

**IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN
DE ONDULACIONES EN LA
LÍNEA DE COSTA
Base de datos Europea**

PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Por:

Andrea Lira Loarca

Tutores:

Alejandro López Ruiz
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Miguel Ángel Losada Rodríguez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Miguel Ortega Sánchez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales
Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
UNIVERSIDAD DE GRANADA

**IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN
DE ONDULACIONES EN LA
LÍNEA DE COSTA
Base de datos Europea**

PROYECTO FIN DE CARRERA
Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Por:

Andrea Lira Loarca

Tutores:

Alejandro López Ruiz
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Miguel Ángel Losada Rodríguez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Miguel Ortega Sánchez
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales
Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
UNIVERSIDAD DE GRANADA

Agradecimientos

Este proyecto cierra una etapa de mi vida y son muchas las personas a quienes deseo agradecer, ya que de un modo u otro han sido de apoyo en el transcurso del proceso.

En especial quiero agradecer a Dios y a mi familia. Ha sido un camino muy largo para llegar a este punto y estoy convencida que no podría haberlo logrado sin ellos. Gracias a mis padres por su apoyo incondicional y por el esfuerzo realizando para que hoy yo pueda estar aquí. Gracias por la paciencia en las tantas épocas de exámenes y aquellos malos momentos en los siempre me sentí apoyada.

Agradezco a mis tutores por toda la ayuda proporcionada en la elaboración de este Proyecto Fin de Carrera. Mi más sincero agradecimiento a Miguel Ortega Sánchez y Alejandro López Ruiz por su dedicación y apoyo, por la disponibilidad y paciencia que mostraron en todo momento para resolver mis muchas dudas. Agradezco a Pedro Magaña Redondo por sus aportaciones a este proyecto.

Asimismo agradezco a mis amigos por todo lo compartido a lo largo de la carrera. Una etapa llena de momentos inolvidables, algunos positivos y otros de estrés y frustraciones y aunque estos últimos nos ayudaron a aprender, nunca superaron a los tantos buenos momentos que pasamos juntos. Esta amistad que empezó hace años, espero que pueda seguir muchos más.

Resumen

La costa es la frontera entre los medios marino y terrestre, la piel del continente, la zona de transferencia y mezcla de agua, sustancias y vida. Sobre ella actúan diferentes agentes (oleaje, marea, viento, lluvia, entre otros) cuyas características dependen de la zona considerada, y que no hacen sino modificar la morfodinámica de la costa. Su acción continuada y diferenciada a lo largo de miles de años sobre distintos sustratos ha dado lugar a un conjunto de formas costeras como bahías, calas, estuarios, deltas, lagunas, acantilados y playas que surcan nuestras costas y que hacen de ellas entornos únicos e irrepetibles.

Durante las últimas décadas se ha intentado entender cómo cambia la línea de costa y cuáles son los principales procesos que intervienen en su evolución. Los problemas de erosión que se están produciendo en numerosas costas, tanto de España como de otros países de nuestro entorno, requieren profundizar en el conocimiento de los procesos responsables de la dinámica costera. Así, cada vez más investigaciones están analizando la relación entre la morfodinámica de la línea de costa y los agentes marítimos que la fuerzan. La finalidad última que se persigue es elaborar herramientas que permitan predecir la evolución de la línea de costa a media y gran escala, en el medio y largo plazo, con aplicación directa para el diseño de estrategias orientadas a una gestión sostenible de la costa.

La línea de costa, límite entre la tierra y el mar, migra diariamente con la marea, cambia estacionalmente y varía en escalas de tiempo aún mayores conforme la costa sufre erosión (o sedimentación), o conforme el nivel medio del mar asciende (o desciende). De los distintos tipos de morfologías que se pueden encontrar en la costa, las playas han sido las más estudiadas debido a los intereses sociales, económicos y ambientales implicados.

Las playas, en su forma en planta, suelen ser rectas o tener formas curvas suaves sobre las cuales se superponen morfologías secundarias de distinta escala. En los últimos años se ha incrementado el interés en el estudio de las **ondulaciones de media escala de la línea de costa**. Normalmente se clasifican como formas rítmicas aunque con frecuencia no son periódicas ni están regularmente espaciadas. Así, de forma general las ondulaciones de la línea de costa se pueden definir como formas de media escala con longitudes de cientos a miles de metros y amplitudes de decenas a cientos de metros. Muchos autores han denominado a este tipo de formas como ondas de arena (*alongshore sand waves*) considerándolas como formas periódicas (del orden de $10^1 - 10^3$ metros) que se propagan longitudinalmente y que pueden perdurar durante décadas.

En la actualidad no se dispone de bases de datos con información sobre estas ondulaciones de la línea de costa que permitan hacer un análisis amplio de sus patrones de comportamiento. Así, el objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera ha sido identificar y caracterizar las ondulaciones de la línea de costa en Europa, e incluir esta información en una base de datos disponible tanto para los investigadores como para los

gestores de la costa.

El estudio se ha centrado en la costa de países europeos y del norte de África por la cercanía a España y la consecuente facilidad de obtención de datos de clima, oleaje y viento entre otros. En concreto, se ha estudiado la costa de Alemania, Argelia, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Holanda, República de Irlanda, Italia, Marruecos, Portugal y Reino Unido, abarcando aproximadamente 50,000 kilómetros de costa.

El estudio de la línea de costa se ha realizado utilizando imágenes de **Google Earth**. Esta herramienta permite visualizar imágenes de todo el planeta, combinando imágenes de satélite, fotografías aéreas y GIS 3D globe. En la zona de estudio, Google Earth presenta una resolución de <1 metros/pixel, llegando en algunos casos a tener resolución centimétrica.

La línea de costa se analizó visualmente y se identificaron las ondulaciones de la línea de costa según la relación entre la amplitud y longitud de onda (A/λ). Las ondulaciones de la línea de costa identificadas en estudios previos en distintas partes del mundo presentan relaciones A/λ desde 0.012 hasta 0.3, de forma que todas las que se encontraban en ese intervalo se consideraron como *ondulaciones de la línea de costa*.

Una vez identificadas las ondulaciones de la línea de costa, se creó un archivo **kmz** con su localización y una base de datos con información de cada una de las ondulaciones identificadas. Se recopilaron parámetros como ubicación, longitud de onda, amplitud, número de sucesiones de ondas que componen la ondulación, tipo de tramo de costa, obras o accidentes en las proximidades, entre otros.

Se identificaron un total de 294 ondulaciones, siendo Dinamarca el país que presenta mayor cantidad con 64 seguido de España con 56 ondulaciones. Irlanda del Norte presenta solamente 1 ondulación y Holanda presenta 2. En la costa del Mar Mediterráneo se ubican 107 ondulaciones, frente a 55 en el Océano Atlántico.

El 38 % de las ondulaciones identificadas presentan longitudes de onda de 30–200 metros y amplitudes de 1–25 metros; el 34 % son ondulaciones unitarias mientras que el 28 % están compuestas por 2 sucesiones de ondas. El 63 % se encuentra en tramos de costa que presentan cierto grado de curvatura. El 45.9 % de las ondulaciones de la línea de costa identificadas presentan algún tipo de obra artificial o accidente en sus proximidades, siendo la obra más frecuente los espigones. Predominan los casos en los que el obstáculo se encuentra a una distancia menor a una vez la longitud de onda en la mayoría de los casos.

Se identificaron 14 distintas tipologías dependiendo de la longitud de onda, amplitud, simetría y número de sucesiones. Las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *distinta longitud de onda* y *distinta altura* representan un 40.5 % de las ondulaciones identificadas en este proyecto o un 61.1 % considerando solamente las ondulaciones con 2 o más sucesiones. El 37.8 % de las ondulaciones presentan igual longitud y amplitud de la onda en la cresta y seno, mientras que un 35.4 % presentan distinta longitud de onda pero igual amplitud entre la cresta y seno, por lo que se concluye que el 73.2 % de las ondulaciones presentan el criterio de igualdad de amplitudes entre cresta y seno.

Los resultados anteriores están siendo redactados en formato de artículo científico para su envío a la revista *Geomorphology* (Elsevier). El análisis será completado con clasificación automática de los datos usando reglas de asociación (*clustering*). La información recopilada y resumida en el archivo con la localización de las ondas y en la tabla que contiene toda la información se hará pública y disponible para todos aquellos gestores e investigadores interesados. En el futuro se espera completar esta información con tramos costeros de otros países.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	III
Índice general	V
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XIII
Lista de Abreviaturas	XV
1. Introducción	1
1.1. Estado del Arte	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivos Generales	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.2.3. Organización del PFC	5
2. Metodología	7
2.1. Introducción	7
2.2. Caracterización de las ondulaciones	7
2.2.1. Zona de estudio	7
2.2.2. Datos Empleados	9
2.2.3. Identificación de ondulaciones	9
2.2.4. Información Complementaria	10
2.2.5. Resumen de Información Recopilada	11
2.3. Análisis de Datos	13
2.3.1. Análisis según las longitudes de onda	13
2.3.2. Análisis según la relación A/λ	13
2.3.3. Análisis según regiones costeras	14
2.3.4. Análisis según el número de sucesiones	14
2.3.5. Análisis según el tipo de tramo	15
2.3.6. Análisis según obras artificiales o accidentes	15
2.3.7. Análisis según topografía y batimetría	15
2.4. Identificación de tipologías	15
2.5. Estudio de Clima Marítimo. Viento, oleaje y nivel del mar	16
2.5.1. Ejemplos característicos de la tipologías. Rosas de viento y oleaje	16

2.5.2.	Clima marítimo en España. Oleaje y nivel del mar	17
2.6.	Comparativa de Tipologías	18
2.6.1.	Análisis según las longitudes de onda	18
2.6.2.	Análisis según la relación A/λ	19
2.6.3.	Análisis según número de sucesiones	19
2.6.4.	Análisis según tipo de tramo	19
2.6.5.	Análisis según obras artificiales o accidentes	19
2.6.6.	Análisis según topografía y batimetría	20
2.6.7.	Análisis según oleaje y nivel del mar	20
3.	Identificación de ondulaciones de la línea de costa y análisis de resultados	21
3.1.	Análisis de resultados según las longitudes de onda y amplitudes	22
3.2.	Análisis de resultados según la relación A/λ	24
3.3.	Análisis según países y regiones costeras	28
3.4.	Análisis según el número de sucesiones	32
3.5.	Análisis de resultados según el tipo de tramo	33
3.6.	Análisis según obras artificiales o accidentes	35
3.7.	Análisis según topografía y batimetría	37
4.	Identificación de tipologías. Clasificación de ondulaciones en la línea de costa	39
4.1.	Identificación de tipologías	39
4.2.	Clasificación de las ondulaciones de la línea de costa en tipologías	40
4.2.1.	Tipo #1	40
4.2.2.	Tipo #2	41
4.2.3.	Tipo #3	43
4.2.4.	Tipo #4	44
4.2.5.	Tipo #5	45
4.2.6.	Tipo #6	47
4.2.7.	Tipo #7	48
4.2.8.	Tipo #8	49
4.2.9.	Tipo #9	50
4.2.10.	Tipo #10	51
4.2.11.	Tipo #11	52
4.2.12.	Tipo #12	54
4.2.13.	Tipo #13	55
4.2.14.	Tipo #14	55
4.2.15.	Casos Especiales: Sistemas Superpuestos	57
5.	Estudio de clima marítimo. Viento, oleaje y nivel del mar	59
5.1.	Ejemplos característicos de las distintas tipologías. Rosas de viento y oleaje.	59
5.1.1.	Tipo #1: 146. Sierra de Irtá	59
5.1.2.	Tipo #2: 44.Creances / 45.Creances2	61
5.1.3.	Tipo #3: 124. Cala del Moral	63
5.1.4.	Tipo #4: 209.Mellah	65
5.1.5.	Tipo #5: 120.Los Boliches	67
5.1.6.	Tipo #6: 148. Benicarló2	69
5.1.7.	Tipo #7: 133.Guardias Viejas2	71
5.1.8.	Tipo #8: 95.Henne	73

5.1.9. Tipo #9: 212.El Keria	75
5.1.10. Tipo #10: 172.Selva Nera	77
5.1.11. Tipo #11: 132.Guardias Viejas	79
5.1.12. Tipo #12: 91.Hörnum	81
5.1.13. Tipo #13: 40.Penthievre2	83
5.1.14. Tipo #14: 88.Baltrum	84
5.2. Clima marítimo en España. Oleaje y nivel del mar	86
6. Comparativa de tipologías	89
6.1. Análisis según las longitudes de onda	89
6.1.1. Estudio de criterios de simetría	89
6.1.2. Estudio de intervalos de longitud de onda	92
6.2. Análisis según la relación A/λ	93
6.3. Análisis según el número de sucesiones	96
6.4. Análisis según el tipo de tramo	97
6.5. Análisis según obras artificiales o accidentes	98
6.5.1. Estudio de rangos de distancia	100
6.5.2. Estudio de criterios de simetría	100
6.6. Análisis según topografía y batimetría	102
6.7. Análisis según oleaje y nivel del mar en España	104
6.7.1. Estudio de criterios de simetría	107
7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo	111
7.1. Conclusiones	111
7.1.1. Análisis de ondulaciones de la línea de costa	111
7.1.2. Comparativa de Tipologías	113
7.2. Futuras líneas de trabajo	115
Apéndices	117
A. Lista de ondulaciones de la línea de costa	117
Bibliografía	123
Anejos	125
I. Borrador de artículo científico	125

Índice de figuras

1.1. Esquema en (a) planta y (b) perfil de la costa.	2
(a). Planta	2
(b). Perfil	2
1.2. Forma general de una <i>crenulate bay</i> en equilibrio estático.	3
1.3. <i>Crescentic sandbars</i> en Cape York, Australia.	3
2.1. Línea de costa estudiada.	8
2.2. Esquema general de una ondulación.	10
2.3. Medición de ángulo de incidencia.	17
3.1. Ondulaciones de la línea de costa identificadas.	21
3.2. Gráfica de dispersión λ frente A según intervalos de longitud de onda.	25
3.3. Ajuste de regresión para el intervalo λ 30–500 m.	25
3.4. Ajuste de regresión para el intervalo λ 500–1000 m.	26
3.5. Ajuste de regresión para el intervalo λ 1000–1500 m.	26
3.6. Ajuste de regresión para el intervalo λ 1500–2000 m.	27
3.7. Ajuste de regresión para el intervalo λ 2000–2500 m.	27
3.8. Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa clasificadas según el no. de sucesiones.	32
3.9. Ondulación 126.Rincón de la Victoria.	33
3.10. Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa según el tipo de obstáculo y la distancia d	35
3.11. Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa según la longitud de onda y la presencia de obstáculos.	36
3.12. Porcentaje de ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades clasificadas según longitud de onda y distancia a obstáculo.	37
3.13. Batimetría y relieve de la zona de estudio. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de λ	38
4.1. Esquema de ondulación Tipo #1.	40
4.2. Ejemplo de ondulación Tipo #1: 146.Sierra de Irta.	41
4.3. Esquema de ondulación Tipo #2.	41
4.4. Ejemplo de ondulación Tipo #2: 44.Créances.	41
4.5. Ejemplo de ondulación Tipo #2: 126.Rincón de la Victoria.	41
4.6. Esquema de ondulación Tipo #3.	43
4.7. Ejemplo de ondulación Tipo #3: 93.List.	43
4.8. Ejemplo de ondulación Tipo #3: 124.Cala del Moral.	43
4.9. Esquema de ondulación Tipo #4.	44

4.10. Ejemplo de ondulación Tipo #4: 92.Hörnum2.	45
4.11. Ejemplo de ondulación Tipo #4: 209.Mellah.	45
4.12. Esquema de ondulación Tipo #5.	45
4.13. Ejemplo de ondulación Tipo #5: 120.Los Boliches.	45
4.14. Esquema de ondulación Tipo #6.	47
4.15. Ejemplo de ondulación Tipo #6: 38.Pénestin2.	47
4.16. Ejemplo de ondulación Tipo #6: 148.Benicarló2.	47
4.17. Esquema de ondulación Tipo #7.	48
4.18. Ejemplo de ondulación Tipo #7: 72.Exmouth2.	48
4.19. Ejemplo de ondulación Tipo #7: 133.Guardias Viejas2.	49
4.20. Esquema de ondulación Tipo #8.	49
4.21. Ejemplo de ondulación Tipo #8: 95.Henne.	49
4.22. Ejemplo de ondulación Tipo #8: 167.Principina.	49
4.23. Esquema de ondulación Tipo #9.	50
4.24. Ejemplo de ondulación Tipo #9: 212.El Keria.	50
4.25. Esquema de ondulación Tipo #10.	51
4.26. Ejemplo de ondulación Tipo #10: 172.Selva Nera.	51
4.27. Ejemplo de ondulación Tipo #10: 214.Igudal.	51
4.28. Esquema de ondulación Tipo #11.	52
4.29. Ejemplo de ondulación Tipo #11: 174.Cerveteri.	52
4.30. Esquema de ondulación Tipo #12.	54
4.31. Ejemplo de ondulación Tipo #12: 90.Nebel.	54
4.32. Ejemplo de ondulación Tipo #12: 182.Mortilla2.	55
4.33. Esquema de ondulación Tipo #13.	55
4.34. Ejemplo de ondulación Tipo #13: 40.Penthievre2.	55
4.35. Esquema de ondulación Tipo #14.	56
4.36. Ejemplo de ondulación Tipo #14: 27.Foz.	56
4.37. Ejemplo de sistema superpuesto: 124.Cala del Moral.	57
4.38. Ejemplo de sistema superpuesto: 125.Cala del Moral2.	57
4.39. Ejemplo de sistema superpuesto: 212.El Keria.	58
4.40. Ejemplo de sistema superpuesto: 213.El Keria2.	58
5.1. Ubicación ondulación 146. Sierra de Irta.	59
5.2. Ondulación 146. Sierra de Irta.	60
5.3. Datos de oleaje ondulación 146. Sierra de Irta.	60
5.4. Datos de viento ondulación 146. Sierra de Irta.	61
5.5. Ubicación ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2.	61
5.6. Ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2.	62
5.7. Datos de oleaje ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2.	62
5.8. Datos de viento ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2.	63
5.9. Ubicación ondulación 124. Cala del Moral.	63
5.10. Ondulación 124. Cala del Moral.	64
5.11. Datos de oleaje ondulación 124. Cala del Moral.	64
5.12. Datos de viento ondulación 124. Cala del Moral.	65
5.13. Ubicación ondulación 209.Mellah.	65
5.14. Ondulación 209.Mellah.	66
5.15. Datos de oleaje ondulación 209.Mellah.	66
5.16. Datos de viento ondulación 209.Mellah.	67
5.17. Ubicación ondulación 120.Los Boliches.	67
5.18. Ondulación 120.Los Boliches.	68

