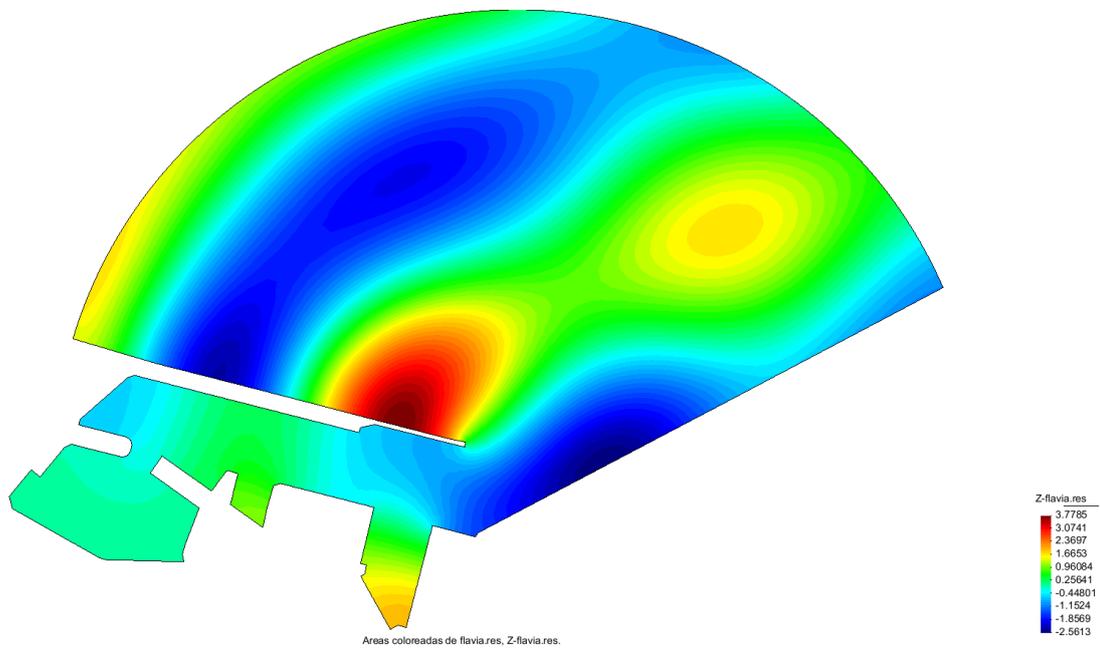


Figura A.III. 60. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. E Tp(s) 240

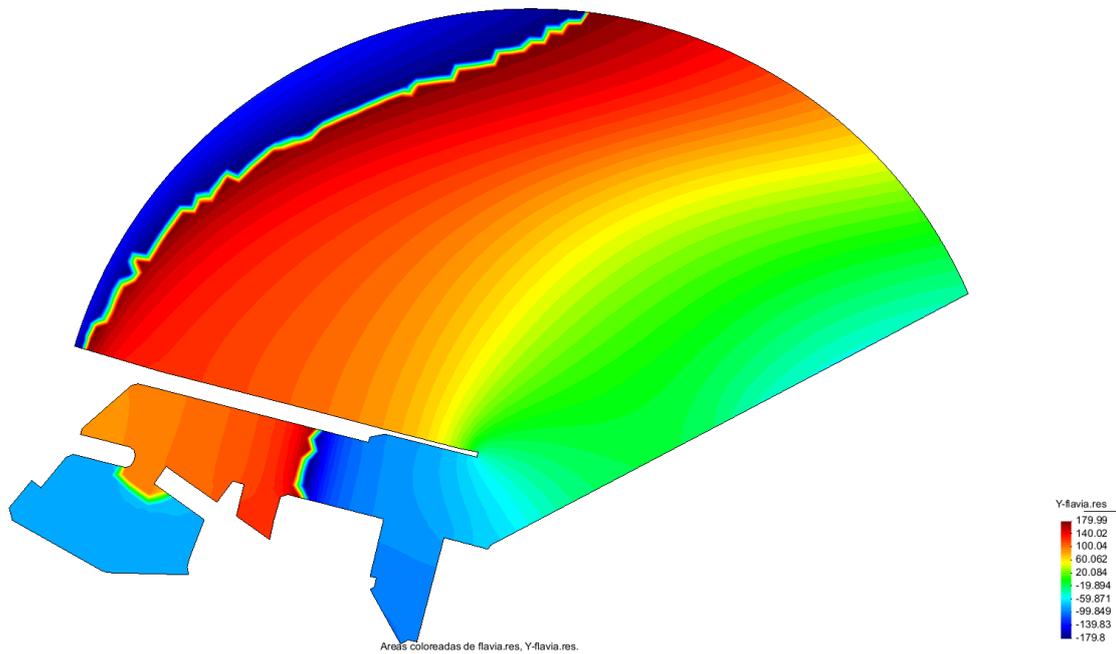


Figura A.III. 61. Diagrama de fases para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

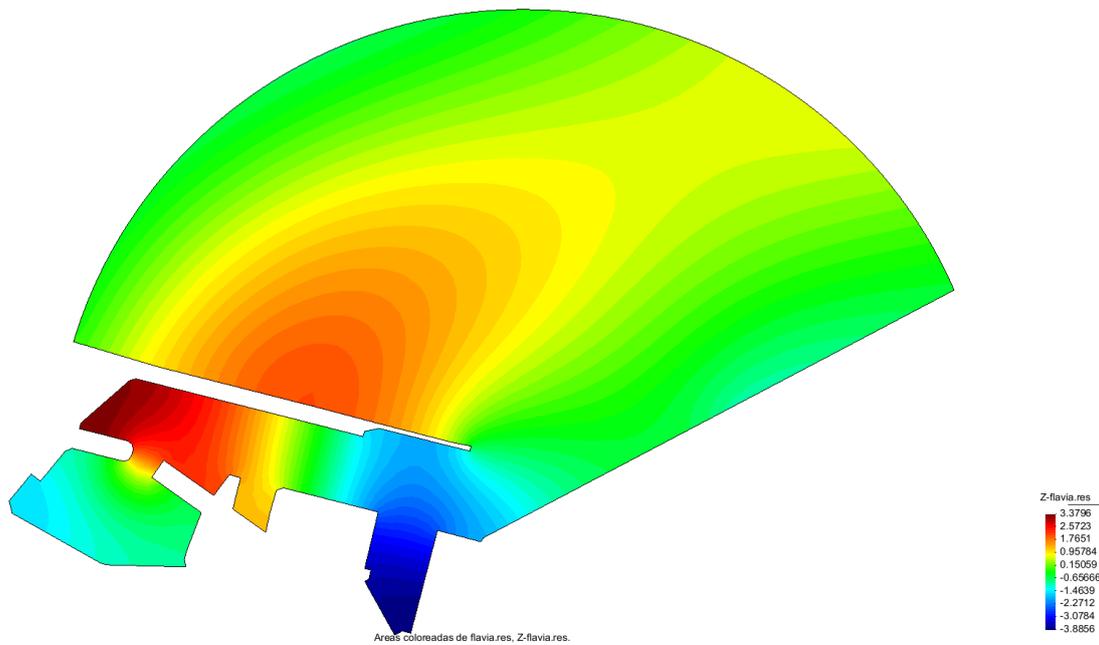


Figura A.III. 62. Coeficientes de agitación para la dirección E con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 120

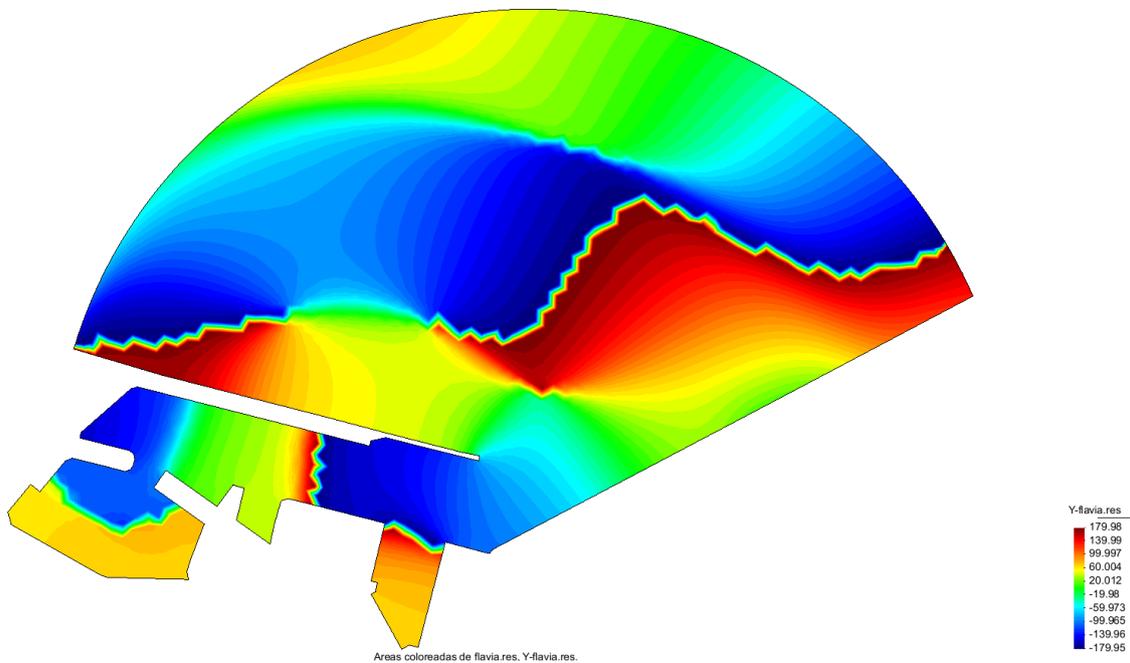


Figura A.III. 63. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

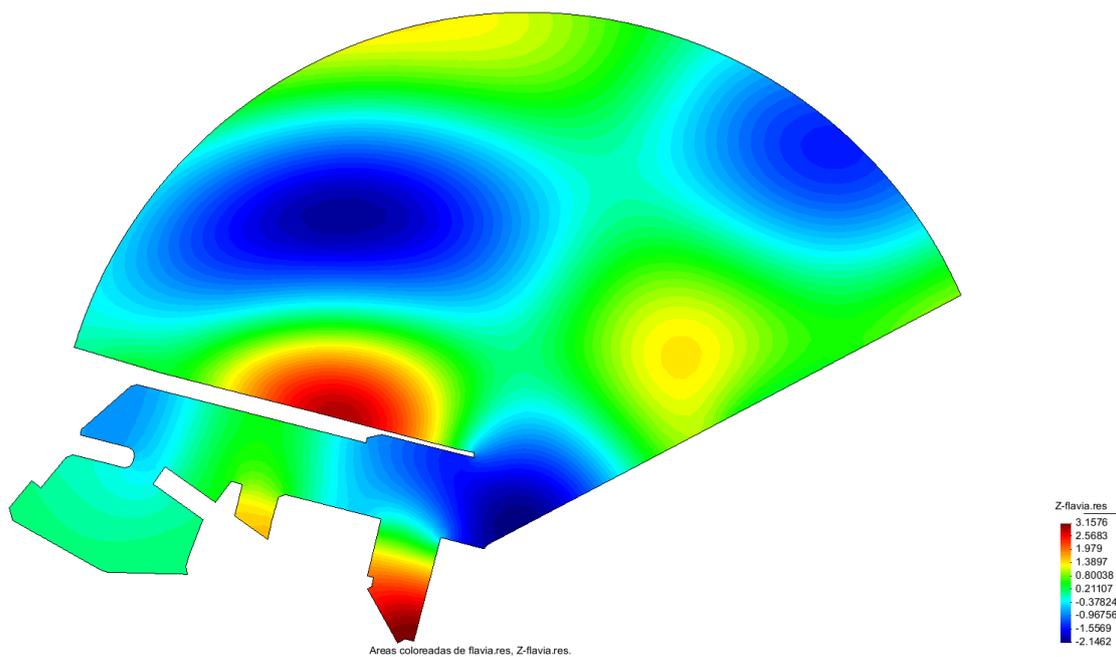


Figura A.III. 64. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 120 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

Dir. ESE Tp(s) 240

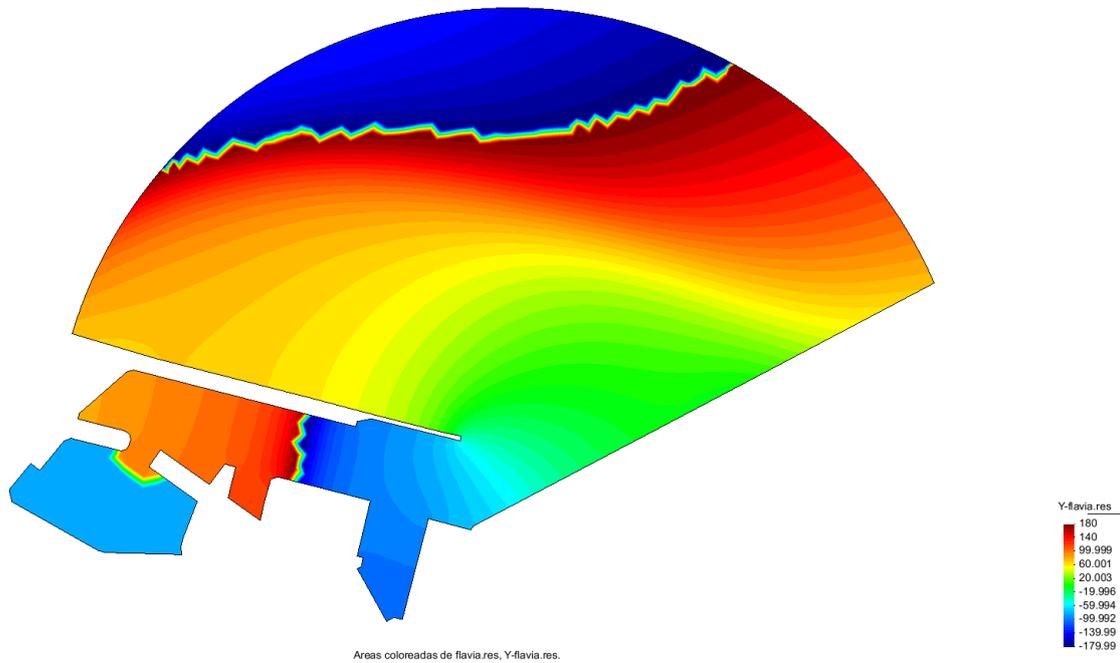


Figura A.III. 65. Diagrama de fases para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