5.19. Datos de oleaje ondulación 120.Los Boliches.	68
5.20. Datos de viento ondulación 120.Los Boliches.	69
5.21. Ubicación ondulación 148.Benicarló2.	69
5.22. Ondulación 148.Benicarló2.	70
5.23. Datos de oleaje ondulación 148.Benicarló2.	70
5.24. Datos de viento ondulación 148.Benicarló2.	71
5.25. Ubicación ondulación 133.Guardias Viejas2.	71
5.26. Ondulación 133.Guardias Viejas2.	72
5.27. Datos de oleaje ondulación 133.Guardias Viejas2.	72
5.28. Datos de viento ondulación 133.Guardias Viejas2.	73
5.29. Ubicación ondulación 95.Henne.	73
5.30. Ondulación 95.Henne.	74
5.31. Datos de oleaje ondulación 95.Henne.	74
5.32. Datos de viento ondulación 95.Henne.	75
5.33. Ubicación ondulación 212.El Keria.	75
5.34. Ondulación 212.El Keria.	76
5.35. Datos de oleaje ondulación 212.El Keria.	76
5.36. Datos de viento ondulación 212.El Keria.	77
5.37. Ubicación ondulación 172.Selva Nera.	77
5.38. Ondulación 172.Selva Nera.	78
5.39. Datos de oleaje ondulación 172.Selva Nera.	78
5.40. Datos de viento ondulación 172.Selva Nera.	79
5.41. Ubicación ondulación 132.Guardias Viejas.	79
5.42. Ondulación 132.Guardias Viejas.	80
5.43. Datos de oleaje ondulación 132.Guardias Viejas.	80
5.44. Datos de viento ondulación 132.Guardias Viejas.	81
5.45. Ubicación ondulación 91.Hörnum.	81
5.46. Ondulación 91.Hörnum.	82
5.47. Datos de oleaje ondulación 91.Hörnum.	82
5.48. Datos de viento ondulación 91.Hörnum.	83
5.49. Ubicación ondulación 40.Penthievre2.	83
5.50. Ondulación 40.Penthievre2.	84
5.51. Datos de viento ondulación 40.Penthievre2.	84
5.52. Ubicación ondulación 88.Baltrum.	85
5.53. Ondulación 88.Baltrum.	85
5.54. Datos de oleaje ondulación 88.Baltrum.	85
5.55. Datos de viento ondulación 88.Baltrum.	86
5.56. Ondulaciones de la línea de costa española clasificadas según tipologías.	86
6.1. Características de las distintas tipologías.	90
6.2. Gráfica de dispersión λ frente A según las distintas tipologías.	95
6.3. Porcentaje de ondulaciones según criterios de simetría y número de sucesiones.	96
6.4. Porcentaje de ondulaciones según criterios de simetría en la ondulación unitaria y número de sucesiones.	97
6.5. Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa según la tipología y la presencia de obstáculos.	99
6.6. Porcentaje de ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades clasificadas según tipología y distancia d a obstáculo.	100
6.7. Batimetría y relieve de la zona de estudio. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según tipologías.	103

6.8. Datos de altura de ola significativa.	104
6.9. Datos de periodo pico.	104
6.10. Datos de flujo medio de energía.	105
6.11. Datos de ángulo de incidencia del oleaje.	105
6.12. Datos de rango de marea.	106
6.13. Datos de altura de ola significativa extremal de 50 años de periodo de retorno.106	
7.1. <i>Clustering</i> preliminar tratando de identificar relaciones entre longitudes y amplitudes medias	116
7.2. Análisis preliminar de reglas de asociación aplicando el algoritmo <i>apriori</i> con el software Weka	116

Índice de tablas

2.1. Ondulaciones en la línea de costa identificadas por diversos autores.	9
2.2. Ejemplo identificación de ondulaciones de la línea de costa.	12
2.3. Granulometría y pendiente promedio de las playas.	16
3.1. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de longitud de onda λ	22
(a). Intervalos de 500 metros.	22
(b). Intervalos de 150–300 metros.	22
3.2. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de amplitud A de 25–50 m.	22
3.3. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de longitud de onda λ y amplitud A	23
(a). Intervalos de λ 500 m y A 50–25 m.	23
(b). Intervalos de λ 150–300 m y A 50–25 m.	23
3.4. Ondulaciones de la línea de costa clasificadas por países y por regiones costeras.	28
3.5. Distribución de ondulaciones de la línea de costa según regiones costeras e intervalos de λ	31
(a). Intervalos de 500 metros.	31
(b). Intervalos de 150–300 metros.	31
3.6. Distribución de ondulaciones de la línea de costa según no. de sucesiones e intervalos de λ (150–300 m).	32
3.7. Distribución de ondulaciones de la línea de costa según el tipo de tramo e intervalos de λ (150–300 m).	34
3.8. Ondulaciones de la línea de costa según el no. de sucesiones y el tipo de tramo.	34
3.9. Ondulaciones de la línea de costa que presentan un tipo de obstáculo.	35
4.1. Definición de las tipologías de ondulaciones de la línea de costa.	39
4.2. Ondulaciones Tipo #1.	40
4.3. Ondulaciones Tipo #2.	42
4.4. Ondulaciones Tipo #3.	43
4.5. Ondulaciones Tipo #4.	44
4.6. Ondulaciones Tipo #5.	46
4.7. Ondulaciones Tipo #6	47
4.8. Ondulaciones Tipo #7.	48
4.9. Ondulaciones Tipo #8.	50

4.10. Ondulaciones Tipo #9.	51
4.11. Ondulaciones Tipo #10.	52
4.12. Ondulaciones Tipo #11	53
4.13. Ondulaciones Tipo #12	54
4.14. Ondulaciones Tipo #13.	55
4.15. Ondulaciones Tipo #14.	56
4.16. Sistemas superpuestos.	57
5.1. Datos de oleaje y nivel del mar en España.	87
6.1. Distribución de ondulaciones de la línea de costa según tipologías e intervalos de λ (150–300 m).	89
6.2. Distribución de ondulaciones según tipologías y número de sucesiones.	96
6.3. Distribución de ondulaciones según tipologías y tipo de tramo.	97
6.4. Porcentaje de ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades clasificadas según tipologías y tipo de obstáculo.	99
A.1. Ondulaciones de la línea de costa.	117

Lista de Abreviaturas

Atl. Océano Atlántico
Med. Mar Mediterráneo
Vizc. Golfo de Vizcaya
M. Irl. Mar de Irlanda
M. Nor. Mar del Norte
Skag. Skagerrak
Katt. Kattegat
Bal. Mar Báltico
Man. Canal de la Mancha

Capítulo 1

Introducción

1.1. Estado del Arte

La costa es la frontera entre los medios marino y terrestre, la piel del continente, la zona de transferencia y mezcla de agua, sustancias y vida. Sobre ella actúan diferentes agentes (oleaje, marea, viento, lluvia, entre otros) cuyas características dependen de la zona considerada, y que no hacen sino modificar la morfodinámica de la costa. Su acción continuada y diferenciada a lo largo de miles de años sobre distintos sustratos ha dado lugar a un conjunto de formas costeras como bahías, calas, estuarios, deltas, lagunas, acantilados y playas que surcan nuestras costas y que hacen de ellas entornos únicos e irrepetibles.

Los términos *costa* y *línea de costa* son utilizados para definir el límite entre tierra y agua a escalas regionales. La costa es una franja de tierra de ancho variable que se extiende desde un cambio en las características del terreno hasta agua interiores. La línea de costa es la línea que delimita la costa y el mar (Schwartz, 2006).

Durante las últimas décadas se ha intentado entender cómo cambia la línea de costa y cuáles son los principales procesos que intervienen en su evolución. Los problemas de erosión que se están produciendo en numerosas costas, tanto de España como de otros muchos países, requieren profundizar en el conocimiento de los procesos responsables de la dinámica costera. Así, cada vez más investigaciones están analizando la relación entre la morfodinámica de la línea de costa y los agentes marítimos que la fuerzan. La finalidad última que se persigue es ser capaces de disponer de herramientas que permitan predecir la evolución de la línea de costa a media y gran escala, permitiendo así diseñar estrategias para una gestión sostenible de la costa.

La geomorfología de la costa puede ser examinada en planta (*planform, shore-parallel o long-shore*) o en perfil (*profile, cross-section o cross-shore*) como se muestra en la figura 1.1. En planta, la costa puede ser dividida en formas relativamente distintas basándose en factores como topografía y litología o textura y resistencia de los sedimentos. Las más resistentes son las costas rocosas, caracterizadas por la presencia de acantilados. Arena y grava presentan mayor movimiento en la zona costera y forman playas y otras formas asociadas. Deltas y estuarios se forman en la desembocadura de los ríos. En el estudio del perfil de la costa también es conveniente dividirla en zonas basándose en la morfología y los procesos que predominan.

Las costas están entre las partes más dinámicas de la superficie terrestre. La tierra y el mar raramente se encuentran en un límite constante; la línea de costa migra diariamente con la marea, cambia estacionalmente, y varía en escalas de tiempo aún mayores

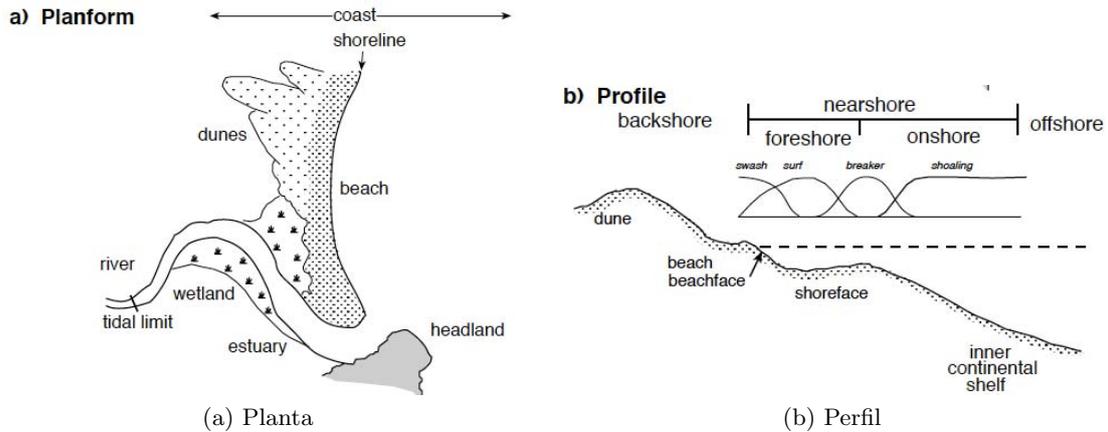


Figura 1.1: Esquema en (a) planta y (b) perfil de la costa (Woodroffe, 2002).

conforme la costa sufre erosión o sedimentación, o conforme el nivel medio del mar asciende (o desciende). De los distintos tipos de morfologías que se pueden encontrar en la costa, las playas han sido las más estudiadas debido a los intereses sociales, económicos y ambientales (Davis and Fitzgerald, 2004). Aunque normalmente se encuentran en costas rectilíneas o poco curvas, las playas pueden ubicarse en otros sitios como estuarios, deltas o desembocaduras (Bird, 2011). Desde un punto de vista morfológico, las playas se han analizado extensivamente, tanto en planta como en perfil. (Dean and Dalrymple, 2001). En este proyecto nos centraremos en las formas en planta.

Las playas, en su forma en planta, suelen ser rectas o tener formas curvas suaves sobre las cuales se superponen morfologías secundarias de distinta escala, proyecciones de sedimentos hacia el mar, formando ondulaciones locales en la línea de costa debido a la interacción diaria del oleaje y la marea con la costa (Schwartz, 2006). Estas interacciones entre sedimentos, oleaje y marea en distintas escalas temporales y espaciales producen una variedad de formas en la línea de costa las cuales pueden estar aisladas, pero lo más común es que ocurran en grupos de ondulaciones alternas con espaciados regulares, entonces son llamadas “patrones rítmicos” (*rhythmic patterns*). Se reconocen varios tipos de *rhythmic patterns*: *ripples and megaripples*, ondulaciones que van desde pocos metros (*beach cusps*), cientos de metros (*megacusps*) a miles de metros (*coastline features*), ondas de arena (*alongshore sand waves*), espirales logarítmicas (*crenulate bays*) y *giant cusps*. La presencia y la regularidad de algunas de estas formas es algo que ha desconcertado a los científicos por décadas (Stewart and Davidson-Arnott, 1988; Coco and Murray, 2007). Algunas de ellas, como las *crenulate bays* tardan años en formarse, mientras otras como las *beach cusps* se forman en cuestión de minutos (Dean and Dalrymple, 2001).

Las **espirales logarítmicas** (*crenulate bays*) se forman por la erosión entre dos puntas, como lo son afloramientos de roca o espigones, y forman parte de un tipo de forma más general denominada *pocket beach*. Las *pocket beaches* pueden tener cualquier grado de asimetría, mientras que las espirales logarítmicas tienen asimetría respecto a los puntos de control debida a los oleajes predominantes, los procesos de difracción y de refracción. Las *crenulate bays* también son llamadas *hooked bays*, *half-heart bays* y *spiral bays* (Dean and Dalrymple, 2001). La forma típica de las espirales logarítmicas es una costa caracterizada por un segmento en espiral seguido de un segmento recto como podemos observar en la figura 1.2.

Las *beach cusps* son formas rítmicas y regulares a lo largo de la línea de costa. Son

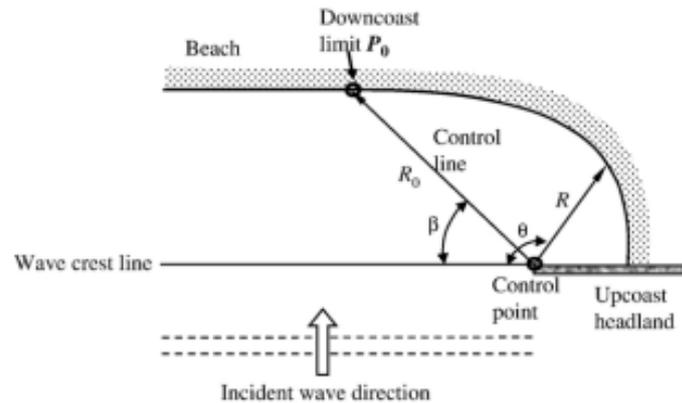


Figura 1.2: Forma general de una *crenulate bay* en equilibrio estático. (?)

las formas más pequeñas. Estas formas se desarrollan en la zona de subida y bajada de la ola (*swash zone*). Una *beach cusp* individual se caracteriza por una ondulación cuyas crestas son muy pronunciadas, cuernos saliendo hacia el mar separados por una ensenada menos pronunciada. La separación entre los cuernos suele ser del orden de 20-60 metros normalmente. La formación de *beach cusps* aumenta cuando el oleaje se aproxima en dirección normal a la playa, esto es, cuando los frentes son paralelos a la línea de costa (Coco and Murray, 2007; Dean and Dalrymple, 2001).

Las *crenulate sandbars* son formas que se expanden a lo largo de la línea de costa. Las *sandbars* son formas morfológicas caracterizadas por uno o más valles y crestas que se mueven en la dirección *offshore*. Las *sandbars* son normalmente uniformes en la línea de costa pero en casos en que la cresta de la ondulación se acentúa toma el nombre de *crenulate*. Estas formas también son descritas en la literatura como *rip-channel systems*. Se repiten a lo largo de la longitud de la costa y tienen una separación entre cuernos de cientos de metros (Coco and Murray, 2007; van Enckevort et al., 2004).



Figura 1.3: *Crenulate sandbars* en Cape York, Australia. (Coco and Murray, 2007)

En los últimos años se ha incrementado el interés en el estudio de las **ondulaciones de media escala de la línea de costa**. Normalmente se clasifican como formas rítmicas aunque con frecuencia no son periódicas ni están regularmente espaciadas (López-Ruiz

et al., 2012). De forma general, las ondulaciones de la línea de costa se pueden definir como formas de media escala con longitudes de cientos a miles de metros y amplitudes de decenas a cientos de metros. Muchos autores han denominado a este tipo de formas como **ondas de arena** (*alongshore sand waves*) considerándolas como formas periódicas (del orden de $10^1 - 10^3$ metros) que se propagan a lo largo de la línea de costa, y que pueden perdurar durante décadas (Dean and Dalrymple, 2001).

A lo largo de los años se han hecho muchas observaciones de distintas ondas de arena en distintos sitios del mundo. Debido a estas observaciones se pueden clasificar las ondas de arena en 3 tipos: La onda de arena *espacialmente* periódica migrando a lo largo de la costa; la onda de arena *temporalmente* periódica, debida al vertido periódico de arena en un punto de la costa y la onda de arena *individual*, incluye el comportamiento de las regeneraciones de costa (Schwartz, 2006).

Las ondas de arena pueden clasificarse también de acuerdo a su escala, diferenciando entre ondulaciones de arena largas y cortas (Stewart and Davidson-Arnott, 1988).

Desde que Bruun (1954) identificase ondas de arena en el litoral Danés propagándose en la misma dirección que el transporte longitudinal, se han realizado varios estudios sobre éstas formas costeras en diversas partes del mundo, pero no se han encontrado explicaciones concluyentes respecto a la formación de éstas, por lo que es algo que todavía está muy abierto en las investigaciones.

Como se ha expuesto se han realizado muchos estudios sobre las distintas formas de la línea de costa. Bird (2010) ha publicado una revisión de las morfologías costeras en el mundo. Estudios parecidos se han realizado a escalas espaciales menores por ejemplo, a nivel de países o regiones. Muchos autores han estudiado puntos específicos de la costa donde se ubican algunas de las formas descritas (Thevenot and Kraus, 1995; López-Ruiz et al., 2012; Bruun, 1954, entre otros). Sin embargo, en la actualidad no se dispone de bases de datos con información sobre ondulaciones de la línea de costa que permita hacer un análisis amplio de los patrones de comportamiento de estas formas. Así, el objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera ha sido identificar y caracterizar las ondulaciones de la línea de costa en Europa, e incluir esta información en una base de datos disponible tanto para los investigadores como para los gestores de la costa.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

El objetivo principal de este proyecto es la identificación y caracterización de las ondulaciones de la línea de costa (incluyendo las ondas de arena), e incluir esta información en una base de datos disponible tanto para los investigadores como para los gestores de la costa y permitir de esta manera obtener conocimiento de los procesos morfodinámicos en esta. Este Proyecto de Fin de Carrera está enmarcado dentro del Proyecto de Excelencia financiado por la Junta de Andalucía sobre “La influencia de los procesos litorales multiescala en la gestión costera”.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Identificación y caracterización de ondulaciones en la línea de costa en la costa de Europa y del Norte de África.
2. Comparación de las ondulaciones de la línea de costa identificadas.

3. Identificación de distintas tipologías de ondulaciones dependiendo de la longitud de onda, amplitud, número de sucesiones de ondas que componen las ondulaciones y criterios de simetría.
4. Clasificación de las ondulaciones en la línea de costa identificadas en las tipologías establecidas.
5. Análisis estadístico de distintas variables identificadas en las ondulaciones de la línea de costa.
6. Identificación de la influencia de distintas variables en la formación de las ondulaciones de la línea de costa.
7. Redacción de un artículo científico con los principales resultados obtenidos.

1.2.3. Organización del PFC

Este Proyecto Fin de Carrera se ha organizado de la siguiente manera:

En el Capítulo 2 se presenta la metodología empleada para identificar, caracterizar y analizar las ondulaciones de la línea de costa. Se presentan los parámetros empleados en la identificación de ondulaciones la línea de costa así como el proceso de análisis de cada una de las formas identificadas enumerando las herramientas utilizadas para ello. Se presentan así mismo los criterios de simetría en las distintas ondulaciones que servirán para la definición de tipologías.

A partir de esto se presentan los resultados obtenidos.

En el Capítulo 3 se presentan las ondulaciones de la línea de costa identificadas y se elaboran análisis de estas, enfocándose en estadísticas básicas regionales, geométricas e hidrodinámicas.

En el Capítulo 4 se establecen las distintas tipologías dependiendo de la longitud de onda, amplitud, número de sucesiones de ondas que componen las ondulaciones y de los criterios de simetría definidos.. Se clasifican las ondulaciones de la línea de costa según las tipologías establecidas.

En el Capítulo 5 se presenta el estudio de clima marítimo. Se presenta un ejemplo característico de ondulación de la línea de costa para cada una de las tipologías establecidas en donde se analizan rosas de viento y oleaje obtenidas de distintas fuentes. Así mismo se presenta un estudio de oleaje y nivel de mar para las ondulaciones de la línea de costa ubicadas en España.

En el Capítulo 6 se hacen análisis estadísticos básicos de las distintas tipologías establecidas y se establecen correlaciones entre los distintos parámetros identificados.

En el Apéndice A se presenta la lista de las ondulaciones de la línea de costa observadas en Europa y norte de África así como los distintos parámetros identificados para cada una de ellas.

Como anejo se presenta el borrador del artículo científico que se enviará a la revista *Geomorphology* (Elsevier).

Capítulo 2

Metodología

2.1. Introducción

En este capítulo se expone la zona estudiada para la identificación de ondulaciones en la línea de costa así como la metodología utilizada para dicha identificación. Se expone también el proceso de análisis de las ondulaciones identificadas así como el proceso de definición de distintas tipologías basadas en criterios de simetría de longitud de onda y amplitud y el estudio de las tipologías y las ondulaciones que las conforman.

2.2. Caracterización de las ondulaciones

2.2.1. Zona de estudio

El primer paso fue la elección del área de estudio para la identificación de las ondulaciones de la línea de costa. Se decidió estudiar la costa de países europeos y del norte de África por la cercanía a España y la consecuente facilidad de obtención de datos de clima, oleaje y viento entre otros, ya que se hace uso de la base de datos de Puertos del Estado y del visor Geo-Web C3E de cambio climático en España. La base de datos de Puertos del Estado contiene información en tiempo real, predicciones a varios días vista, información histórica, caracterización climática de diferentes parámetros físicos (oleaje, viento, nivel de mar, etc) y series temporales de estos parámetros basadas en modelos numéricos.

En concreto se estudió la línea de costa de los siguientes países:

- | | |
|-------------|------------------------|
| - Alemania | - Holanda |
| - Argelia | - República de Irlanda |
| - Bélgica | - Italia |
| - Dinamarca | - Marruecos |
| - España | - Portugal |
| - Francia | - Reino Unido |

Las ondulaciones se pueden presentar en cualquier tipo de playa; previamente muchos autores las han observado en playas de arena (Thevenot and Kraus, 1995), flechas (Medellín et al., 2008), desembocaduras (López-Ruiz et al., 2012), etc. Es por esta razón que el estudio se realiza sobre toda la franja de costa y no en puntos específicos de esta.

En total se estudiaron aproximadamente 50,000 kilómetros de línea de costa (The World Factbook, 2009) la cual se delimita en la figura 2.1.



Figura 2.1: Línea de costa estudiada.

2.2.2. Datos Empleados

El estudio de la línea de costa se hizo utilizando el programa informático **Google Earth** el cual permite visualizar imágenes de todo el planeta, combinando imágenes de satélite, fotografías aéreas y GIS 3D globe; Google Earth incluye imágenes actuales así como imágenes históricas variando la antigüedad de estas según la zonas de estudio. También incluye las fotos georreferenciadas de la base de datos Panoramio.

El estudio de la costa se realizó usando tanto imágenes actuales como imágenes históricas, identificando ondulaciones de la línea de costa desde el año 2000 hasta el año 2012, fecha en que se realizó la identificación de las ondulaciones que se presentan este Proyecto Fin de Carrera. Utilizando la base de datos Google Earth Imagery se analiza la costa visualmente y se identifican ondulaciones en la línea de costa. Se recorre visualmente la línea de costa de los distintos países a distintas escalas y en distintos años para identificar ondulaciones de distintas longitudes de onda y en distintos momentos del tiempo.

2.2.3. Identificación de ondulaciones

En la zona de estudio, Google Earth presenta una resolución de <1 metro/píxel, llegando en algunos casos a ser del orden de cms/píxel. Google está incluyendo series de datos con mayor resolución. Se elige una longitud de onda mínima de 30 metros para la identificación de ondulaciones de la línea de costa decidiendo que formas identificadas con λ menores a 30 m no eran fiables tomando en cuenta la resolución de Google Earth y el error humano.

Se identificaron las ondulaciones de la línea de costa según la relación entre la amplitud y la longitud de onda (A/λ). Para ello, era necesario identificar estas variables en las ondulaciones identificadas; esto se realizó haciendo uso de la herramienta *regla* de Google Earth la cual permite tomar medidas en distintas unidades. Se tomaron las medidas de longitud de onda y amplitud en metros de cada una de las ondulaciones identificadas.

Diversos autores han identificado ondulaciones de la línea de costa distintas partes del mundo con diferentes valores de amplitud y longitud de onda. En la tabla 2.1 se muestran los valores de A y λ de las ondulaciones de la línea de costa identificadas por los autores así como la relación A/λ que estas presentan. Se observa los valores de la relación A/λ van desde 0.012 hasta 0.3 para estudios previos de ondulaciones en distintas partes del mundo, de forma que todas las ondulaciones cuya relación A/λ se encontraba en ese intervalo se consideraron como *ondulaciones en la línea de costa*.

Referencia	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Relación A/λ
Bruun (1954)	300–2000	60–80	0.04-0.3
Verhagen (1989)	2500–22000	30–500	0.012-0.02
Thevenot and Kraus (1995)	750	40	0.05
Schwartz (2006)	500–750	15–25	0.03
Medellín et al. (2008)	125–150	15	0.1-0.12
López-Ruiz et al. (2012)	500–2000	150	0.075-0.3

Tabla 2.1: Ondulaciones en la línea de costa identificadas por diversos autores.

A cada ondulación identificada se le asignaba un número y un nombre que corresponde a la ciudad o pueblo más cercano al punto de ubicación de la ondulación. Estos datos se iban recopilando en una hoja Excel para su posterior análisis. Asimismo, en la hoja Excel se agregaron columnas con información de Ciudad, Región y País de ubicación del tramo de costa donde se identificaba la ondulación así como la región costera (Mar, Océano, Golfo . . .) a la que pertenece el tramo. Se incluyó también el año de la imagen utilizada para la identificación de la ondulación.

De las ondulaciones de la línea de costa identificadas se hicieron bosquejos en donde se identificaban el número de sucesiones de ondas que componen la ondulación y los parámetros siguientes:

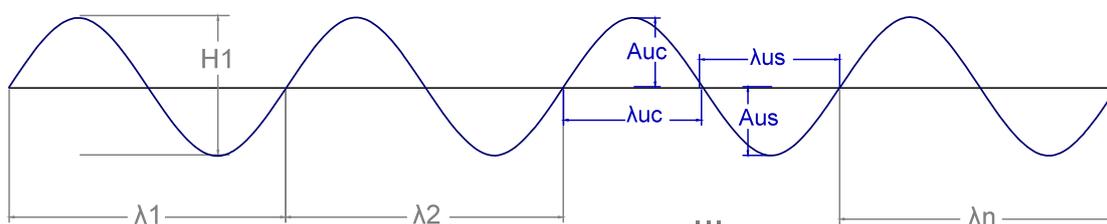


Figura 2.2: Esquema general de una ondulación.

λ : Longitud de onda
 H : Altura de onda
 λ_c : Longitud de onda de cresta
 λ_s : Longitud de onda de seno
 A_c : Amplitud de cresta
 A_s : Amplitud de seno

De los datos identificados en los bosquejos, se recopilaron las longitudes de onda máximas y mínimas y las amplitudes de seno y cresta que presentaban las ondulaciones de la línea de costa y se agregaron a la hoja Excel mencionada junto al número de sucesiones de ondas que componen la ondulación .

2.2.4. Información Complementaria

Otros datos importantes que se obtuvieron del estudio de la línea de costa con Google Earth fueron *tipo de tramo de costa* y *Obra*. En el campo *tipo de tramo de costa* se establecieron 3 casos distintos: tramo recto, tramo curvo y desembocadura. Esta clasificación servirá para un estudio de la influencia de la orientación y la forma de la línea de costa en la formación de las ondulaciones.

En el caso de los datos identificados como *Obra* lo que se realizó fue estudiar si se presentaba alguna estructura artificial u accidente en la costa en las proximidades de las ondulaciones. Los obstáculos identificados fueron: puertos, muelles, espigones, muros de encauzamiento y rocas. Para tener un estudio más detallado de la influencia de estos obstáculos en la formación de ondulaciones de la línea de costa se incluyó la distancia desde la ondulación hasta el obstáculo mencionado. Se identificaron obstáculos a una distancia máxima de 5λ desde el punto de ubicación de la ondulación siendo λ la longitud de onda de la respectiva ondulación de la línea de costa.

Para el análisis de las ondulaciones de la línea de costa identificadas, el cual se explicará más adelante, se establecen intervalos de longitud de onda y amplitud en los que se agrupan las ondulaciones identificadas. En el caso de la longitud de onda se establecen dos intervalos, el primero de 500 metros y el segundo de 150–300 metros. En la clasificación por amplitudes se establece el intervalo de 25–50 metros.

2.2.5. Resumen de Información Recopilada

De esta manera, de la metodología mencionada hasta el momento se identificaron los siguientes parámetros de cada una de las ondulaciones de la línea de costa:

- No.
- Denominación (Id.)
- Ciudad/Pueblo
- Región
- País
- Año
- Número de sucesiones
- Longitud de onda λ (metros). Se indicó en forma de intervalo representando las λ máxima y mínima
- Intervalo λ 500 metros [,)
- Intervalo λ 150–300 metros [,)
- Amplitud A (metros). Se indicó en forma de intervalo representando las A máxima y mínima independientemente de que fuesen de cresta o seno
- Intervalo A 25–50 metros [,)
- Océano/Mar
- Tipo de Tramo
- Obstáculo (natural o artificial)
- Distancia de la ondulación al obstáculo (metros)

A continuación se muestra un ejemplo de la información recopilada en la hoja de cálculo Excel. La tabla completa se presenta en el Apéndice A.

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150-300 m [,)
1	Desembocadura del Guadalquivir	Huelva	Andalucía	España	2012	2	1800	1500-2000	1800-2000
2	Punta Umbría	Huelva	Andalucía	España	2007	1	1100	1000-1500	1000-1300
3	El Rompido	Huelva	Andalucía	España	2011	2	1500-2400	1500-2000	1800-2000
4	Isla del Moral	Huelva	Andalucía	España	2007	2	1000-1800	1000-1500	1000-1300
5	Ayamonte	Huelva	Andalucía	España	2012	2	1000-1300	1000-1500	1000-1300

Amplitud A (m)	Intervalo A 25-50 m [,)	Océano/Mar	Tipo Tramo	Obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
150	150	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
50	50-75	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	500	Muro en el borde opuesto
80-140	100-150	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	800	-
40-50	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	1000	-
80-100	75-100	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	500	Muro en el borde opuesto

Tabla 2.2: Ejemplo identificación de ondulaciones de la línea de costa.

2.3. Análisis de Datos

Las ondulaciones de la línea de costa identificadas se muestran en mapas elaborados con el programa informático **Quantum GIS** el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código libre y maneja archivos vectoriales y raster. Se hace uso de las capas vectoriales de *Natural Earth Data* y de los archivos georreferenciados de las ondulaciones de la línea de costa obtenidos de Google Earth que unidos a la tabla Excel permiten crear mapas según los distintos parámetros identificados.

Una vez identificadas las ondulaciones de la línea de costa se procedió a analizar los datos de estas. Se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

- Longitudes de onda y amplitudes
- Relación A/λ
- Regiones costeras
- Número de sucesiones
- Tipo de tramo
- Obstáculos
- Topografía y batimetría

2.3.1. Análisis según las longitudes de onda

Como se ha mencionado anteriormente, se definieron intervalos de longitudes de onda λ y amplitudes A . En el caso de la longitud de onda se hacen dos clasificaciones, la primera en intervalos de 500 metros y la segunda en intervalos más reducidos (150–300 m) para intentar ajustar los resultados. En el caso de la amplitud se establecen intervalos de 25–50 metros. Según los valores de λ y A que presenta cada una de las ondulaciones de la línea de costa se le asigna un intervalo con los criterios mencionados.

Una vez asignados los dos intervalos de λ (500 m y 150–300 m) y el intervalo de A (25–50 m) para cada ondulación, se establecen clasificaciones de las ondulaciones de la línea de costa agrupándolas según los distintos intervalos definidos y se analizan estos resultados. Este análisis consiste en la identificación de las longitudes de onda y amplitudes más frecuentes en las ondulaciones estudiadas. Las morfologías secundarias en la línea de costa se definen según valores y rangos de longitud de onda y amplitud, es por ello que este análisis nos sirve para corroborar y ajustar los rangos de estas definiciones dado que el tamaño de la muestra estudiada en este PFC es considerablemente superior a los artículos publicados de ondulaciones de la línea de costa previamente.

2.3.2. Análisis según la relación A/λ

Para este análisis se elabora un diagrama de dispersión en el cual se representan las 294 ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de longitud de onda de 500 metros. Cada ondulación de la línea de costa se representa con su longitud de onda máxima y mínima así como sus amplitudes máximas y mínimas. El estudio se realiza con dos métodos distintos para corroborar los resultados. Primero se realiza utilizando las herramientas proporcionadas por Excel y se comprueban los resultados con el programa estadístico *JMP 10* elaborado por el *SAS Institute*.

Una vez elaborados los diagramas de dispersión para las ondulaciones de la línea de costa de cada intervalo de λ se representan los modelos de regresión lineal para cada conjunto de puntos. Se presentan los diagramas de dispersión y las rectas de regresión

junto a los valores de los *coeficientes de determinación lineal* (R^2). Habiendo obtenido los valores de R^2 para cada intervalo de longitud de onda se puede hacer un análisis de la bondad del ajuste. Como veremos en la sección 3.2 los valores de los coeficientes de determinación son bastante bajos por lo que se realiza un estudio completo de la regresión lineal simple para conjunto a modo de poder realizar predicciones a partir del modelo.

El análisis estadístico de los conjuntos de puntos se realiza hallando los valores de las medias muestrales de λ y A , la varianza muestral de λ , covarianza muestral de λ , coeficiente de correlación lineal, coeficiente de determinación lineal, varianza residual estimada, entre otros. Una vez obtenidos estos datos se estiman valores medios de A fijados los valores de λ que nos interesan. Para ello se obtienen los intervalos al 95 % de confianza y las respectivas bandas de confianza. Todo esto se realiza en hojas de cálculo de Excel y se comprueban los cálculos con el análisis obtenido del programa JMP 10.

Para cada intervalo de longitud de onda se elabora un gráfico donde se muestra los puntos estudiados, la recta de regresión con su correspondiente ecuación y valor de coeficiente de determinación lineal así y las bandas de confianza calculadas. Se elabora también una tabla donde dados unos valores de λ se obtienen los valores medios de A y las relaciones A/λ a un nivel de confianza del 95 %.

2.3.3. Análisis según regiones costeras

Primero se elabora un análisis según *países y regiones costeras* en el que se realizan distintas tablas de doble entrada. Se estudia la cantidad de ondulaciones de la línea de costa identificadas según el país de ubicación y la región costera. Los datos que se obtienen de estas tablas se comparan con las ondulaciones obtenidas por distintos autores (López-Ruiz et al. (2012), Bruun (1954), ...). Luego se elabora el análisis según *longitudes de onda y regiones costeras* haciendo tablas donde se presentan la cantidad de ondulaciones de la línea de costa identificadas según los valores de longitud de onda y la región costera de ubicación. De esta manera se puede hacer un análisis de la ubicación de las ondulaciones de la línea de costa con mayor y menor λ identificando el mar donde se encuentran y estudiando el clima marítimo de este.

Los datos de clima marítimo se obtienen del propio estudio de clima que se realiza en este PFC utilizando datos de Puertos del Estado (2013), Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E (2013), Falqués (2006), Kaergaard et al. (2012), ISPRA - www.idromare.it (2013), entre otros así como de diversos artículos científicos. Los artículos de Scott et al. (2011) y Ortega-Sánchez et al. (2008) son utilizados para obtener datos de clima marítimo del Océano Atlántico; Beels et al. (2007) en el caso del Mar del Norte; Levoy et al. (2000), Beels et al. (2007) en el caso del Canal de la Mancha; Scott et al. (2011) en el Mar de Irlanda, entre otros. Se comparan los climas marítimos de las distintas regiones identificadas y se buscan correlaciones entre estos y las longitudes de onda de las ondulaciones de la línea de costa pertenecientes a las regiones.

2.3.4. Análisis según el número de sucesiones

Se estudia la cantidad de ondulaciones de la línea de costa según las sucesiones de ondas que las componen, desde las ondulaciones unitarias (1 sucesión) hasta las ondulaciones que presentan más de 15 sucesiones. Se elabora una tabla donde se presentan el número de sucesiones según los intervalos de longitud de onda y se estudia la correlación entre ambos parámetros.

2.3.5. Análisis según el tipo de tramo

En el estudio del tipo de tramo de ubicación de las ondulaciones de la línea de costa se distinguen tres casos mencionados anteriormente: desembocadura, tramo recto y tramo curvo. Se comparan estos datos con datos de longitud de onda y número de sucesiones. Se buscan conclusiones respecto a el tipo de tramo donde se presentan la mayoría de las ondulaciones de la línea de costa, las de mayor y menor longitud de onda y aquellas que presentan más sucesiones.

2.3.6. Análisis según obras artificiales o accidentes

Como se ha explicado anteriormente se identificaron obras artificiales o accidentes a una distancia máxima de 5λ desde el punto de ubicación de la ondulación. Se estudia la cantidad de ondulaciones de la línea de costa que presentan una obra artificial o accidente en sus proximidades y el tipo de obstáculo. Se analiza la distancia d a la que se presenta el obstáculo de su respectiva ondulación. Para ello se elaboran los siguientes intervalos:

- $d \leq 1\lambda$.
- $1\lambda < d \leq 2\lambda$.
- $2\lambda < d \leq 3\lambda$.
- $3\lambda < d \leq 4\lambda$.
- $3\lambda < d \leq 4\lambda$.
- $4\lambda < d \leq 5\lambda$.

Se estudia el porcentaje de ondulaciones que se presentan según estos distintos intervalos. Una vez se han analizado la cantidad de ondulaciones de la línea de costa en relación a los obstáculos en sus proximidades se procede a relacionar también las longitudes de onda de las ondulaciones. Se clasifican las ondulaciones de la línea de costa según intervalos de longitud de onda de 500 metros y se estudia el porcentaje que presenta obstáculos en sus proximidades así como las distancias a las que estos se presentan.

2.3.7. Análisis según topografía y batimetría

Se presenta un mapa de las ondulaciones de la línea de costa identificadas agrupadas según intervalos de longitud de onda de 500 metros. También se presenta en el mapa la batimetría y topografía de la zona de estudio. Se compara la batimetría y topografía con las longitudes de onda de las ondulaciones en la línea de costa identificadas.

Los datos de batimetría se obtienen de EMODNet Hydrography portal (2013) y los datos de relieve se obtienen de European Environment Agency (EEA) (2012).