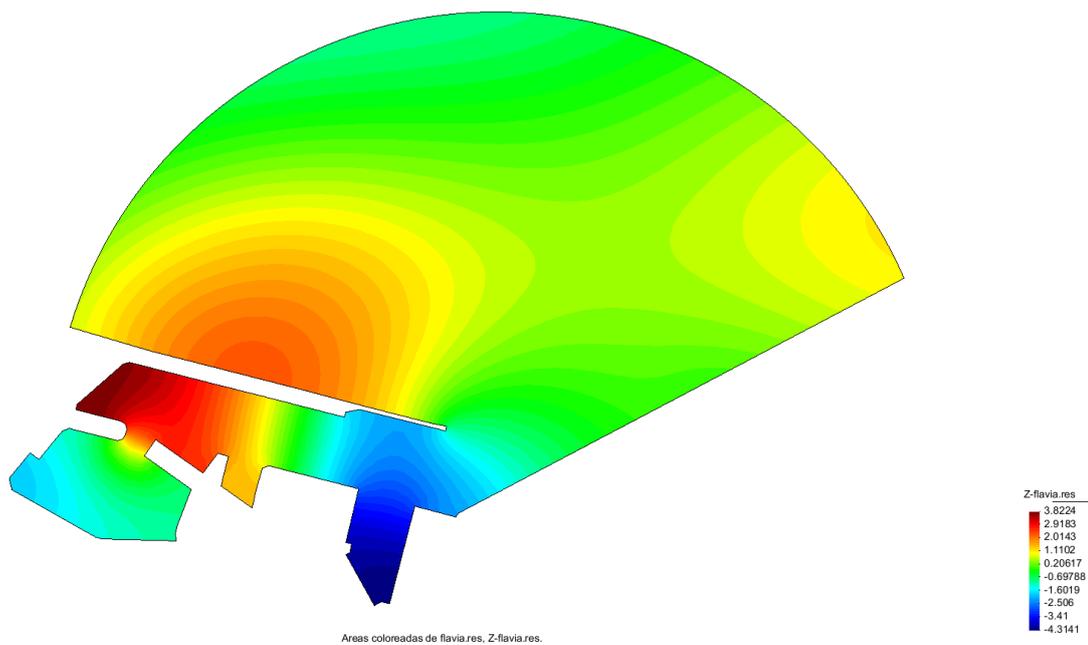
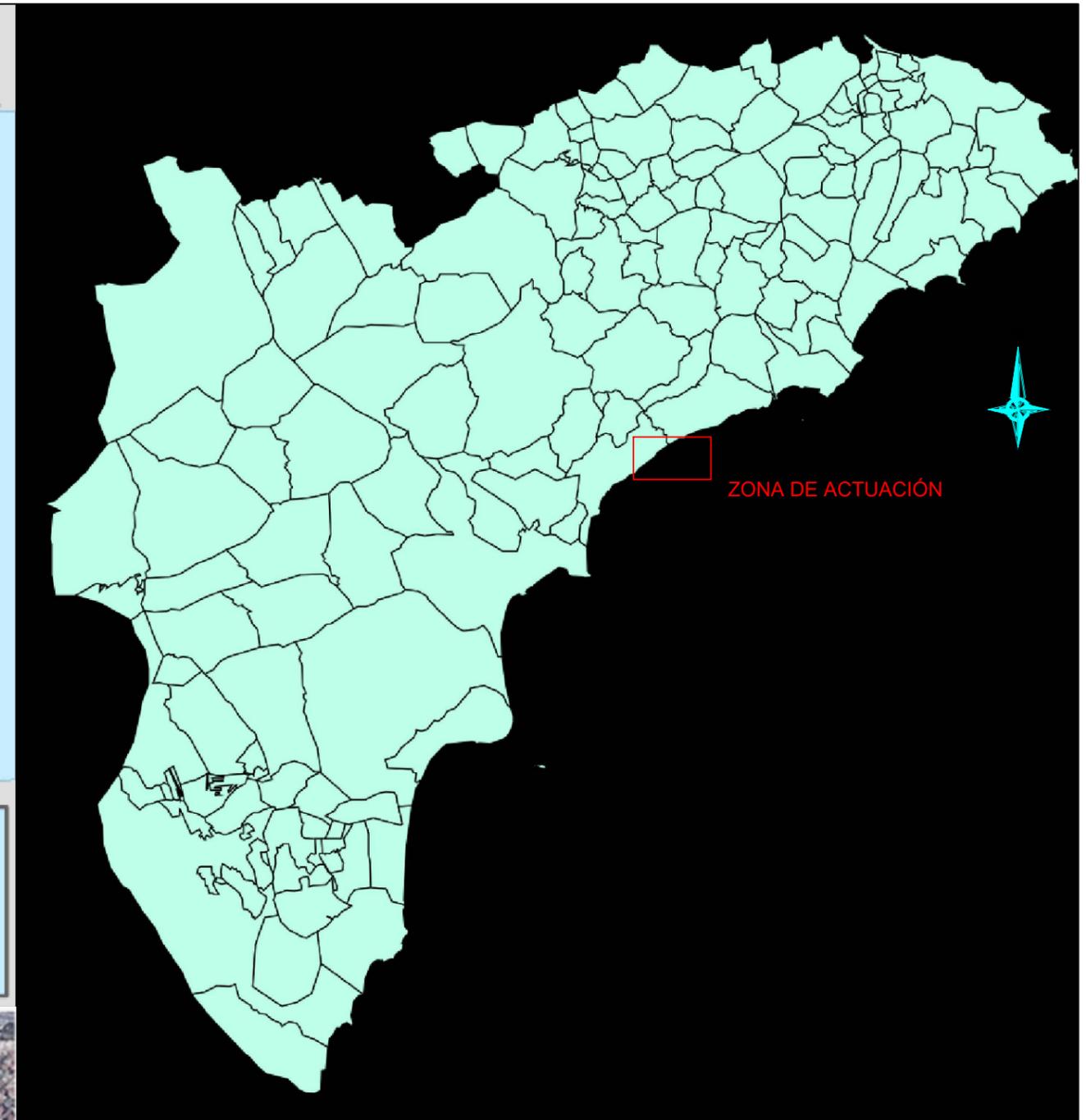
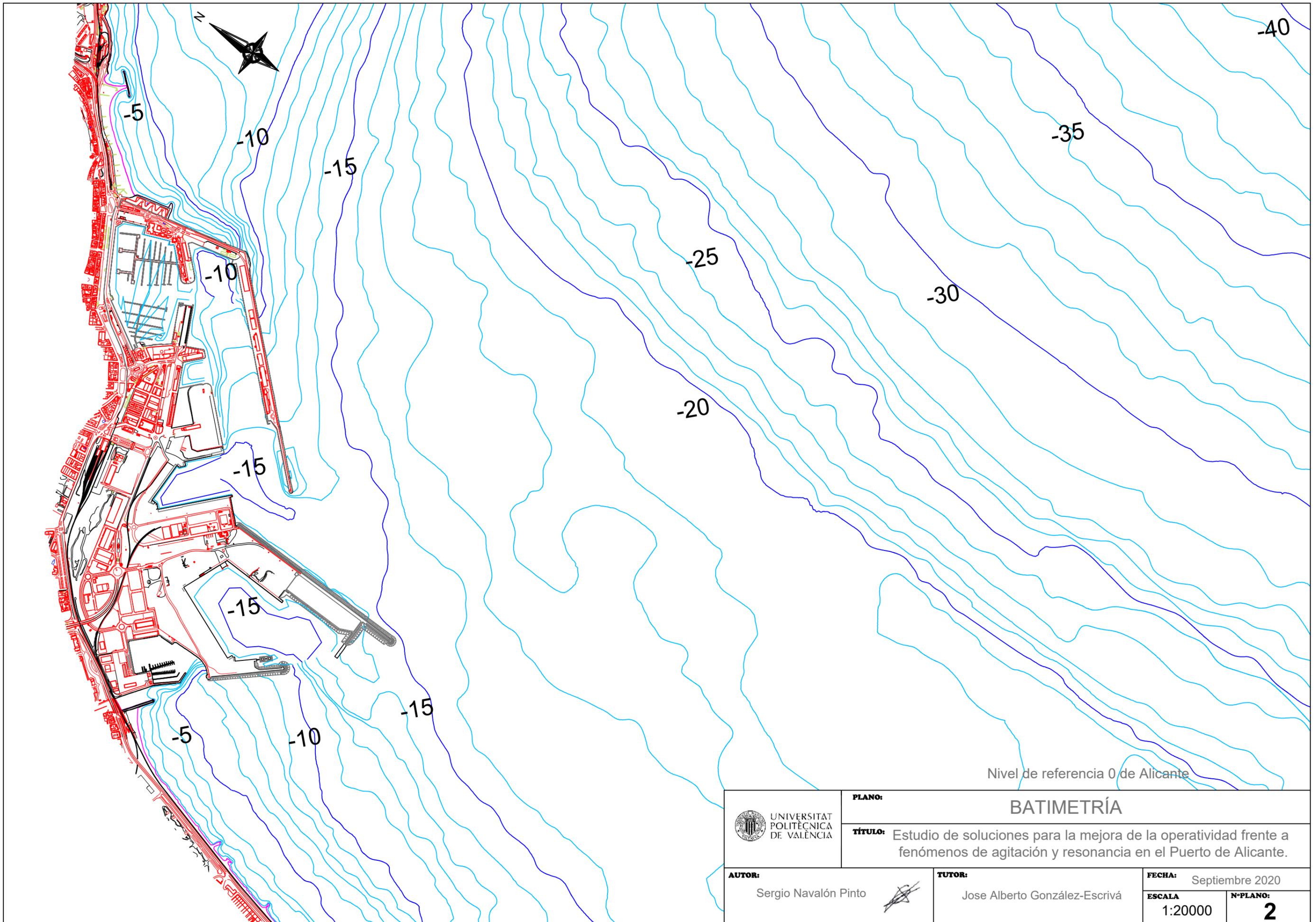


Figura A.III. 66. Coeficientes de agitación para la dirección ESE con periodo 240 seg. Fuente: Elaboración propia con uso del GID

PLANOS

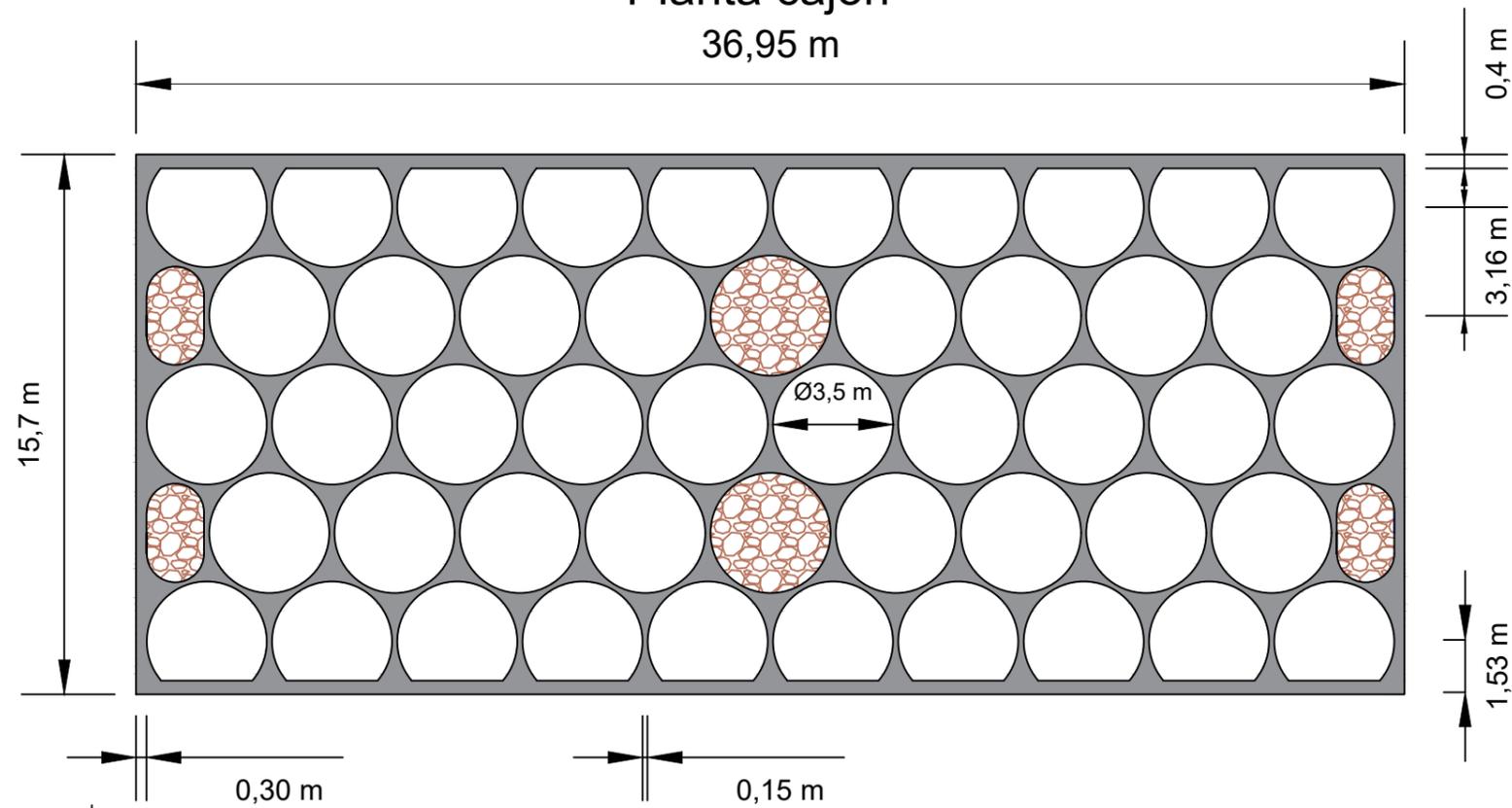


 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	PLANO: LOCALIZACIÓN		
	TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.		
AUTOR: Sergio Navalón Pinto		TUTOR: Jose Alberto González-Escrivá	FECHA: Septiembre 2020
ESCALA: S/N		NºPLANO: 1	