2.4. Identificación de tipologías

Una vez identificadas las variables definidas en la figura 2.2 en cada una de las 294 ondulaciones de la línea de costa se busca establecer distintas tipologías que agrupen las ondulaciones identificadas. Se establecen tipologías dependiendo de la longitud de onda, amplitud, número de sucesiones y criterios de simetría. En primer lugar se diferencia entre *ondulaciones unitarias* (1 sucesión) y *ondulaciones compuestas por varias sucesiones de ondas*. Una vez establecida esta diferencia en las tipologías, se definen los criterios de simetría y asimetría siguientes:

Simetría λ

- Igual λ : $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$.
- Distinta λ : $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n$.

Simetría H

- Igual H : $H_1 = H_2 = \dots = H_n$.
- Distinta H : $H_1 \neq H_2 \neq \dots \neq H_n$.

Simetría ondulación unitaria

- $\lambda_c = \lambda_s$ / $\lambda_c \neq \lambda_s$
- $A_c = A_s$ / $A_c \neq A_s$

Según los criterios establecidos se establecen distintas tipologías y se clasifican las ondulaciones de la línea de costa dentro de cada una de éstas creando tablas donde presenta el No., Denominación, País, No. de Sucesiones, Longitud de Onda (m), Amplitud (m) y Tipo de Tramo de las ondulaciones de la línea de costa pertenecientes a la tipología. Asimismo, se presentan figuras ejemplo en cada caso.

2.5. Estudio de Clima Marítimo. Viento, oleaje y nivel del mar

2.5.1. Ejemplos característicos de la tipologías. Rosas de viento y oleaje

Se elige un ejemplo característico de cada tipología. De estos ejemplos se muestra su ubicación, una imagen de la ondulación de la línea de costa y datos de oleaje y viento. La figura de ubicación de las distintas ondulaciones de la línea de costa se elaboró con el programa *Ortelius* donde se ubica la ondulación en su respectivo país y región. Las imágenes de las distintas ondulaciones de la línea de costa se obtienen de la base de datos de *Google Earth*. Se observan fotos de la base de datos *Panoramio* para estimar un tamaño de sedimento y se elige una pendiente en base a la tabla 2.3.

Granulometría	Pendiente de la playa
Cantos	24°
Grava gruesa	17°
Gravilla	11°
Arena muy gruesa	9°
Arena gruesa	7°
Arena media	5°
Arena fina	3°
Arena muy fina	1°

Tabla 2.3: Granulometria y pendiente promedio de las playas. *Fuente: Bird (1985).*

Las figuras con datos de viento y oleaje fueron elaboradas con *Autocad*. En el caso de las imágenes con rosas de oleaje se muestra la orientación con la que incide el oleaje en la línea de costa. En la figura 2.3 se muestra el criterio de signos para el ángulo de incidencia del oleaje; si el oleaje incide perpendicularmente a la costa se considera un ángulo de 0° y

a partir de este se establece el sentido antihorario como sentido positivo. Se considera que los valores de ángulos de incidencia del oleaje respecto a la línea de costa tienen un error de $\pm 2^\circ$.

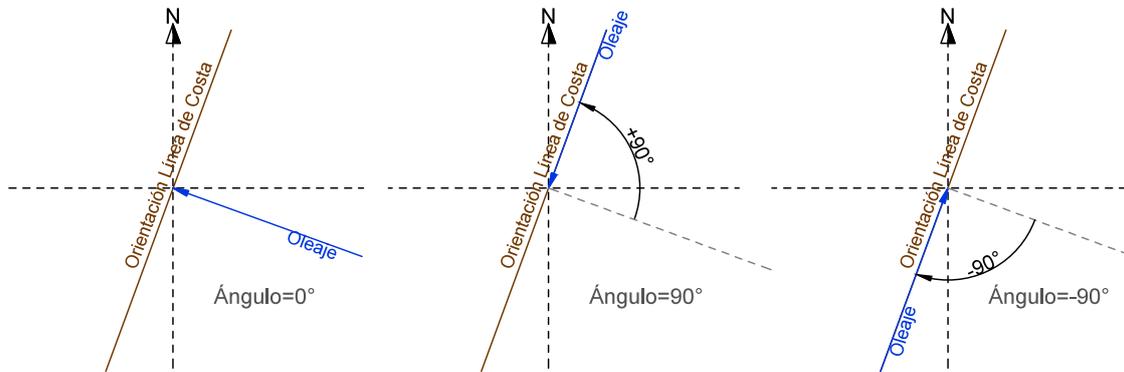


Figura 2.3: Medición de ángulo de incidencia.

Las rosas de viento y oleaje para los ejemplos se obtuvieron de distintas fuentes. En el caso de las ondulaciones de la línea de costa ubicadas en España y Argelia, las rosas de oleaje y viento se obtuvieron de la base de datos de Puertos del Estado (2013). En los casos en los que la rosa de viento no estaba disponible, se obtienen de Windfinder.com (2013). Las rosas de viento de las ondulaciones ubicadas en Francia en la costa del Canal de la Mancha y del Golfo de Vizcaya; de las ubicadas en Alemania, Dinamarca e Inglaterra en la costa del Mar del Norte y de las ubicadas en Italia se obtienen de Windfinder.com (2013).

Las rosas de oleaje de las ondulaciones de la línea de costa ubicadas en Italia se obtuvieron de ISPRA - www.idromare.it (2013). En el caso de las ondulaciones ubicadas en Francia en la costa del Canal de la Mancha, las rosas de oleaje utilizadas se obtuvieron de Levoy et al. (2000). De las ondulaciones ubicadas en Alemania e Inglaterra en la costa del Mar del Norte se obtuvieron rosas de oleaje de Beels et al. (2007) y Falqués (2006). En el caso de las ubicadas en Dinamarca en la costa del Mar del Norte las rosas de oleaje se obtuvieron de Kaergaard et al. (2012).

A partir de los datos de oleaje de los ejemplos característicos de cada tipología se elaboró una tabla resumiendo los resultados obtenidos así como gráficas que muestran datos de H_s y T_p según las distintas tipologías para establecer correlaciones entre estas y los datos de oleaje.

2.5.2. Clima marítimo en España. Oleaje y nivel del mar

Utilizando la base de datos Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E (2013) se obtiene información de clima marítimo para las ondulaciones ubicadas en la línea de costa de España. Se realizan mapas en los que se presentan los valores de los distintos parámetros. En concreto, se obtienen los siguientes datos:

- H_s : Altura de ola significativa en metros.
- $H_{s95\%}$: Altura de ola significativa que es superada el 95% del tiempo en metros.
- T_p : Periodo pico en segundos.
- FE : Flujo de energía en kW/m .

- dFE : Dirección del flujo de energía en grados. El ángulo de incidencia del flujo de energía es respecto a la línea de costa y se mide siguiendo el criterio establecido en la figura 2.3.
- H_s50 : Altura de ola significativa extremal de 50 años de periodo de retorno en metros.
- RM : Rango de marea en metros.
- MSL : Nivel medio del mar en centímetros.
- $MM95\%$: Marea meteorológica que es superada el 95 % del tiempo en centímetros.
- Ir : Número de Iribarren.

2.6. Comparativa de Tipologías

Una vez definidas las tipologías y clasificadas las ondulaciones de la línea de costa en estas, se procedió a analizar los parámetros similares entre tipologías. Se realizaron distintos análisis:

- Longitudes de onda y Amplitudes
- Relación A/λ
- Número de sucesiones
- Tipo de Tramo
- Obras artificiales o accidentes
- Topografía y batimetría
- Oleaje y nivel del mar.

2.6.1. Análisis según las longitudes de onda

Se busca hallar relaciones entre los distintos intervalos de longitud de onda y las tipologías establecidas. Para esto se realiza una tabla de doble entrada con datos de cantidad de ondulaciones identificadas según intervalos de 150–300 m de λ y según las tipologías establecidas. También se realiza un gráfico en el que se representa la cantidad de ondulaciones identificadas, el intervalo de longitud de onda predominante y la longitud de onda mínima y máxima para cada tipología. Se realizan dos tipos de análisis:

- Estudio de criterios de simetría.
- Estudio de intervalos de longitud de onda.

En el primer caso, **análisis según criterios de simetría**, se agrupan las tipologías que comparten los mismo criterios de simetría o asimetría y se identifican los intervalos de longitud de onda predominantes para cada conjunto. Se busca sacar conclusiones de los criterios de simetría predominantes en las ondulaciones de la línea de costa identificadas así como los intervalos de longitud de onda predominantes para cada caso de simetría. De esta manera se estudian por separado los siguientes casos:

- Ondulaciones con *igual* λ e *igual* H .
- Ondulaciones con *distinta* λ y *distinta* H .
- Ondulaciones con *distinta* λ e *igual* H .
- Ondulaciones con $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$.
- Ondulaciones con $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$.
- Ondulaciones con $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$.
- Ondulaciones con $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$.

En el **análisis según intervalos de longitud de onda** se estudian las tipologías predominantes para cada intervalo. Una vez identificadas las tipologías predominantes y sus criterios de simetría se agrupan todas aquellas tipologías que tengan en común los mismos criterios para establecer de esta manera aquellas características de simetría o asimetría que predominan para cada conjunto de ondulaciones de la línea de costa.

2.6.2. Análisis según la relación A/λ

Al igual que en 2.3.2. Análisis según la relación A/λ de las ondulaciones de la línea de costa identificadas, este análisis se realiza elaborando un diagrama de dispersión en el que se representan las ondulaciones agrupadas según las distintas tipologías. Cada ondulación de la línea de costa se representa con su longitud de onda máxima y mínima así como sus amplitudes máximas y mínimas. El diagrama de dispersión junto a los modelos de regresión lineal y los coeficientes de determinación lineal se elabora con Excel y se comprueba con el programa estadístico JMP10.

2.6.3. Análisis según número de sucesiones

Se buscan relaciones entre las tipologías identificadas y el número de sucesiones de ondas que componen las ondulaciones pertenecientes a cada tipología. Se realiza una tabla de doble entrada con datos de ondulaciones de la línea de costa clasificadas según tipologías y según número de sucesiones. Se agrupan las tipologías según los criterios de simetría en común como en secciones anteriores y se estudia el porcentaje de ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios y determinado número de sucesiones. Se presentan gráficos según criterios de simetría en las distintas sucesiones y en las ondulaciones unitarias.

2.6.4. Análisis según tipo de tramo

Se estudian los tres tipos de tramo de costa identificados (desembocadura, tramo curvo y recto) y se relacionan con las tipologías identificadas. Se identifican las tipologías predominantes para cada tipo de tramo diferenciando entre ondulaciones unitarias y ondulaciones compuestas por dos o más sucesiones.

2.6.5. Análisis según obras artificiales o accidentes

Para este estudio se agrupan las ondulaciones de la línea de costa en función a las distintas tipologías y se estudia la cantidad de ondulaciones que presentan algún tipo de obra artificial o accidente en sus proximidades. Se estudia el tipo de obra artificial o accidente diferenciando entre espigones, encauzamientos, puertos, muelles y rocas. Se estudia también la distancia a la que se encuentra el obstáculo de la ondulación recordando que se identificaron obstáculos a una distancia máxima de 5λ desde el punto de ubicación de la ondulación de la línea de costa. Una vez identificados todos estos parámetros se realizan dos tipos de análisis:

- Estudio de rangos de distancia.
- Estudio de criterios de simetría.

En el **estudio de rangos de distancia** se estudian los distintos intervalos $d \leq 1\lambda$, $1\lambda < d \leq 2\lambda$, $2\lambda < d \leq 3\lambda$, $3\lambda < d \leq 4\lambda$, $4\lambda < d \leq 5\lambda$ y se estudian las tipologías que predominan cada intervalo. En el **estudio de criterios de simetría** se

agrupan las distintas tipologías según los criterios de simetría o asimetría en común y se estudian los rangos de distancia que predominan para cada caso.

2.6.6. Análisis según topografía y batimetría

Al igual que en la sección 2.3.7 se presentan mapas con datos de batimetría y topografía así como las ondulaciones de la línea de costa clasificadas según las distintas tipologías.

2.6.7. Análisis según oleaje y nivel del mar

Se agrupan las distintas tipologías identificadas según los distintos criterios de simetría y se estudia la altura de ola significativa, el periodo pico, el flujo medio de energía y el ángulo de incidencia del oleaje para cada conjunto de ondulaciones de la línea de costa. Se establecen los criterios del oleaje que predominan en cada una de las tipologías establecidas.

Capítulo 3

Identificación de ondulaciones de la línea de costa y análisis de resultados

En el estudio de la línea de costa se identificaron un total de 294 lugares que presentan ondulaciones en la línea de costa la cuales se representan en la figura 3.1.



Figura 3.1: Ondulaciones de la línea de costa identificadas.

En el Apéndice A se presenta la tabla A.1 con los datos mencionados en 2.2.5. Resumen de Información Recopilada para cada una de las ondulaciones de la línea de costa identificadas.

3.1. Análisis de resultados según las longitudes de onda y amplitudes

Se procede a analizar las ondulaciones de la línea de costa identificadas en la tabla A.1. Como se ha indicado en la sección 2.3. Análisis de Datos, se agrupan las ondulaciones de la línea de costa según intervalos de longitud de onda y amplitud. Se hacen dos clasificaciones, la primera en intervalos de 500 metros de longitud de onda y la segunda en intervalos más reducidos (150–300 m) para intentar ajustar los resultados. En el caso de la amplitud se establecen intervalos de 25–50 metros.

Intervalo [,) λ (m)	Ondulaciones de la línea de costa
30–500	222
500–1000	46
1000–1500	11
1500–2000	7
2000–2500	5
2500	2
5000	1

(a) Intervalos de 500 metros.

Intervalo [,) λ (m)	Ondulaciones de la línea de costa
30–200	112
200–350	72
350–500	38
500–650	23
650–850	12
850–1000	11
1000–1300	11
1500–1800	4
1800–2000	3
2000–2300	2
2300–2500]	5
5000	1

(b) Intervalos de 150–300 metros.

Tabla 3.1: Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de longitud de onda λ .

Intervalo [,) A (m)	Ondulaciones de la línea de costa
1–25	215
25–50	45
50–75	19
75–100	6
100–150	6
150	1
200–250	2

Tabla 3.2: Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de amplitud A de 25–50 m.

Intervalo [,) λ (m)	Intervalo [,) A (m)	Ondulaciones de la línea de costa
30-500	1-25	205
	25-50	16
	50-75	1
500-1000	1-25	10
	25-50	26
	50-75	9
	75-100	1
1000-1500	25-50	2
	50-75	7
	75-100	2
1500-2000	25-50	1
	50-75	2
	100-150	3
	150	1
2000-2500	75-100	2
	100-150	2
	200-250	1
2500	75-100	1
	100-150	1
5000	200-250	1

(a) Intervalos de λ 500 m y A 50-25 m.

Intervalo [,) λ (m)	Intervalo [,) A (m)	Ondulaciones de la línea de costa
30-200	1-25	111
	25-50	1
200-350	1-25	69
	25-50	3
350-500	1-25	25
	25-50	12
	50-75	1
500-650	1-25	6
	25-50	15
	50-75	2
650-850	1-25	2
	25-50	8
	50-75	1
	75-100	1
850-1000	1-25	2
	25-50	3
	50-75	6
1000-1300	25-50	2
	50-75	7
	75-100	2
1500-1800	25-50	1
	50-75	1
	100-150	2
1800-2000	50-75	1
	100-150	1
	150	1
2000-2300	75-100	1
	100-150	1
2300-2500]	75-100	2
	100-150	2
	200-250	1
5000	200-250	1

(b) Intervalos de λ 150-300 m y A 50-25 m.

Tabla 3.3: Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de longitud de onda λ y amplitud A .

Schwartz (2006) identifica a las ondas de arena de la línea de costa como formas que presentan longitudes de onda desde 150 hasta 1500 m, estando la mayoría entre los 500 y 750 metros.

Observando en la tabla 3.1a vemos que la cantidad de ondulaciones de la línea de costa que presentan λ entre 150–1500 metros es de 279 ondulaciones, lo que representa el 95 % de la totalidad de las ondulaciones identificadas en este PFC. Se observa también en la tabla 3.1b que la cantidad de ondulaciones que presentan λ entre 500–750 m es menor de 35, lo que representa solamente el 12 % de las 294 ondulaciones de la línea de costa identificadas. En este caso, el intervalo de longitud de onda más frecuente, es decir el que presenta mayor cantidad de ondulaciones es el de 30–200 metros con 112 ondulaciones representando el 38 % de las ondulaciones de la línea de costa identificadas; este intervalo corresponde a la definición de ondulaciones cortas, como ondulaciones de la línea de costa que presentan longitudes de onda de varias decenas a varios cientos de metros (Idier et al., 2011).

Respecto a la amplitud, se observa en la tabla 3.2 que el intervalo más frecuente es el de 1–25 metros con 215 ondulaciones representando el 73 % de totalidad de las ondulaciones de la línea de costa identificadas.

En la tabla 3.3b se observa la cantidad de ondulaciones de la línea de costa según los intervalos de longitud de onda y amplitud. Como se ha mencionado anteriormente, el intervalo predominante de λ es el de 30–200 metros con 112 ondulaciones de la línea de costa, de las cuales 111 presentan amplitudes de 1–25 metros. La mayor parte de las 294 ondulaciones de la línea de costa identificadas en este proyecto, en concreto, el 38 % presentan longitudes de onda de 30–200 metros y amplitudes de 1–25 metros.

3.2. Análisis de resultados según la relación A/λ

En la figura 3.2 se observa el diagrama de dispersión de las ondulaciones de la línea de costa según los distintos intervalos de longitud de onda de 500 metros junto a las rectas de regresión lineal. Se busca establecer una relación A/λ para los distintos intervalos de longitud de onda y comparar esa relación con resultados expuestos por diversos autores.

Se observa que los valores de los *coeficientes de determinación lineal* son bastante bajos; valores de R^2 próximos a 1 indican un buen ajuste y aquellos próximos a 0 indican un mal ajuste. En nuestros casos, el mayor valor de R^2 lo presenta el intervalo de λ 30–500 m con un valor $R^2 = 0.54$, esto es, el 54 % de la variación total de los valores de la amplitud pueden ser explicados mediante la recta de regresión ajustada; el menor valor lo presenta el intervalo de λ 2000–2500 m con $R^2 = 0.02$. Por esta razón se hacen los estudios completos de regresión lineal para cada uno de los intervalos obteniendo los intervalos al 95 % de confianza para poder establecer las relaciones A/λ . Se procede a estudiar la regresión lineal simple para cada uno de los intervalos representados en la figura 3.2.

Intervalo λ 30–500 metros

En la figura 3.3 se muestra el ajuste de regresión lineal, los intervalos al 95 % de confianza del valor medio de amplitud según distintas λ y las correspondientes relaciones A/λ .