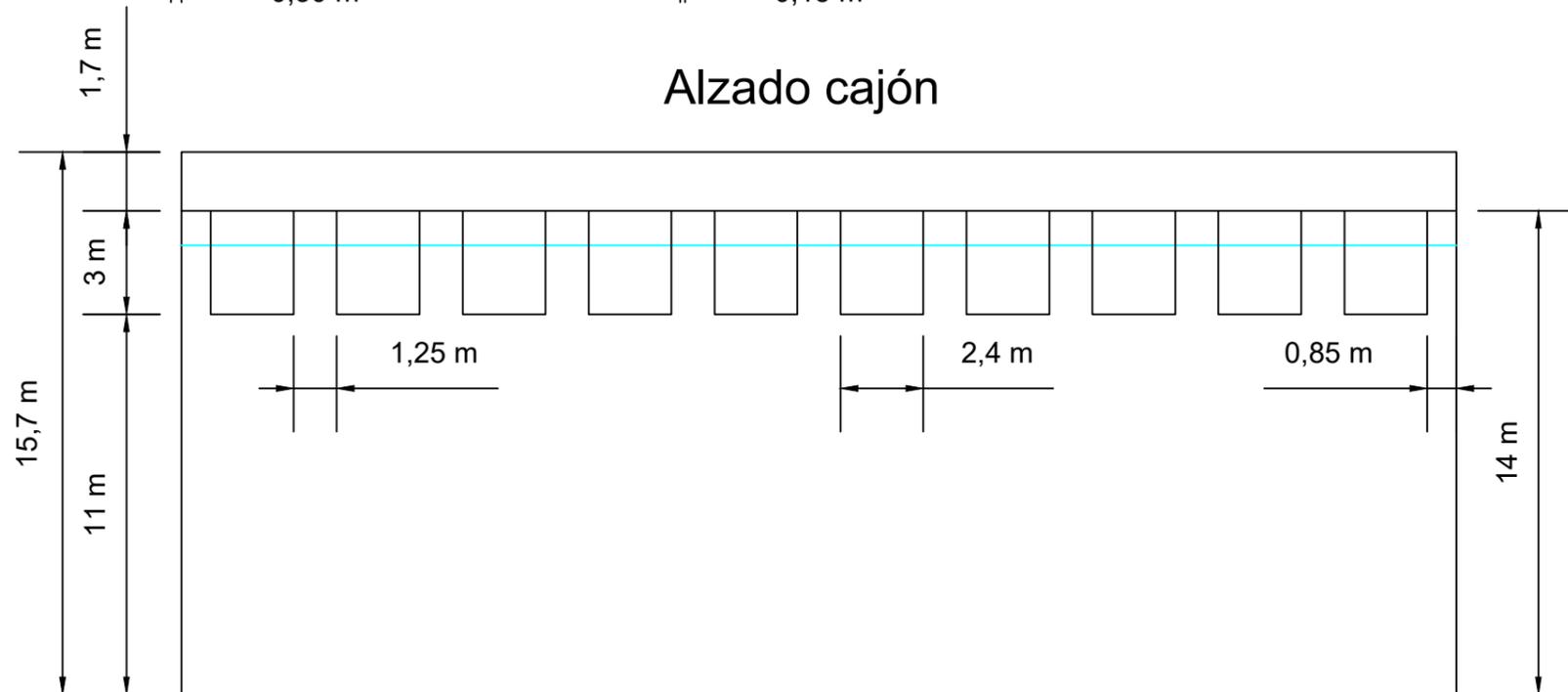


 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	PLANO: BATIMETRÍA		
	TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.		
AUTOR: Sergio Navalón Pinto	 Jose Alberto González-Escrivá	FECHA: Septiembre 2020	ESCALA 1:20000
		NºPLANO: 2	

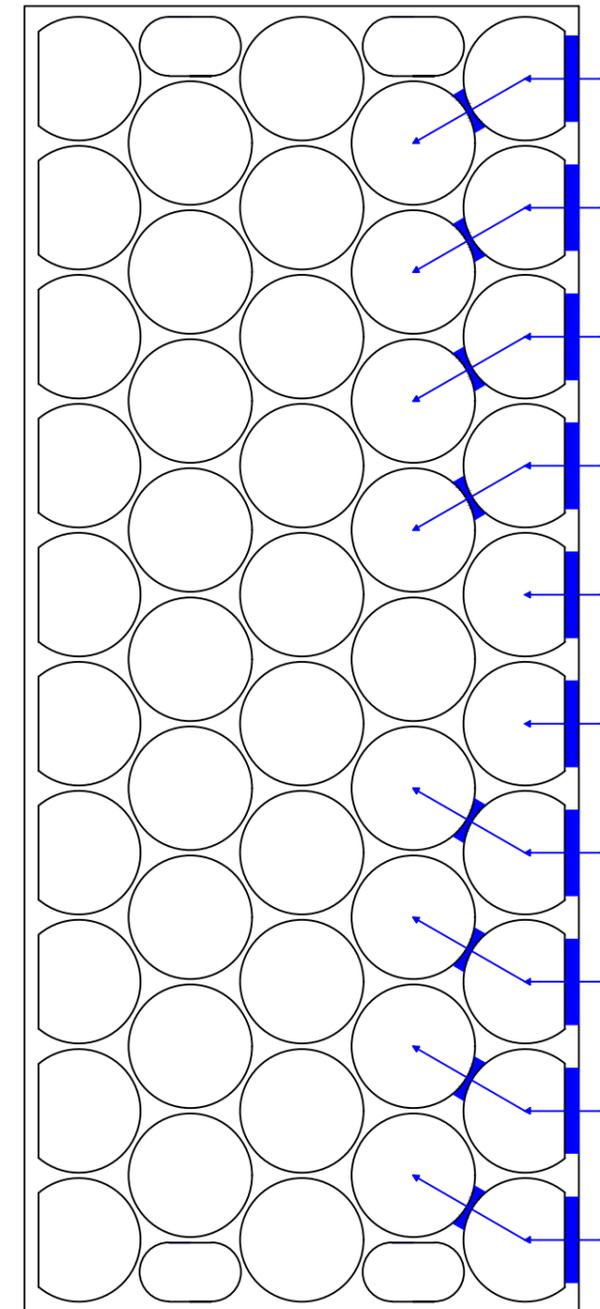
Planta cajón
36,95 m



Alzado cajón



Circuito cajón



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

PLANO:

CAJÓN PARA OLEAJE

TÍTULO:

Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.

AUTOR:

Sergio Navalón Pinto

TUTOR:

Jose Alberto González-Escrivá

FECHA:

Septiembre 2020

ESCALA

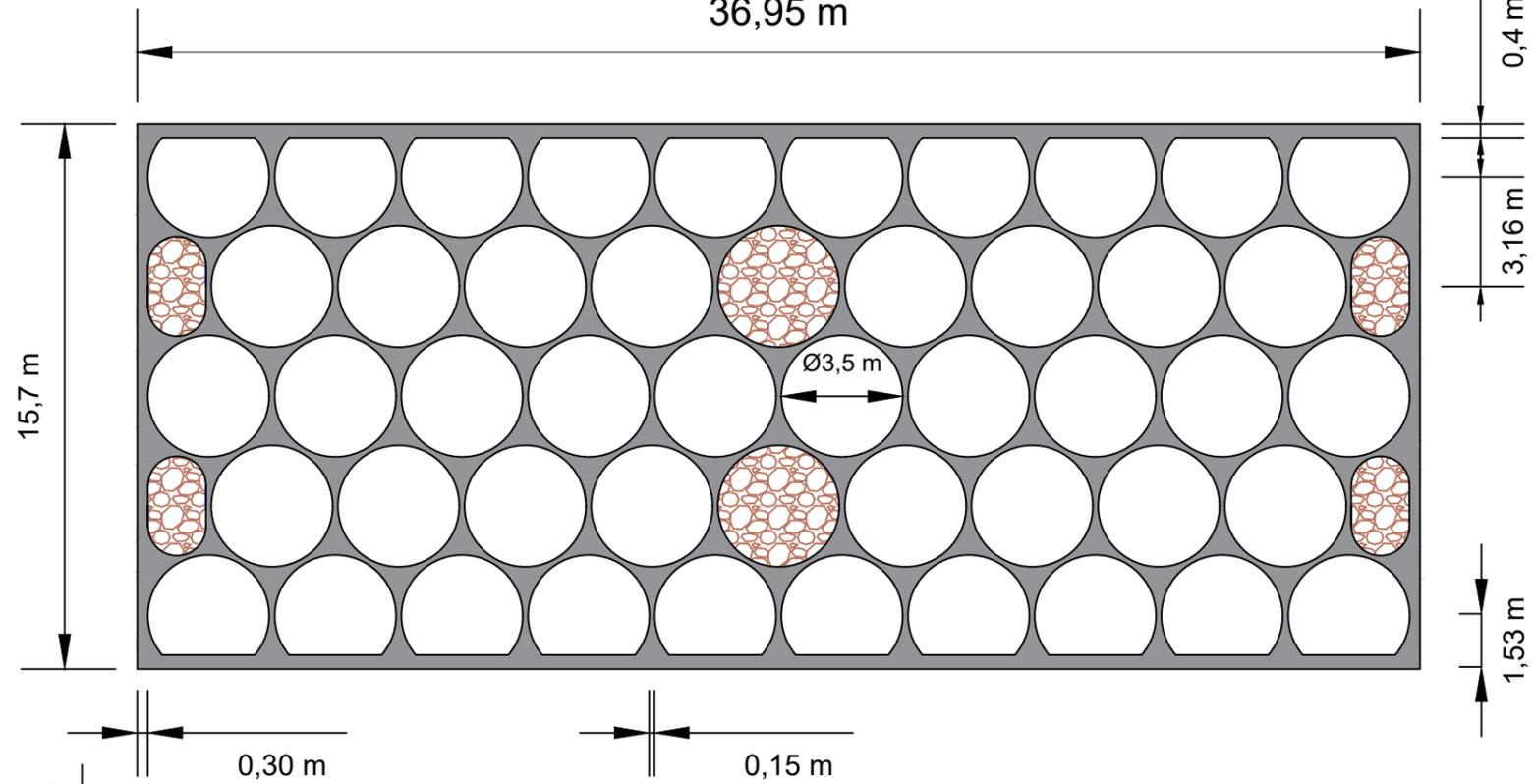
1:200

Nº PLANO:

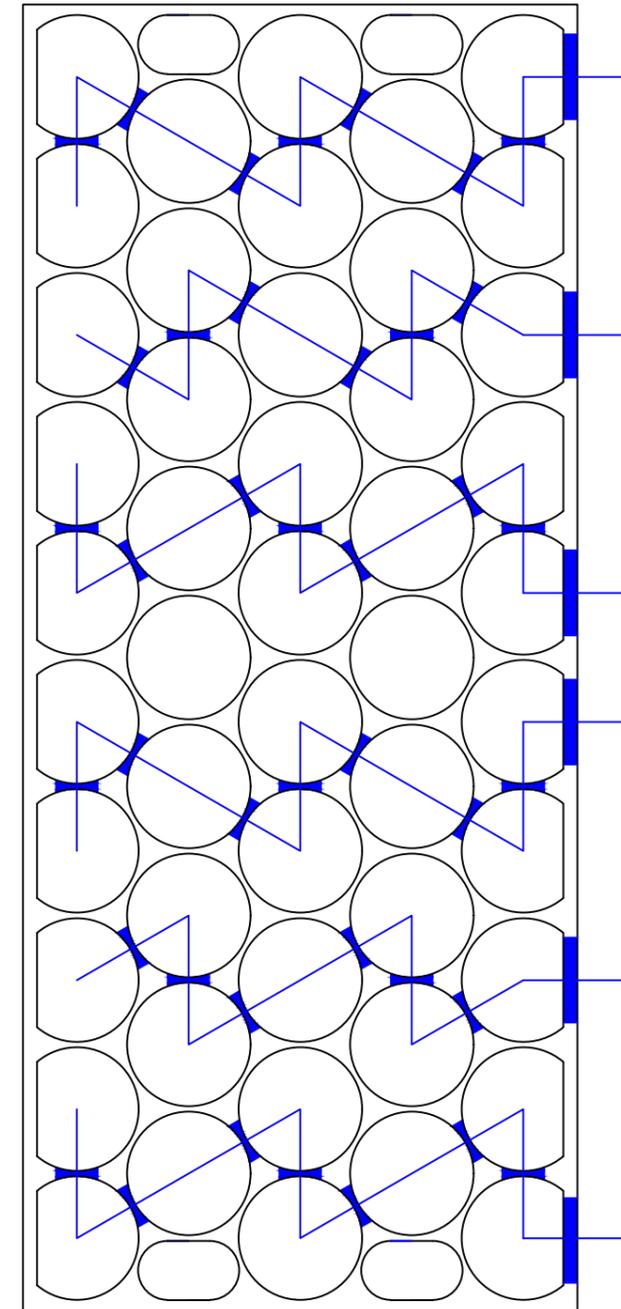
3

Planta cajón

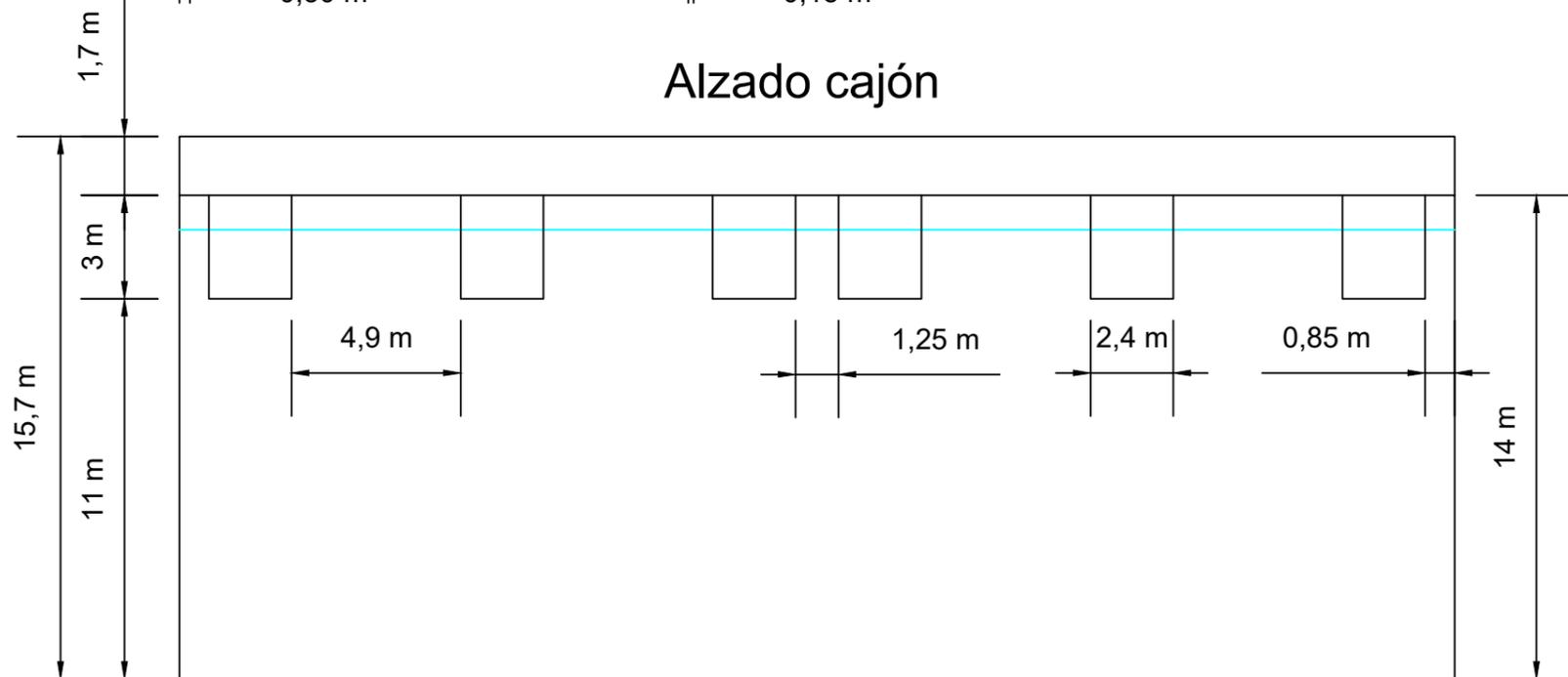
36,95 m



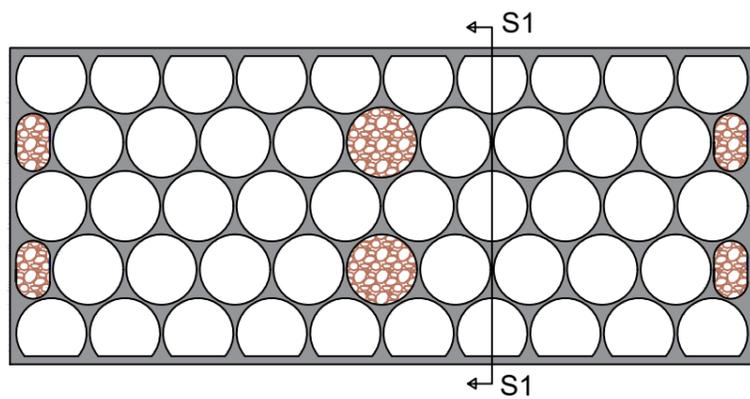
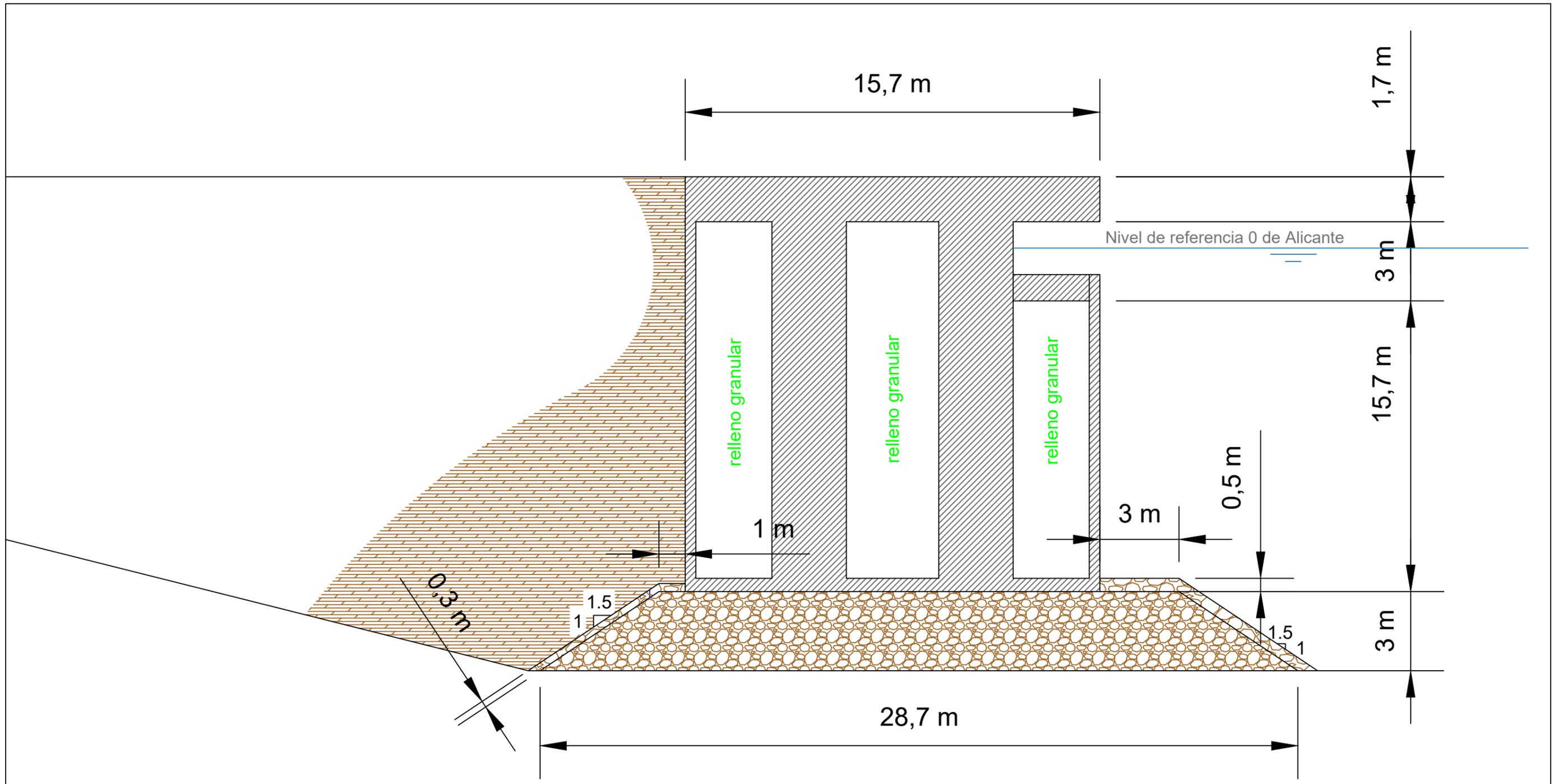
Circuito cajón