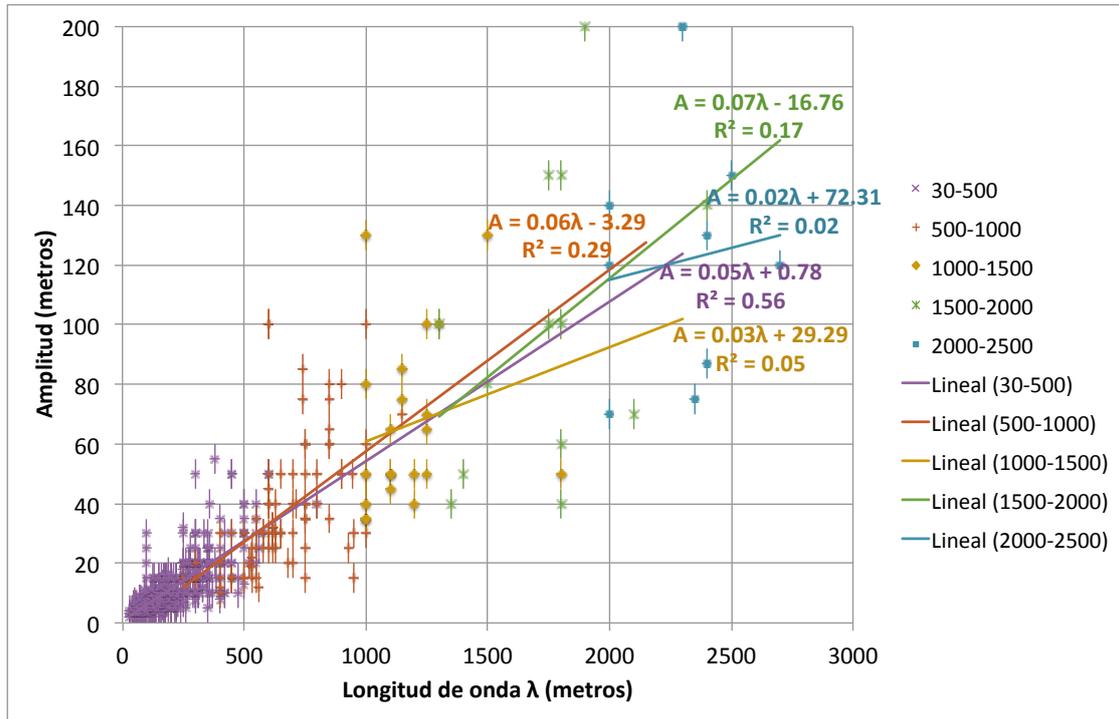


Figura 3.2: Gráfica de dispersión λ frente A según intervalos de longitud de onda.

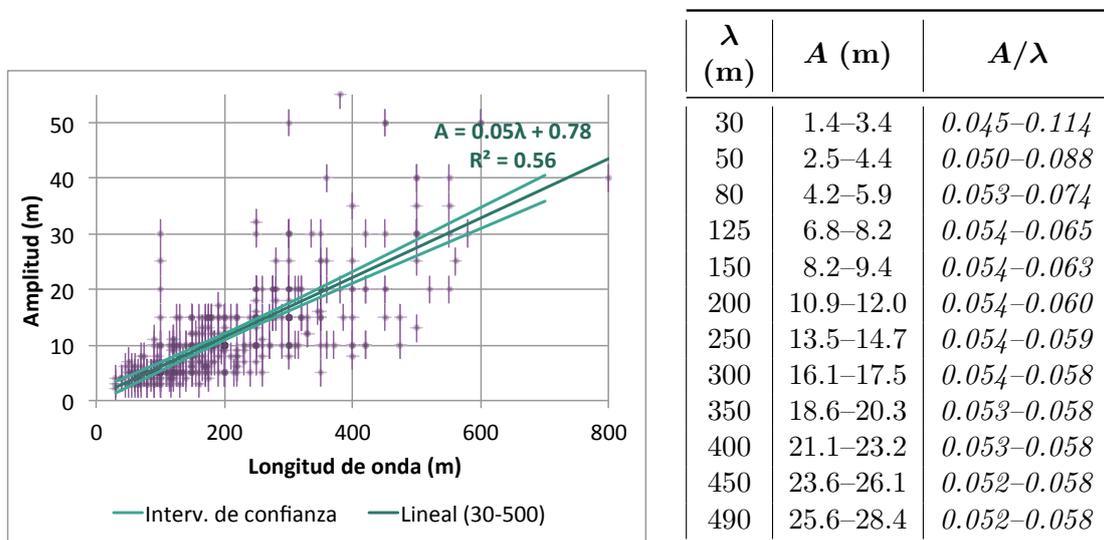


Figura 3.3: Ajuste de regresión para el intervalo λ 30–500 m.

Medellín et al. (2008) identificaron ondulaciones de la línea de costa que presentan $\lambda=125-150$ m y $A=15$ m mostrando así una relación $A \approx 0.1\lambda$. En la figura 3.3 se observa que para λ 125–150 m se tiene una relación de $A \approx 0.05-0.06\lambda$. En general se presentan relaciones $A \approx 0.05-0.1\lambda$.

Intervalo λ 500–1000 metros

En la figura 3.4 se muestra el ajuste de regresión lineal, los intervalos al 95 % de confianza del valor medio de amplitud según distintas longitudes de onda y las correspondientes

relaciones A/λ .

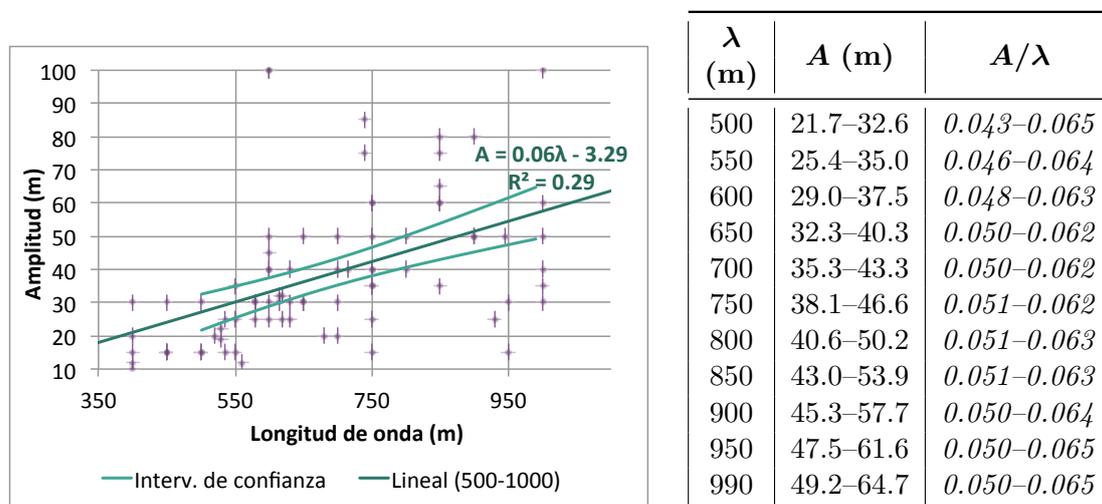


Figura 3.4: Ajuste de regresión para el intervalo λ 500–1000 m.

Se observa en la figura 3.4 que para longitudes de onda de 550–900 metros la relación A/λ es de $A \approx 0.05\text{--}0.06\lambda$, valores que coinciden con las ondulaciones de la línea de costa identificadas por Thevenot and Kraus (1995) las cuales presentan $\lambda=750$ m y $A=40$ m con lo que $A=0.05\lambda$. A pesar de esto, se observa que dado que el coeficiente de determinación lineal es más bajo se obtienen bandas de confianza más amplias y no se pueden obtener conclusiones concretas.

Intervalo λ 1000–1500 metros

En la figura 3.5 se muestra el ajuste de regresión lineal, los intervalos al 95% de confianza del valor medio de amplitud según distintas longitudes de onda y las correspondientes relaciones A/λ .

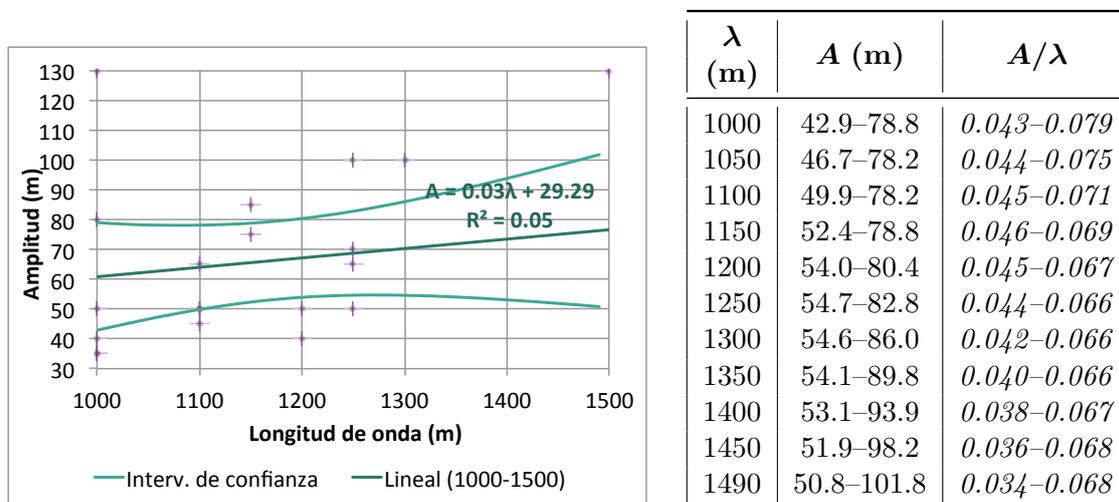
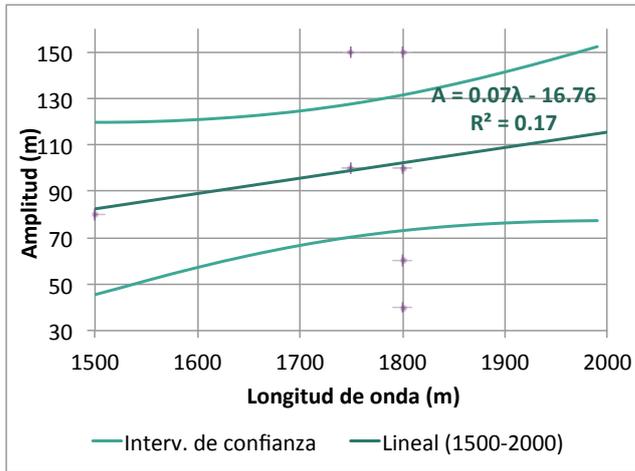


Figura 3.5: Ajuste de regresión para el intervalo λ 1000–1500 m.

Intervalo λ 1500–2000 metros

En la figura 3.6 se muestra el ajuste de regresión lineal, los intervalos al 95 % de confianza del valor medio de amplitud según distintas longitudes de onda y las correspondientes relaciones A/λ .



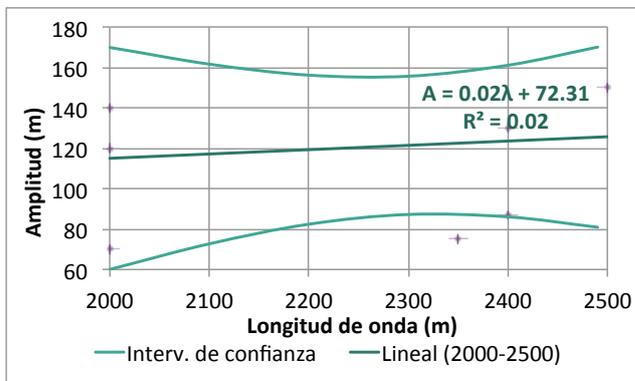
λ (m)	A (m)	A/λ
1500	45.3–119.6	0.030–0.080
1550	51.5–120.0	0.033–0.077
1600	57.2–120.9	0.036–0.076
1650	62.3–122.4	0.038–0.074
1700	66.7–124.6	0.039–0.073
1750	70.3–127.6	0.040–0.073
1800	73.1–131.5	0.041–0.073
1850	75.1–136.1	0.041–0.074
1900	76.4–141.4	0.040–0.074
1950	77.1–147.3	0.040–0.076
1990	77.4–152.3	0.039–0.077

Figura 3.6: Ajuste de regresión para el intervalo λ 1500–2000 m.

Debido al reducido tamaño de la muestra no se pueden obtener conclusiones concretas. Las ondulaciones de la línea de costa identificadas por Bruun (1954) presentan $\lambda=300$ –2000 m y $A=60$ –80 m con lo que $A \approx 0.04$ – 0.3λ y las identificadas por López-Ruiz et al. (2012) presentan $\lambda=500$ –2000 m y $A=150$ m con lo que $A \approx 0.08$ – 0.3λ .

Intervalo λ 2000–2500 metros

En la figura 3.7 se muestra el ajuste de regresión lineal, los intervalos al 95 % de confianza del valor medio de amplitud según distintas longitudes de onda y las correspondientes relaciones A/λ .



λ (m)	A (m)	A/λ
2000	60.1–170.0	0.030–0.085
2100	72.7–161.7	0.035–0.077
2200	82.4–156.2	0.037–0.071
2300	87.2–155.7	0.038–0.068
2400	86.1–161.1	0.036–0.067
2490	80.9–170.1	0.033–0.068

Figura 3.7: Ajuste de regresión para el intervalo λ 2000–2500 m.

Las ondulaciones de la línea de costa que no fueron representadas en la figura 3.2 son las 2 ondulaciones de la línea de costa con $\lambda=2500$ m, las cuales presentan $A \approx 0.04\lambda$ y la ondulación con $\lambda=5000$ m que presenta una relación de $A \approx 0.04$ – 0.06λ . Verhagen (1989)

identificó ondulaciones de la línea de costa que presentan $\lambda=2.5-22$ km y $A=30-500$ m con lo que $A \approx 0.01-0.02\lambda$, una relación inferior a la que se presenta en este proyecto.

Conforme a lo mencionado anteriormente, la relación A/λ expuesta por diversos autores va de $A \approx 0.01\lambda$ a $A \approx 0.3\lambda$ y en el caso de las 294 ondulaciones de la línea de costa identificadas en este proyecto se observan relaciones mínimas de $A \approx 0.03\lambda$ y máximas $A \approx 0.1\lambda$.

3.3. Análisis según países y regiones costeras

Para la realización de este análisis se clasifican las 294 ondulaciones de la línea de costa según la región costera y el país de ubicación. Estudiando los resultados de la tabla A.1 observamos que la mayor parte de las ondulaciones de la línea de costa identificadas se encuentran en la costa del Mar Mediterráneo. Clasificando las ondulaciones de la línea de costa por el país y la región costera en la que se encuentran:

- 107 ondulaciones corresponden al Mar Mediterráneo (Med.) (*ondulaciones No.114-220*).
- 55 ondulaciones corresponden al Océano Atlántico (Atl.) (*No. 1-26, 50, 74-82, 86-87, 103-113 y 221-226*).
- 15 ondulaciones corresponden al Golfo de Vizcaya (Vizc.) (*No. 27-41*).
- 11 ondulaciones corresponden al Canal de la Mancha (Man.) (*No. 42-47 y 69-73*).
- 11 ondulaciones corresponden al Mar de Irlanda (M. Irl.) (*No. 51-58 y 83-85*).
- 25 ondulaciones corresponden al Mar del Norte (M. Nor.) (*No. 48-49, 59-68 y 88-100*).
- 4 ondulaciones corresponden al estrecho Skagerrak (Skag.) (*No. 101-102, 227-228*).
- 50 ondulaciones corresponden al estrecho Kattegat (Katt.) (*No. 229-271, 273-279*).
- 16 ondulaciones corresponden al Mar Báltico (Bal.) (*No. 272, 280-294*).

País	Costa									Total
	Med.	Atl.	Vizc.	Man.	M. Irl.	M. Nor.	Skag.	Katt.	Bal.	
Alemania	-	-	-	-	-	6	-	-	13	19
Argelia	10	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Dinamarca	-	-	-	-	-	7	4	50	3	64
Escocia	-	-	-	-	1	6	-	-	-	7
España	38	16	2	-	-	-	-	-	-	56
Francia	6	-	13	6	-	-	-	-	-	25
Gales	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4
Holanda	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2
Inglaterra	-	1	-	5	3	4	-	-	-	13
Irlanda	-	10	-	-	3	-	-	-	-	13
Irlanda del Norte	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Italia	51	-	-	-	-	-	-	-	-	51
Marruecos	2	6	-	-	-	-	-	-	-	8
Portugal	-	21	-	-	-	-	-	-	-	21
Total	107	55	15	11	11	25	4	50	16	294

Tabla 3.4: Ondulaciones de la línea de costa clasificadas por países y por regiones costeras.

En el caso del Océano Atlántico, las ondulaciones de la línea de costa identificadas en España muestran λ mínimas de 50–100 m (*112.Palmones*) y máximas de 2400 metros (*3.El Rompido*) con lo que vemos que el rango es muy amplio. Como referencia a ondulaciones de la línea de costa identificadas en España en el Atlántico se puede nombrar las identificadas por López-Ruiz et al. (2012) las cuales muestran $\lambda=500-2000$ m y $A=150$ m.

En el caso del Mar del Norte, las ondulaciones de la línea de costa identificadas en Dinamarca muestran longitudes de onda mínimas de 120-200 m (*95.Henne*) y máximas de 700–1000 m (*100.Bowlingbjerg*), estos datos están dentro del rango de λ de 300–2000 m identificado por Bruun (1954) en la costa Danesa. En el caso de Holanda, Verhagen (1989) identificó ondulaciones con longitudes de onda de 2.5–22 km y amplitudes de 30–500 m, rangos que corresponden a las 2 ondulaciones de la línea de costa identificadas en este proyecto en Holanda (la ondulación *49.Schier* presenta $\lambda=2000$ m y $A=140$ m y la ondulación *48.Oudorp* presenta $\lambda=5000$ m y $A=300$ m).

Se procede a estudiar la clasificación de las distintas ondulaciones de la línea de costa según intervalos de longitud de onda.

Mar Mediterráneo

Se observa en la tabla 3.5 que en ondulaciones de la línea de costa del Mar Mediterráneo predominan las longitudes de onda menores a 350 metros (78 % de las ondulaciones de la línea de costa) y solamente hay dos ondulaciones que presentan longitudes de onda mayores a 1000 metros (1.9 % de las ondulaciones). De los datos de clima marítimo que se obtienen en este proyecto se tiene que la altura de ola significativa más frecuente en el Mediterráneo es de $H_s=0.2-1$ m representando el 75.5 % del oleaje estudiado, seguido del intervalo 1–2 m con un 19.2 %. Respecto al periodo pico, el intervalo predominante es de $T_p=4-6$ s representando el 49.4 % del oleaje estudiado, seguido del intervalo 6–8 s con un 21.8 %. En España se presentan valores de $H_s=0.5-1$ m y $T_p=4-5.8$ segundos.

Océano Atlántico

En el Océano Atlántico observamos que los intervalos de longitud de onda con mayor número de ondulaciones de la línea de costa son los de [30 , 200) y [350 , 500) metros con 12 y 17 ondulaciones respectivamente. El 14.5 % de las ondulaciones supera los 1000 metros de longitud de onda. En la costa inglesa del Atlántico predominan $H_s=1-2$ m y $T_p=6-8$ segundos (Scott et al., 2011). En la costa española del Golfo de Cadiz la altura de ola significativa más frecuente está entre 0.5–1 m y el 83.4 % del tiempo se tiene $H_s \leq 1.5$. Los periodos más frecuentes son de 8–10 s y el 84.4 % corresponde a periodos ente 4–14 segundos (Ortega-Sánchez et al., 2008). De los datos obtenidos de Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E (2013) se presentan valores de $H_s=0.6-0.7$ m y $T_p=5-7$ s en la costa española del Atlántico.

Mar del Norte

En el Mar del Norte observamos que el intervalo de longitud de onda con mayor número de ondulaciones es el de [200 , 350) con 7 ondulaciones, seguido por varios intervalos de λ menores a 1000 m con 3 ondulaciones cada uno. El 20 % de las ondulaciones identificadas supera los 1000 metros de longitud de onda. En el Mar del Norte se presenta la ondulación *48.Oudorp* con $\lambda=5000$ m, la mayor identificada en este proyecto. En la costa danesa del Mar del Norte se presentan olas con $H_s=1-5$ m y $T_e=4.7-6.9$ s; en la costa holandesa con $H_s=0.5-4.5$ m y $T_e=4.7-8.1$ s; en la costa alemana con $H_s=0.25-3.75$ m y $T_e=4.1-8.1$ s

y en la costa inglesa se presentan olas con $H_s=0.5-4.5$ m y $T_e=5.3-9.1$ s (Beels et al., 2007). Agrupando estos valores se puede decir que en el Mar del Norte las alturas de ola significativa van de 0.25 a 4.5 m y los periodos de energía de 4.1 a 9.3 segundos.

En general las ondulaciones del Mar del Norte así como las ondulaciones del Océano Atlántico muestran mayores longitudes de onda que en el caso del Mar Mediterráneo ya que se presentan mayores valores de H_s y T_p .

Canal de la Mancha

En el Canal de la Mancha observamos que los intervalos de longitud de onda con mayor número de ondulaciones son los de [200 , 350), [500 , 650) y [1000 , 1300) metros con 3 ondulaciones cada una. En este caso, el 36 % de la totalidad de ondulaciones supera los 1000 metros de longitud de onda. El Canal de la Mancha es el brazo de mar del Océano Atlántico que lo comunica con el Mar del Norte. La parte central del Canal de la Mancha es un area con fuerte marea. Vientos locales provenientes del sudoeste al noroeste generan olas con periodos de 4 ± 6 s en el invierno. Estas olas locales coexisten con el oleaje (*swell*) del Atlántico Norte con periodos picos entre los 8 y 12 s. Periodos excepcionales de 20 s se han registrado. Las alturas de olas significantes máximas anuales varían de los 4.2 m en Les Trois Grunes a los 2.8 Videcoq (Levoy et al., 2000). En el punto de medición Westhinder (en lo que se considera el límite entre el Canal de la Mancha y el Mar del Norte) el 76.5 % del oleaje presenta periodos de 3.5–5.5 s coincidente a lo indicado para el Canal de la Mancha. Respecto a la altura de ola significativa, el 70 % del oleaje presenta H_s entre 0.5–2 m llegando a presentarse máximos de 5 m. (Beels et al., 2007).

Los intervalos predominantes [200 , 350) y [500 , 650) los son también en el caso del Mar del Norte lo cual tiene sentido ya que presentan datos de clima muy similares.

Estrechos Skagerrak, Kattegat y Már Báltico

En el caso de los estrechos Skagerrak, Kattegat y Már Báltico predominan las ondulaciones con longitudes menores a 350 metros. En el Kattegat, el 78 % de las ondulaciones identificadas pertenecen al intervalo 30–200 m, en el Mar Báltico es el 56 % y el 44 % es de ondulaciones con longitudes de 200–350 m. En Waters et al. (2009) se estudia el oleaje en Skagerrak y Kattegat indicando que se presentan olas con H_s entre 4.1–6.9 m en Skagerrak y H_s entre 3.9–5.8 m en Kattegat. En el Mar Báltico se presentan H_s de 0.76 m y periodos de 2.6–4 segundos (Soomere et al., 2012).

Mar de Irlanda

En el Mar de Irlanda observamos que los intervalos de longitud de onda con mayor número de ondulaciones son los de [350 , 500) y [850 , 1000) metros con 3 ondulaciones cada uno. Aquí predominan $H_s=1-2$ m llegando las máximas a alcanzar los 5 metros y $T_p=4-8$ s con máximos de 16 s (Scott et al., 2011).

Golfo de Vizcaya

En el Golfo de Vizcaya observamos que el intervalo de longitud de onda con mayor número de ondulaciones de la línea de costa es el de [200 , 350) con 4 ondulaciones de la línea de costa. De los datos obtenidos de Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E (2013) se presentan valores de $H_s=1-2$ m y $T_p=9-10$ s en la costa española del Golfo de Vizcaya.

λ (m) \ Costa	Mar Mediter.	Océano Atlántico	Golfo de Vizcaya	Canal Mancha	Mar de Irlanda	Mar del Norte	Skagerrak	Kattegat	Mar Báltico	Total
30–500	93	35	7	3	4	13	3	48	16	222
500–1000	12	12	4	4	5	7	-	2	-	46
1000–1500	1	3	2	3	1	1	-	-	-	11
1500–2000	1	3	2	-	-	1	-	-	-	7
2000–2500	-	1	-	1	1	1	1	-	-	5
2500	-	1	-	-	-	1	-	-	-	2
5000	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Total	107	55	15	11	11	25	4	50	16	294

(a) Intervalos de 500 metros.

λ (m) \ Costa	Mar Mediter.	Océano Atlántico	Golfo de Vizcaya	Canal Mancha	Mar de Irlanda	Mar del Norte	Skagerrak	Kattegat	Mar Báltico	Total
30–200	47	12	1	-	1	3	-	39	9	112
200–350	36	6	4	3	-	7	2	7	7	72
350–500	10	17	2	-	3	3	1	2	-	38
500–650	6	6	2	3	2	3	-	1	-	23
650–850	3	4	2	1	-	1	-	1	-	12
850–1000	3	2	-	-	3	3	-	-	-	11
1000–1300	1	3	2	3	1	1	-	-	-	11
1500–1800	-	1	2	-	-	1	-	-	-	4
1800–2000	1	2	-	-	-	-	-	-	-	3
2000–2300	-	1	-	-	-	1	-	-	-	2
2400–2500	-	1	-	1	1	1	1	-	-	5
5000	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Total	107	55	15	11	11	25	4	50	16	294

(b) Intervalos de 150–300 metros.

Tabla 3.5: Distribución de ondulaciones de la línea de costa según regiones costeras e intervalos de λ .

3.4. Análisis según el número de sucesiones

Se realiza una clasificación según el número de sucesiones de ondas que componen las ondulaciones en la línea de costa y se estudia la relación con la longitud de onda.

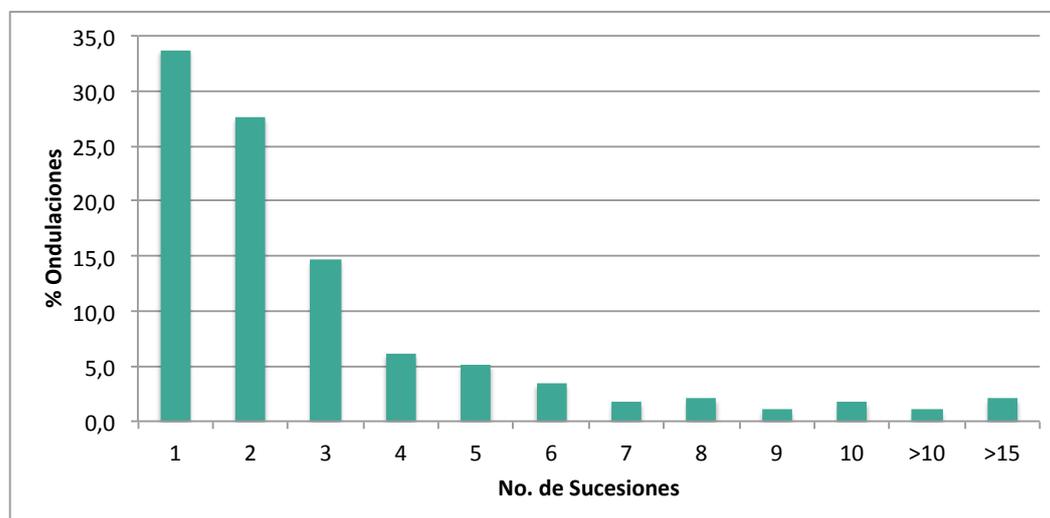


Figura 3.8: Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa clasificadas según el no. de sucesiones.

En la figura 3.8 se observa que predominan las ondulaciones unitarias y aquellas compuestas por 2 sucesiones. Aproximadamente, el 34 % (99 ondulaciones) son ondulaciones unitarias y el 28 % (81 ondulaciones) están compuestas por 2 sucesiones. De las ondulaciones unitarias identificadas, el 26 % se encuentra en la zona de los estrechos Kattegat, Skagerrak y Mar Báltico; el 23 % se encuentra en el Mar Mediterráneo y el 18 % se encuentra en el Océano Atlántico. De las ondulaciones compuestas por 2 sucesiones, el 32 % se encuentra en el Mar Mediterráneo; el 25 % se encuentra en los estrechos Kattegat, Skagerrak y Mar Báltico y el 25 % se encuentra en el Océano Atlántico.

λ (m)	Suces.													Total
	1 (O. unitaria)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	>15		
30–200	39	29	19	5	7	4	2	1	-	3	1	2	112	
200–350	19	18	11	5	2	4	1	5	1	2	1	3	72	
350–500	9	13	5	5	2	1	-	-	2	-	-	1	38	
500–650	12	5	4	-	-	-	2	-	-	-	-	-	23	
650–850	3	3	1	2	2	1	-	-	-	-	-	-	12	
850–1000	4	2	2	1	1	-	-	-	-	-	1	-	11	
1000–1300	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	
1500–1800	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	4	
1800–2000	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	
2000–2300	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
2300–2500]	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	
5000	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
Total	99	81	43	18	15	10	5	6	3	5	3	6	294	

Tabla 3.6: Distribución de ondulaciones de la línea de costa según no. de sucesiones e intervalos de λ (150–300 m).

Como se ha mencionado anteriormente, el 38 % de las ondulaciones de la línea de costa identificadas presentan longitudes de onda 30–200 metros seguidas de aquellas que presentan λ 200–350 m las cuales representan el 25 % de las ondulaciones identificadas.

De las ondulaciones unitarias que presentan longitudes de onda de 30–200 m, el 49 % se encuentra en los estrechos Kattogat, Skagerrak y Mar Báltico y el 28 % se encuentra en el Mar Mediterráneo; en el caso de las ondulaciones que presentan 2 sucesiones los porcentajes pasan a ser de 45 % y 35 % respectivamente. De las ondulaciones unitarias que presentan longitudes de onda de 200–350 m, el 26 % se encuentra en el Mar Mediterráneo; el 21 % se encuentra en los estrechos Kattogat, Skagerrak y Mar Báltico y el 21 % se encuentra en el Océano Atlántico; en el caso de las ondulaciones que presentan 2 sucesiones, el 55 % se encuentra en el Mar Mediterráneo.

Se observa en la tabla 3.6 que de las ondulaciones con mayores λ , la mayoría son ondulaciones unitarias o presentan 2 sucesiones. El 50 % de las ondulaciones con λ mayor a 1000 metros son ondulaciones unitarias.

Las ondulaciones compuestas por varias sucesiones presentan longitudes de onda reducidas. En el caso de las ondulaciones de la línea de costa compuestas por más de 15 sucesiones, se observa que el rango de longitud de onda predominante es de 30–350 metros, al igual que con las ondulaciones compuestas por más de 10 sucesiones. En la tabla A.1 se observa que las ondulaciones de la línea de costa compuestas por un alto número de sucesiones se encuentran en tramos que van desde los 2 hasta los 12 kilómetros de longitud, esto significa que en muchos casos estas ondulaciones no presentaban las sucesiones seguidas una tras de otra sino que habían tramos intermedios en los que no se identificaba claramente la cresta de la ondulación. En estos casos se consideraron las distintas sucesiones de ondas como una ondulación por simplificación y debido a que no se observaba claramente que fueran ondulaciones distintas. La ondulación *126.Rincón de la Victoria* presenta más de 10 sucesiones y longitudes de onda de 850–1000 metros, estas sucesiones se encuentran en un tramo de 10 kilómetros pero debido a la forma de la línea de costa se decidió considerar las sucesiones como una ondulación.



Figura 3.9: Ondulación 126.Rincón de la Victoria (>10 sucesiones en tramo de 10 kms).

Fuente: Google Earth.

3.5. Análisis de resultados según el tipo de tramo

Como se ha indicado anteriormente se estudia la cantidad de ondulaciones de la línea de costa identificadas según se encuentran en tramos rectos, curvos o desembocaduras. Se relacionan estos criterios con datos de λ y número de sucesiones que presentan.

Se observa en la tabla 3.7 que predominan las ondulaciones de la línea de costa en tramos rectos y curvos. En las desembocaduras existen otros factores que pueden contribuir a la formación de ondulaciones, es por esto que se consideraron como una categoría distinta aunque se podrían incluir en la categoría de *tramo curvo*. Si se consideran tanto las ondulaciones en tramos curvos como las ubicadas en desembocaduras, se tiene el 63 %

λ (m) \ Tramo	Tramo Recto	Tramo Curvo	Desembocadura	Total
30–200	43	43	26	112
200–350	36	26	10	72
350–500	14	15	9	38
500–650	3	10	10	23
650–850	6	3	3	12
850–1000	3	4	4	11
1000–1300	1	3	7	11
1500–1800	2	1	1	4
1800–2000	1	-	2	3
2000–2300	-	2	-	2
2300–2500]	-	3	2	5
5000	-	1	-	1
Total	109	111	74	294

Tabla 3.7: Distribución de ondulaciones de la línea de costa según el tipo de tramo e intervalos de λ (150–300 m).

de la totalidad de las ondulaciones identificadas por lo que se concluye que la mayoría de las ondulaciones se forman en tramos de costa que presentan cierto grado de curvatura.

Se observa también en la tabla 3.7 que en los tres tipos de tramo dominan las ondulaciones con longitudes de onda pequeñas; aquellas con λ 30–200 m representan del 35–40 % de las ondulaciones en cada tipo de tramo. Las ondulaciones con mayor longitud de onda se ubican en desembocaduras o tramos curvos.

Se estudia la relación entre el número de sucesiones y el tipo de tramo de costa.

Suces. \ Tramo	Tramo Recto	Tramo Curvo	Desembocadura	Total
1 (<i>O. unitaria</i>)	20	36	43	99
2	24	31	26	81
3	20	20	3	43
4	6	11	1	18
5	10	4	1	15
6	6	4	-	10
7	5	-	-	5
8	4	2	-	6
9	3	-	-	3
10	5	-	-	5
Más de 10	2	1	-	3
Más de 15	4	2	-	6
Total	109	111	74	294

Tabla 3.8: Ondulaciones de la línea de costa según el no. de sucesiones y el tipo de tramo.

Se observa en la tabla 3.8 que las ondulaciones de la línea de costa con mayor número de sucesiones se presentan en tramos rectos. Como ya se ha explicado anteriormente muchas

de estas ondulaciones se ubicaban en tramos rectos de gran longitud (kms). Se observa también que las ondulaciones unitarias o con 2 sucesiones se ubican principalmente en desembocaduras y tramos curvos.

De las ondulaciones que se forman en desembocaduras, el 32 % están en el Océano Atlántico; el 15 % en el Mar Mediterráneo y el 14 % en el Golfo de Vizcaya. En el caso de las ondulaciones ubicadas en tramos curvos, el 40 % se encuentra en el Mediterráneo; el 34 % en los estrechos Kattegat, Skagerrak y Mar Báltico; el 12 % se encuentra en el Atlántico y el 9 % se encuentra en el Mar del Norte. De las ondulaciones ubicadas en tramos rectos, el 48 % están en el Mediterráneo; el 25 % se encuentran en los estrechos Kattegat, Skagerrak y Mar Báltico y el 17 % se encuentra en el Océano Atlántico.

3.6. Análisis según obras artificiales o accidentes

Se identificaron obstáculos a una distancia máxima de 5λ desde el punto de ubicación de la ondulación de la línea de costa. De esta manera se obtuvo que 135 ondulaciones presentan algún tipo de obra artificial o accidente en sus proximidades representando el 45.9 % de la totalidad de ondulaciones de la línea de costa identificadas en este PFC.

Obra o Accidente	Ondulaciones de la línea de costa
Encauzamiento	24
Espigón	39
Muelle	9
Puerto	29
Rocas	34

Tabla 3.9: Ondulaciones de la línea de costa que presentan un tipo de obstáculo.

Se observa en la tabla 3.9 que lo más frecuente son los espigones, 39 ondulaciones presentan espigones en sus proximidades lo que representa 13.3 % de las ondulaciones identificadas; le siguen los puertos y los encauzamientos. Es interesante estudiar la distancia a la que se encuentran dichos obstáculos de sus respectivas ondulaciones.

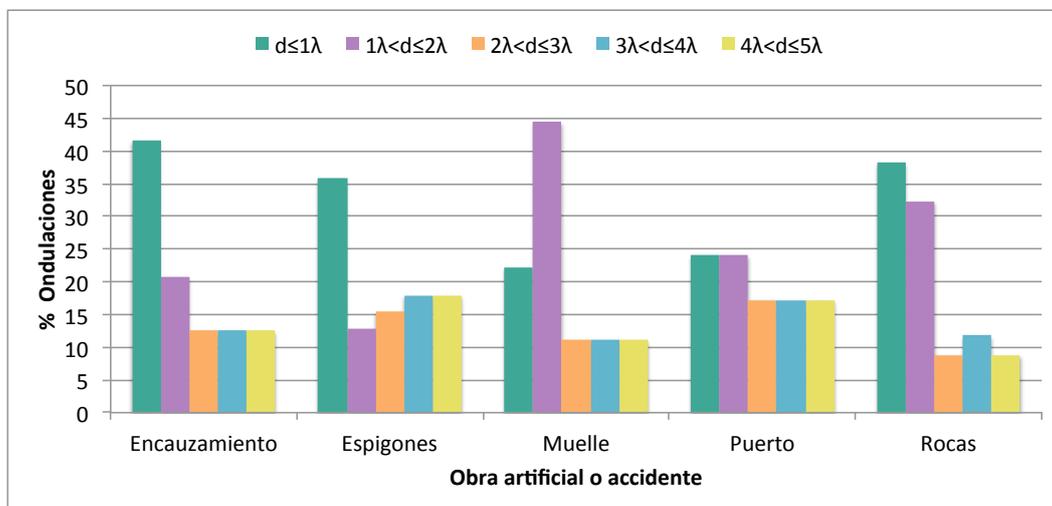


Figura 3.10: Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa según el tipo de obstáculo y la distancia d.

Se observa en la figura 3.10 que en la mayoría de los casos el obstáculo se encuentra a una distancia menor a 1λ . De las 24 ondulaciones que presenta un encauzamiento en sus proximidades, más del 40 % lo presentan a menos de 1λ de distancia. En el caso de las ondulaciones que presentan algún muelle en sus proximidades, más del 40 % lo presentan a una distancia de $1\lambda - 2\lambda$.

De las ondulaciones que presentan un puerto en sus proximidades la distancia de estas al obstáculo es más amplia que en el resto de casos. Se presenta un puerto a una distancia de $d \leq 1\lambda$ en un 24 % de los casos, lo mismo con la distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$. Para las distancias $2\lambda < d \leq 3\lambda$, $3\lambda < d \leq 4\lambda$ y $4\lambda < d \leq 5\lambda$ se trata de un 17 % de las ondulaciones en cada caso.

Se estudia la relación entre la longitud de onda y la presencia de obstáculos. Se presentan las ondulaciones agrupadas en intervalos de λ de 500 metros.