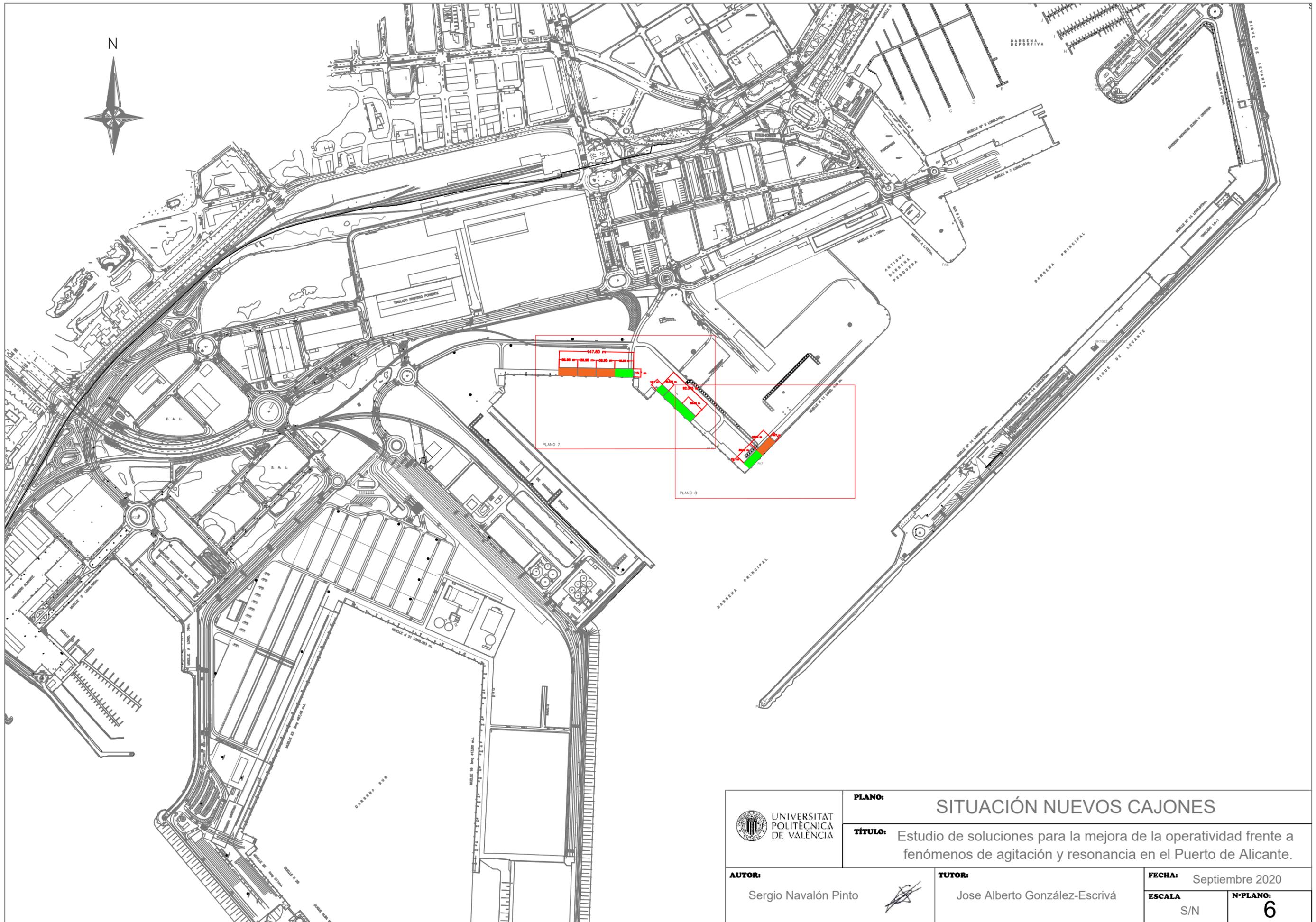
Alzado cajón



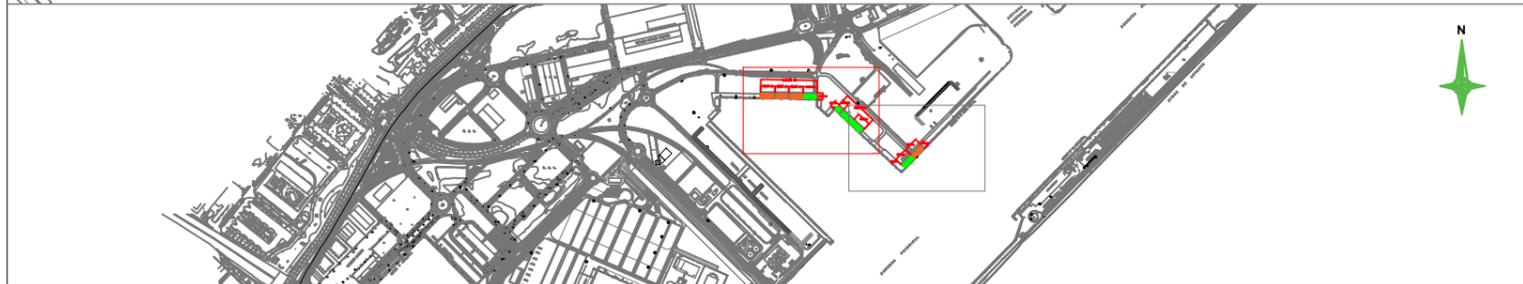
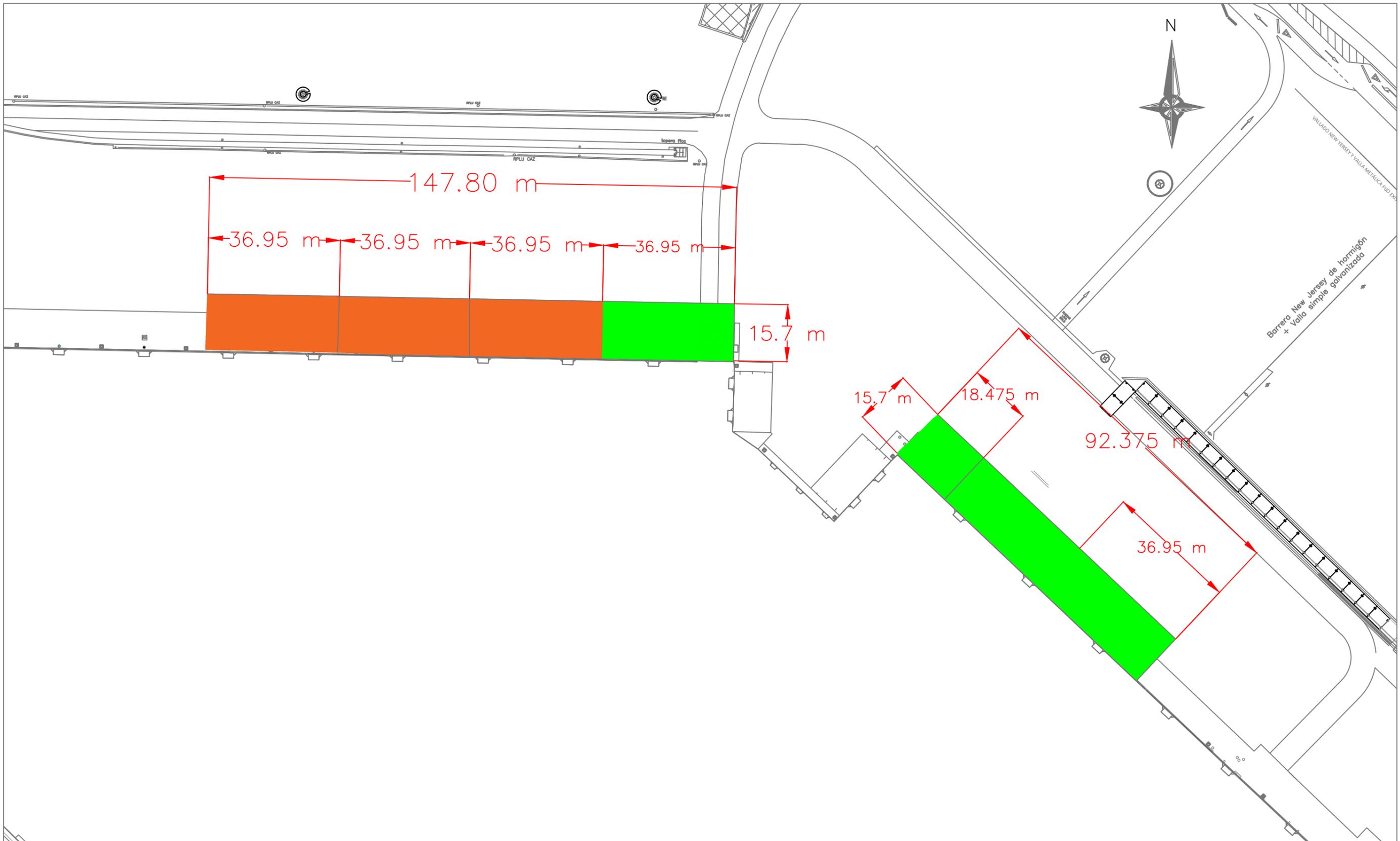
 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	PLANO: CAJÓN PARA INFRAGRAVEDAD	
	TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.	
AUTOR: Sergio Navalón Pinto	TUTOR: Jose Alberto González-Escrivá	FECHA: Septiembre 2020
		ESCALA: 1:200
		Nº PLANO: 4



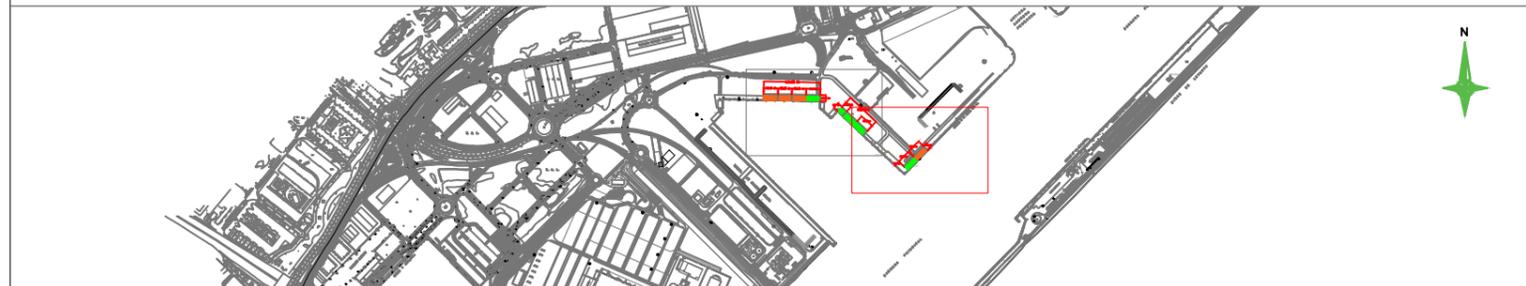
 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	PLANO: CAJÓN PERFIL GENÉRICO		
	TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.		
AUTOR: Sergio Navalón Pinto	TUTOR: Jose Alberto González-Escrivá	FECHA: Septiembre 2020	NºPLANO: 5
		ESCALA: 1:150	



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	PLANO: SITUACIÓN NUEVOS CAJONES
	TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.
AUTOR: Sergio Navalón Pinto	TUTOR: Jose Alberto González-Escrivá
FECHA: Septiembre 2020	NºPLANO: 6
ESCALA: S/N	



 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	PLANO: SITUACIÓN NUEVOS CAJONES	
	TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.	
AUTOR: Sergio Navalón Pinto	 TUTOR: Jose Alberto González-Escrivá	FECHA: Septiembre 2020
		ESCALA: 1:1000
		NºPLANO: 7



PLANO: SITUACIÓN NUEVOS CAJONES

TÍTULO: Estudio de soluciones para la mejora de la operatividad frente a fenómenos de agitación y resonancia en el Puerto de Alicante.

AUTOR: Sergio Navalón Pinto



TUTOR: Jose Alberto González-Escrivá

FECHA: Septiembre 2020

ESCALA: 1:1000

Nº PLANO: 8