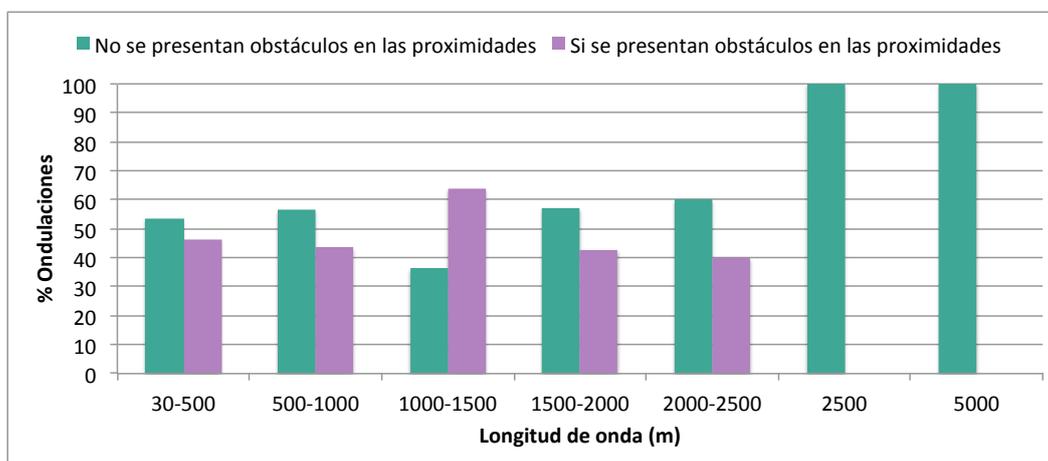


Figura 3.11: Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa según la longitud de onda y la presencia de obstáculos.

En el caso de las ondulaciones de la línea de costa con λ 30–500 metros, el 46 % presentan algún tipo de obstáculo. Para las ondulaciones con λ 500–1000 y 1500–2000 metros pasa a ser el 43 %. En las ondulaciones con λ 2000–2500 el porcentaje pasa a ser del 40 %. En el caso de las ondulaciones con λ 1000–1500 predominan aquellas en las que se presenta algún obstáculo en sus proximidades alcanzando el 64 %.

Se observa en la figura 3.12 que las ondulaciones de la línea de costa con λ 30–500 metros presentan los obstáculos repartidos a lo largo de los distintos intervalos de distancia aunque predominan las distancias $d \leq 1\lambda$ y $1\lambda < d \leq 2\lambda$. En el caso de las ondulaciones con λ 500–1000, el 40 % de las ondulaciones que presentan un obstáculo en sus proximidades lo presentan a una distancia inferior a 1λ .

Más del 70 % de las ondulaciones con λ 1000–1500 m que presentan algún tipo de obstáculo, lo presentan a una distancia $d \leq 1\lambda$. En el caso de las ondulaciones con λ 2000–2500, el 100 % de las que presentan algún obstáculo en sus proximidades, lo presentan a una distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$. Se observa en la figura 3.11 que las ondulaciones con los valores más altos de longitud de onda (2500 y 5000 m) no presentan ningún obstáculo en las proximidades en la línea de costa.

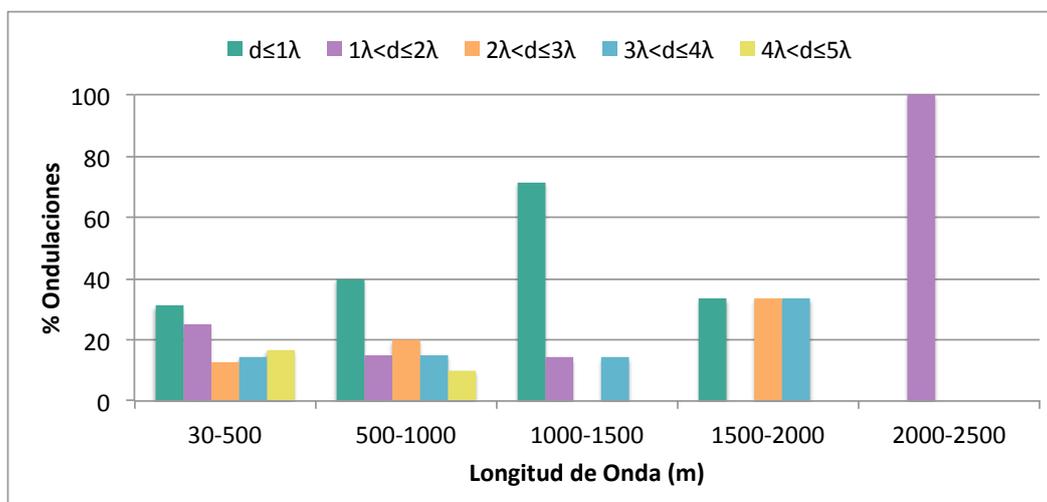


Figura 3.12: Porcentaje de ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades clasificadas según longitud de onda y distancia a obstáculo.

3.7. Análisis según topografía y batimetría

Como se ha mencionado anteriormente las ondulaciones de la línea de costa con longitudes de onda 30–500 metros representan el 75 % de la totalidad de las ondulaciones identificadas y se encuentran repartidas a lo largo de toda la zona de estudio aunque se observa en la figura 3.13 que predominan en la zona de los estrechos Skagerrak, Kattegat y Mar Báltico; así como la costa andaluza del Mediterráneo y Golfo de Cadiz y en el resto del Mediterráneo. En el Mediterraneo se presenta el 42 % de las ondulaciones con λ 30–500.

En la figura 3.13 se observa que la zona de los estrechos Skagerrak, Kattegat y Mar Báltico es una zona muy llana y las playas son de muy poca pendiente. En esta zona se presentan en su totalidad ondulaciones de longitud de onda 30–500 metros representando un 30 % de la totalidad de las ondas identificadas en este intervalo de longitud de onda.

De las diferentes zonas de estudio, la costa andaluza del Mar Mediterráneo es la que presenta playas con mayores pendientes y relieve menos llano ya que se observan muchos acantilados. En esta zona se presentan 25 ondulaciones donde el 80 % son ondulaciones con longitud de onda 30–500 metros.

Las ondulaciones con longitud de onda 500–1000 metros se encuentran repartidas en su mayoría en la costa del Atlántico y Mar del Norte. La costa portuguesa del Océano Atlántico presenta mayores pendientes que el caso del Golfo de Vizcaya, Canal de la Mancha o Mar del Norte. Las ondulaciones con mayor longitud de onda se presentan en su mayoría en la costa del Mar del Norte la cual presenta una pendiente muy baja y topografía muy llana.

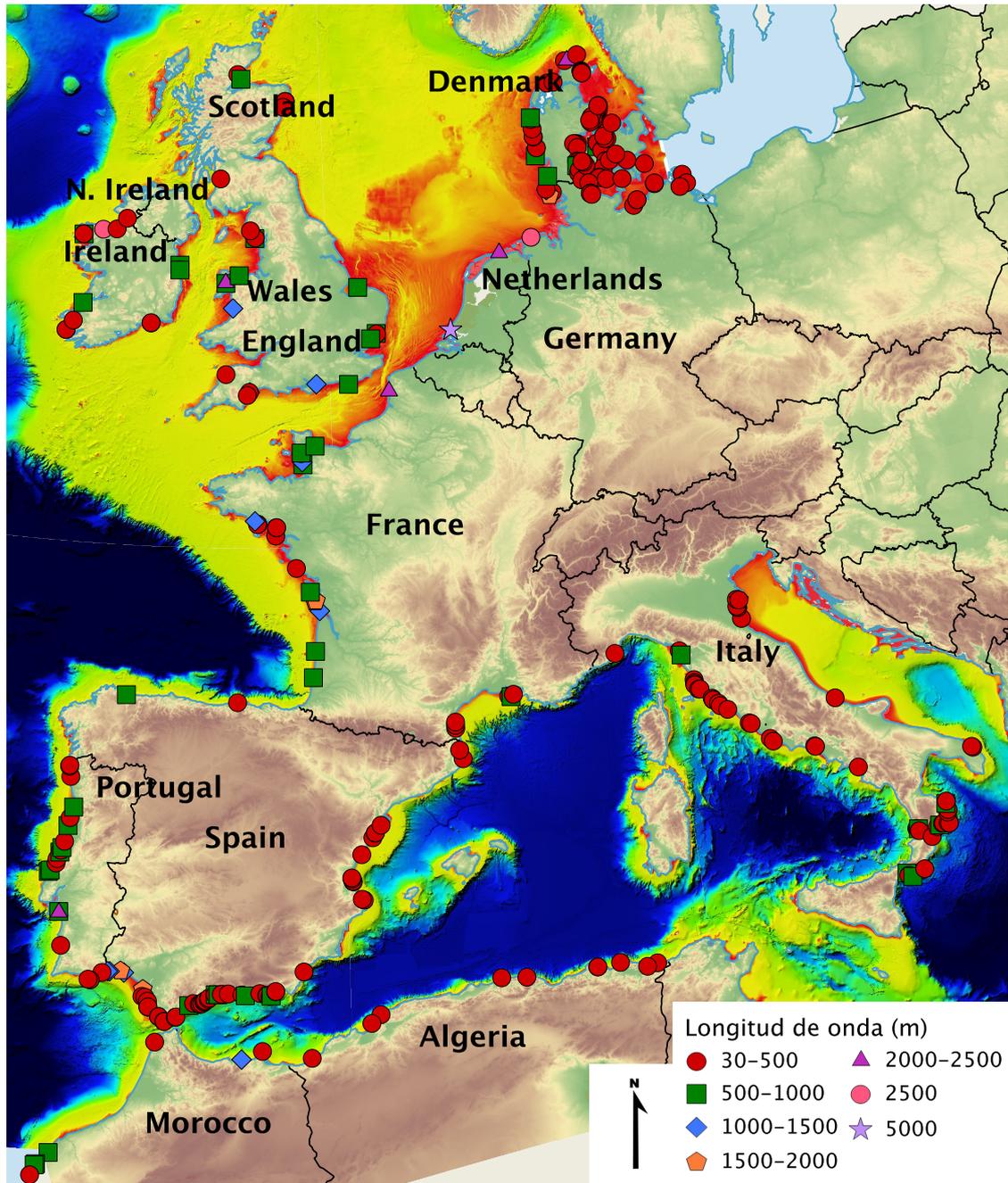


Figura 3.13: Batimetría y relieve de la zona de estudio. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según intervalos de λ .

Capítulo 4

Identificación de tipologías. Clasificación de ondulaciones en la línea de costa

4.1. Identificación de tipologías

Identificando las variables enumeradas en la figura 2.2 en cada una de las 294 ondulaciones de la línea de costa y atendiendo a los criterios de simetría y asimetría, se establecieron 14 distintas tipologías. Las tipologías 1–10 corresponden ondulaciones de la línea de costa compuestas por varias sucesiones y las tipologías 11–14 corresponden a ondulaciones unitarias.

Tipología	Simetría λ ¹	Simetría H ²	Simetría ondulación unitaria
1	Igual λ	Igual H	$\lambda_c = \lambda_s / A_c = A_s$
2	Distinta λ	Distinta H	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c \neq A_s$
3	Igual λ	Igual H	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c \neq A_s$
4	Distintal λ	Distinta H	$\lambda_c = \lambda_s / A_c = A_s$
5	Distintal λ	Distinta H	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c = A_s$
6	Igual λ	Igual H	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c = A_s$
7	Distinta λ	Distinta H	$\lambda_c = \lambda_s / A_c \neq A_s$
8	Distinta λ	Igual H	$\lambda_c = \lambda_s / A_c = A_s$
9	Distinta λ	Igual H	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c \neq A_s$
10	Distinta λ	Igual H	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c = A_s$
11	-	-	$\lambda_c = \lambda_s / A_c = A_s$
12	-	-	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c \neq A_s$
13	-	-	$\lambda_c = \lambda_s / A_c \neq A_s$
14	-	-	$\lambda_c \neq \lambda_s / A_c = A_s$

Tabla 4.1: Definición de las tipologías de ondulaciones de la línea de costa.

¹Igual λ : $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$. Distinta λ : $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n$.

²Igual H : $H_1 = H_2 = \dots = H_n$. Distinta H : $H_1 \neq H_2 \neq \dots \neq H_n$.

4.2. Clasificación de las ondulaciones de la línea de costa en tipologías

A continuación clasificamos las 294 ondulaciones de la línea de costa según las distintas tipologías establecidas. Para cada tipología se presenta una tabla con las ondulaciones de la línea de costa identificadas y ejemplos de estas.

4.2.1. Tipo #1

- Igual λ ($\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n$)
- Igual H ($H_1 = H_2 = \dots = H_n$)
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c = \lambda_s/A_c = A_s$

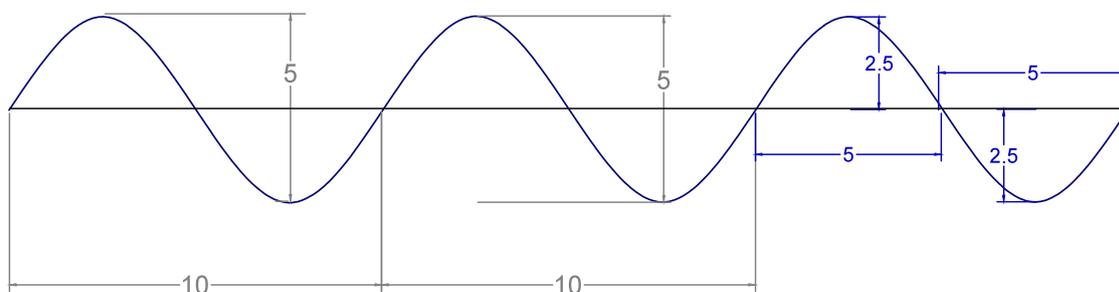


Figura 4.1: Esquema de ondulación Tipo #1.

Se encontraron 18 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
24	Viana do Castelo	Portugal	2	170-190	10-15	Desembocadura
26	Caminha	Portugal	2	140	10	Desembocadura
109	Barbate2	España	2	200	5-10	Tramo Recto
117	Cabo Pino	España	3	90	6	Tramo Curvo
125	Cala del Moral2	España	2	100-120	5-10	Tramo Curvo
140	Deveses	España	2	185-200	10	Tramo Recto
146	Sierra de Irta	España	2	100	10	Tramo Curvo
158	Albenga	Italia	2	30-40	3-4	Desembocadura
171	Albinia	Italia	3	30-45	4-6	Desembocadura
176	Enea	Italia	2	270	10-15	Tramo Recto
194	Rizzuto	Italia	3	160-170	7-15	Tramo Curvo
203	Bellocchio	Italia	2	40-50	4-7	Desembocadura
211	El Mersa	Argelia	2	100-120	4-6	Tramo Curvo
213	El Keria2	Argelia	7	80-100	4-7	Tramo Recto
241	Oerne2	Dinamarca	3	80-100	3-5	Tramo Curvo
251	Aarosund	Dinamarca	2	65-75	4-5	Tramo Curvo
266	Troense	Dinamarca	2	65	3-5	Tramo Curvo
277	Ostrup2	Dinamarca	2	135-150	5-7	Tramo Curvo

Tabla 4.2: Ondulaciones Tipo #1.



Figura 4.2: Ejemplo de ondulación Tipo #1: 146.Sierra de Irta. Fuente: Google Earth.

4.2.2. Tipo #2

- Distinta $\lambda(\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n)$
- Distinta $H(H_1 \neq H_2 \neq \dots \neq H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s/A_c \neq A_s$

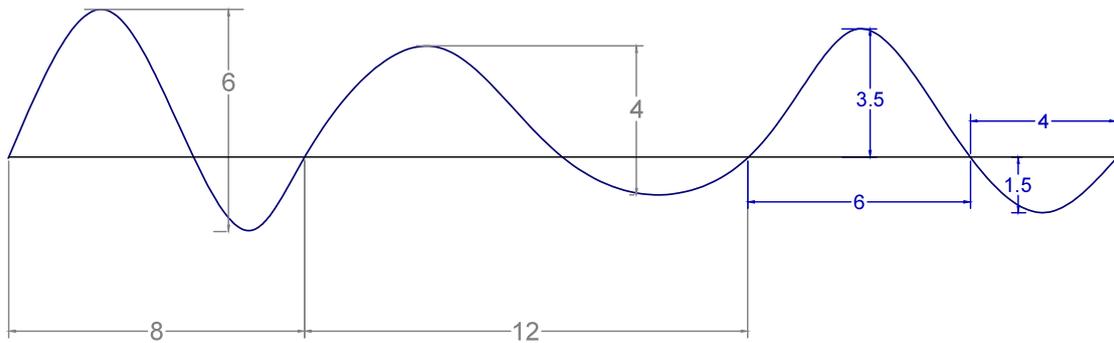


Figura 4.3: Esquema de ondulación Tipo #2.

Se encontraron 36 ondulaciones de esta tipología.



Figura 4.4: Ejemplo de ondulación Tipo #2: 44.Créances. Fuente: Google Earth.

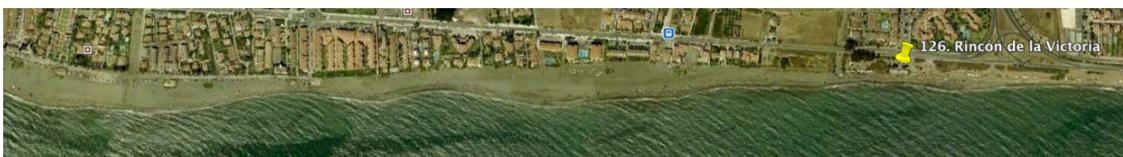


Figura 4.5: Ejemplo de ondulación Tipo #2: 126.Rincón de la Victoria. Fuente: Google Earth.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
3	El Rompido	España	2	1500-2400	80-140	Desembocadura
7	Faro	Portugal	4	220-550	15-30	Tramo Curvo
8	Faro2	Portugal	3	200-280	10-25	Tramo Recto
11	Alcácer2	Portugal	3	2000-2700	70-120	Tramo Curvo
19	Coimbrao	Portugal	7	500-1000	15-50	Tramo Recto
21	Mira	Portugal	2	900-1150	50-70	Tramo Recto
22	Jacinto	Portugal	9	330-450	15-50	Tramo Recto
23	Arada	Portugal	7	300-700	15-50	Tramo Recto
29	Lit	Francia	5	450-850	30-60	Tramo Recto
33	Tremblade2	Francia	2	1300-1900	100-200	Desembocadura
35	Olonne	Francia	3	170-280	5-20	Tramo Recto
44	Créances	Francia	5	180-250	10-30	Tramo Recto
45	Créances2	Francia	2	400-750	10-40	Desembocadura
54	Deganwy	Gales	2	600-1000	50-100	Desembocadura
56	Dalton2	Inglaterra	4	250-550	15-40	Tramo Curvo
57	Ravenglass	Inglaterra	2	300-600	15-50	Desembocadura
59	Embo	Escocia	2	300-500	10-30	Desembocadura
68	Point Clear	Inglaterra	3	350-800	20-40	Desembocadura
77	Ballybunnion	Irlanda	3	520-600	20-40	Tramo Curvo
83	Portrane	Irlanda	2	400-600	30-100	Desembocadura
85	Baldoyle2	Irlanda	3	300-750	20-50	Tramo Curvo
86	Tramore	Irlanda	2	250-600	20-50	Desembocadura
100	Bovlingbjerg	Dinamarca	3	700-1000	20-40	Tramo Recto
118	Cala de Mijas	España	3	150-300	12-30	Tramo Curvo
126	Rincón de la Victoria	España	>10	450-1000	15-30	Tramo Curvo
127	Rincón de la Victoria2	España	>15	60-400	4-20	Tramo Curvo
130	Carchuna	España	4	400-750	20-60	Tramo Curvo
157	Saint Louis3	Francia	5	170-280	6-18	Tramo Curvo
188	Soverato	Italia	2	270-320	10-20	Tramo Curvo
191	Cutro	Italia	9	200-520	10-20	Tramo Recto
192	Cutro2	Italia	>15	40-200	4-15	Tramo Recto
220	Temsamane	Marruecos	2	1000-1100	35-50	Tramo Curvo
221	Asilah	Marruecos	5	175-400	15-35	Tramo Recto
222	Ouled Salem	Marruecos	4	500-800	15-40	Tramo Recto
226	Diabat	Marruecos	5	1350-1800	40-100	Tramo Recto
237	Balle	Dinamarca	3	150-300	8-15	Tramo Recto

Tabla 4.3: Ondulaciones Tipo #2.

4.2.3. Tipo #3

- Igual $\lambda(\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n)$
- Igual $H(H_1 = H_2 = \dots = H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s/A_c \neq A_s$

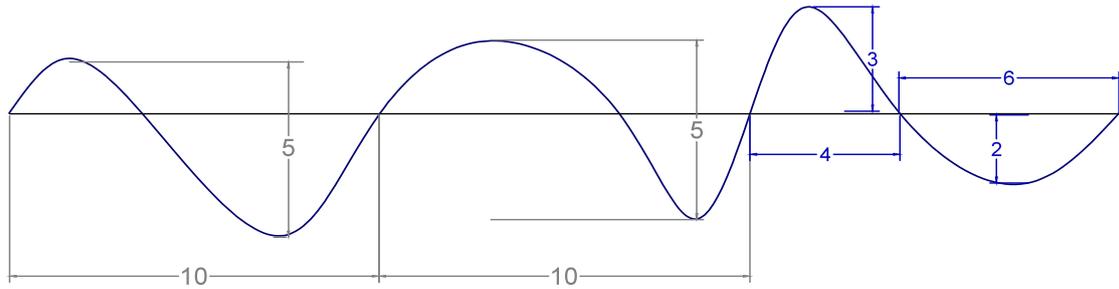


Figura 4.6: Esquema de ondulación Tipo #3.

Se encontraron 7 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
12	Playa del Rey	Portugal	2	750	15-35	Tramo Recto
16	Paredes	Portugal	2	420	10-20	Tramo Curvo
48	Oudorp	Holanda	2	5000	200-300	Tramo Curvo
93	List	Alemania	4	930-945	25-50	Tramo Curvo
97	Hvide2	Dinamarca	3	300	15-20	Tramo Recto
124	Cala del Moral	España	2	650	30-50	Tramo Curvo
215	Dellys	Argelia	2	220	5-15	Tramo Recto

Tabla 4.4: Ondulaciones Tipo #3.



Figura 4.7: Ejemplo de ondulación Tipo #3: 93.List. Fuente: Google Earth.

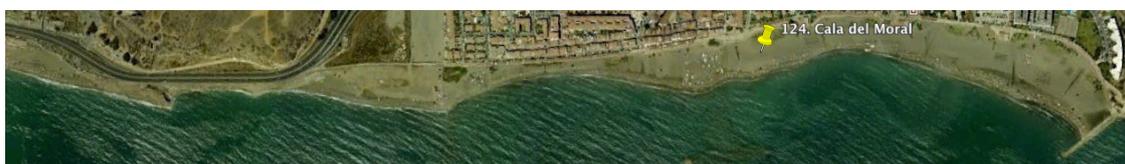


Figura 4.8: Ejemplo de ondulación Tipo #3: 124.Cala del Moral. Fuente: Google Earth.

4.2.4. Tipo #4

- Distinta $\lambda (\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n)$
- Distinta $H (H_1 \neq H_2 \neq \dots \neq H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c = \lambda_s / A_c = A_s$

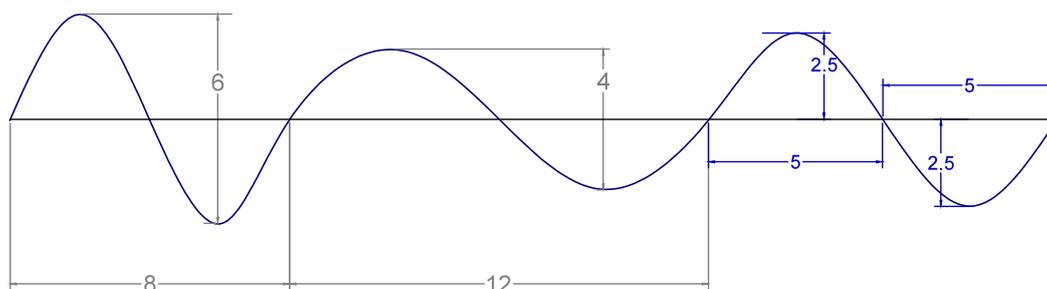


Figura 4.9: Esquema de ondulación Tipo #4.

Se encontraron 29 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
13	Óbidos	Portugal	2	280-500	20-40	Desembocadura
18	Pedrogao	Portugal	3	300-550	20-35	Tramo Recto
92	Hörnnum2	Alemania	>15	150-350	5-20	Tramo Recto
94	Blavand	Dinamarca	2	500-600	30-40	Tramo Curvo
105	Río San Pedro	España	2	100-200	5-10	Desembocadura
112	Palmones	España	2	50-100	5-10	Desembocadura
123	Alamos	España	6	80-120	5-10	Tramo Recto
128	Torrox	España	7	80-150	5-15	Tramo Recto
137	Los Bajos2	España	5	100-250	7-16	Tramo Recto
143	Gavines	España	5	75-180	8-15	Tramo Recto
161	Torinella	Italia	>10	110-300	5-15	Tramo Recto
164	Campalto	Italia	8	130-320	8-15	Tramo Recto
169	Ombrone2	Italia	2	50-130	5-10	Desembocadura
170	Talamone	Italia	4	220-260	8-11	Tramo Curvo
178	Domizia	Italia	10	100-180	5-10	Tramo Recto
179	Spineta	Italia	>15	90-250	5-10	Tramo Recto
186	San Leonardo	Italia	2	450-650	15-30	Tramo Curvo
195	Gabella	Italia	>15	90-300	5-15	Tramo Recto
205	Spina	Italia	6	70-170	5-10	Tramo Recto
208	Volano3	Italia	>10	70-170	4-10	Tramo Recto
209	Mellah	Argelia	4	230-300	10-20	Tramo Recto
210	El Tarf	Argelia	6	175-400	4-15	Tramo Recto
216	Lakhdar	Argelia	2	300-380	10-20	Tramo Recto
217	Mosta	Argelia	8	110-260	5-10	Tramo Recto
256	Ny Pol	Dinamarca	3	120-170	4-10	Tramo Curvo
263	Stensmark	Dinamarca	4	120-260	7-20	Tramo Curvo
275	Tranderup	Dinamarca	2	80-120	5-11	Tramo Recto
280	Hjelm	Dinamarca	3	70-160	3-10	Tramo Recto
284	Aassee	Alemania	3	65-185	3-10	Tramo Curvo

Tabla 4.5: Ondulaciones Tipo #4.



Figura 4.10: Ejemplo de ondulación Tipo #4: 92.Hörnum2. Fuente: Google Earth.



Figura 4.11: Ejemplo de ondulación Tipo #4: 209.Mellah. Fuente: Google Earth.

4.2.5. Tipo #5

- Distinta $\lambda (\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n)$
- Distinta $H (H_1 \neq H_2 \neq \dots \neq H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s / A_c = A_s$

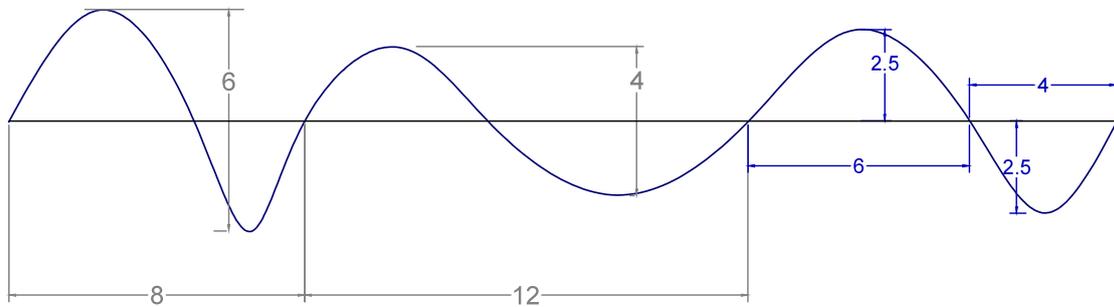


Figura 4.12: Esquema de ondulación Tipo #5.

Se encontraron 49 ondulaciones de esta tipología.



Figura 4.13: Ejemplo de ondulación Tipo #5: 120.Los Boliches. Fuente: Google Earth.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A(m)	Tipo Tramo
4	Isla del Moral	España	2	1000–1800	40–50	Tramo Recto
5	Ayamonte	España	2	1000–1300	80–100	Desembocadura
14	Óbidos2	Portugal	2	400–600	15–30	Desembocadura
17	Marinha	Portugal	5	250–800	15–50	Tramo Recto
20	Lavos	Portugal	5	250–500	15–40	Tramo Recto
25	Moledo	Portugal	2	400–500	25–35	Tramo Curvo
30	Arcachon	Francia	3	680–715	20–40	Tramo Recto
31	Verdon-Sur-Mer	Francia	2	1000–1500	35–130	Desembocadura
50	Abbotsham	Inglaterra	3	200–400	5–10	Tramo Curvo
62	Newburgh2	Escocia	2	300–350	25–30	Desembocadura
63	Newburgh3	Escocia	5	30–55	2–6	Desembocadura
76	Glen	Irlanda	3	250–580	20–30	Tramo Curvo
98	Tim	Dinamarca	8	150–250	7–15	Tramo Recto
101	Bulbjerg	Dinamarca	4	290–360	15–25	Tramo Curvo
110	Bolonia	España	2	200–500	10–30	Tramo Curvo
116	Artola	España	4	180–320	10–20	Tramo Curvo
120	Los Boliches	España	>15	60–200	3–10	Tramo Curvo
121	Carvajal	España	8	60–170	4–15	Tramo Curvo
122	Torremolinos	España	10	100–250	5–10	Tramo Recto
131	Adra	España	6	100–300	5–15	Tramo Curvo
134	San Agustín	España	8	170–350	5–15	Tramo Curvo
135	San Agustín2	España	3	750–1000	40–60	Tramo Curvo
136	Los Bajos	España	4	370–450	10–20	Tramo Recto
141	Perellonet	España	10	120–175	5–15	Tramo Recto
145	Mijares	España	3	85–200	5–12	Tramo Recto
149	Delta Ebro	España	2	250–350	15–25	Tramo Curvo
155	Saint Louis	Francia	3	420–560	10–25	Tramo Recto
162	San Vincenzo	Italia	9	170–350	10–25	Tramo Recto
163	Etruschi	Italia	7	160–350	10–15	Tramo Recto
166	Carbonifera	Italia	2	175–275	5–15	Tramo Recto
181	Mortilla	Italia	6	200–350	5–20	Tramo Curvo
199	Idrovore	Italia	6	60–150	5–15	Tramo Curvo
202	Ravenna	Italia	3	100–250	5–10	Tramo Recto
207	Volano2	Italia	2	1800–2100	40–70	Tramo Recto
244	Orby	Dinamarca	6	200–350	5–20	Tramo Recto
255	Augustenhof	Dinamarca	3	100–200	7–13	Tramo Curvo
260	Nordskov	Dinamarca	3	170–250	6–13	Desembocadura
264	Greena	Dinamarca	2	200–550	10–20	Tramo Recto
269	Toro	Dinamarca	3	160–190	7–15	Tramo Recto
273	Hov	Dinamarca	2	115–190	5–10	Tramo Curvo
274	Svino	Dinamarca	2	80–155	3–8	Tramo Curvo
279	Odde	Dinamarca	4	90–200	5–15	Tramo Recto
281	Gerringe	Dinamarca	3	130–165	5–13	Tramo Recto
285	Aassee2	Alemania	3	190–335	8–30	Tramo Curvo
287	Rerik	Alemania	3	100–400	3–10	Tramo Curvo
290	Prerow	Alemania	3	215–175	5–13	Tramo Recto
291	Prerow2	Alemania	8	140–330	4–12	Tramo Recto
293	Thiessow	Alemania	3	90–155	4–12	Tramo Curvo
294	Zudar	Alemania	3	240–320	5–15	Tramo Curvo

Tabla 4.6: Ondulaciones Tipo #5.

4.2.6. Tipo #6

- Igual $\lambda (\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n)$
- Igual $H (H_1 = H_2 = \dots = H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s / A_c = A_s$

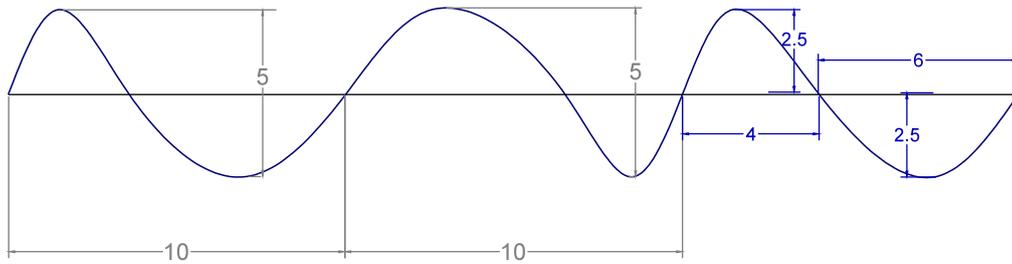


Figura 4.14: Esquema de ondulación Tipo #6.

Se encontraron 9 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
1	Desembocadura del Guadalquivir	España	2	1800	150	Desembocadura
38	Pénestin2	Francia	2	260	5-15	Desembocadura
129	Motril	España	5	100-115	5-10	Tramo Curvo
148	Benicarló2	España	2	320	15	Tramo Curvo
168	Ombrone	Italia	4	75-90	5-11	Desembocadura
173	Santa Severa	Italia	3	135	5-7	Tramo Recto
252	Medsted	Dinamarca	2	175-195	6-9	Tramo Recto
262	Sibirien	Dinamarca	2	130	5-8	Tramo Curvo
292	Sagard	Alemania	2	330-345	12-16	Tramo Curvo

Tabla 4.7: Ondulaciones Tipo #6

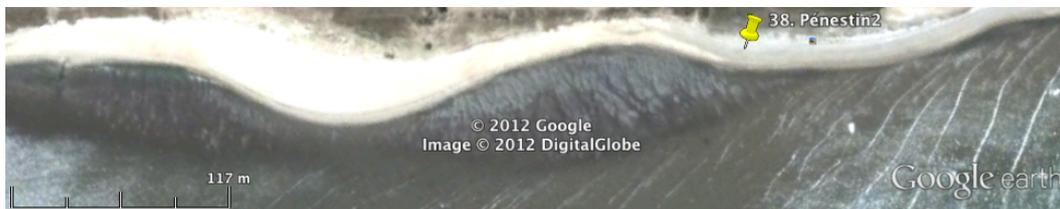


Figura 4.15: Ejemplo de ondulación Tipo #6: 38.Pénestin2. Fuente: Google Earth.



Figura 4.16: Ejemplo de ondulación Tipo #6: 148.Benicarló2. Fuente: Google Earth.

4.2.7. Tipo #7

- Distinta $\lambda (\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n)$
- Distinta $H (H_1 \neq H_2 \neq \dots \neq H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c = \lambda_s / A_c \neq A_s$

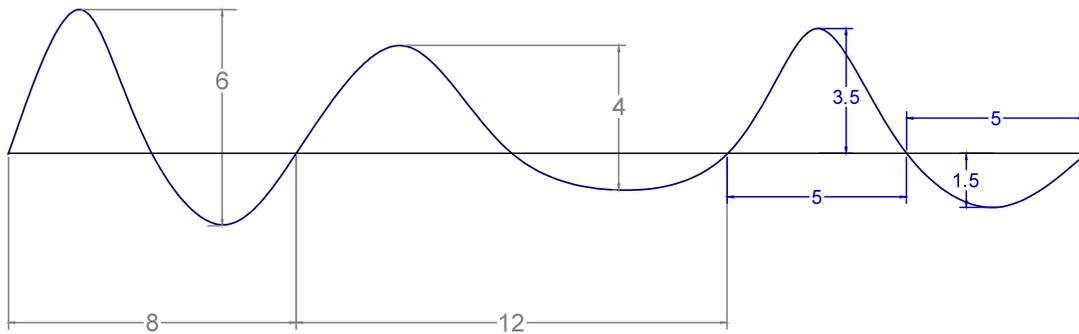


Figura 4.17: Esquema de ondulación Tipo #7.

Se encontraron 5 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
72	Exmouth2	Inglaterra	2	250-300	10-30	Desembocadura
133	Guardias Viejas2	España	2	350-420	10-30	Tramo Curvo
154	Port Leucate	Francia	6	200-350	10-20	Tramo Recto
184	Pellaro	Italia	6	400-700	12-30	Tramo Curvo
228	Hirtshals2	Dinamarca	2	2350-2500	75-150	Tramo Curvo

Tabla 4.8: Ondulaciones Tipo #7.



Figura 4.18: Ejemplo de ondulación Tipo #7: 72.Exmouth2. Fuente: Google Earth.



Figura 4.19: Ejemplo de ondulación Tipo #7: 133.Guardias Viejas2. Fuente: Google Earth.

4.2.8. Tipo #8

- Distinta $\lambda (\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n)$
- Igual $H (H_1 = H_2 = \dots = H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c = \lambda_s / A_c = A_s$

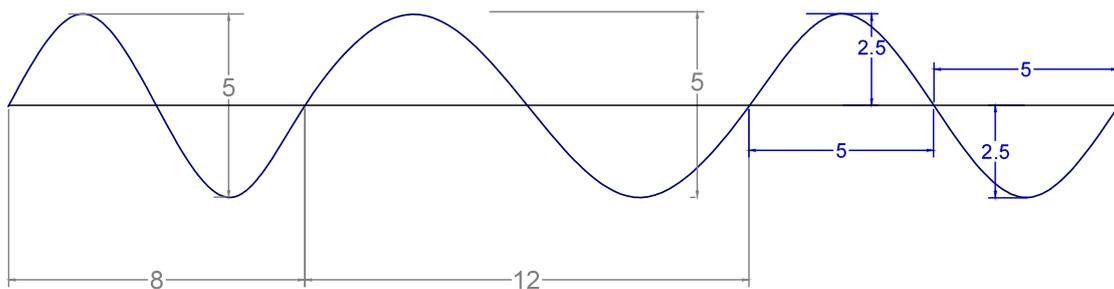


Figura 4.20: Esquema de ondulación Tipo #8.

Se encontraron 18 ondulaciones de esta tipología.



Figura 4.21: Ejemplo de ondulación Tipo #8: 95.Henne. Fuente: Google Earth.



Figura 4.22: Ejemplo de ondulación Tipo #8: 167.Principina. Fuente: Google Earth.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
9	Odemira	Portugal	2	125–180	10–12	Desembocadura
32	Tremblade	Francia	2	1400–1800	50–60	Tramo Recto
74	Waterville	Irlanda	2	120–180	10	Desembocadura
95	Henne	Dinamarca	6	120–200	9–12	Tramo Recto
99	Nees	Dinamarca	2	350–450	20	Tramo Recto
119	Fuengirola	España	2	120–150	5–10	Tramo Recto
138	Villaricos	España	2	100–130	10–15	Tramo Curvo
142	Perellonet2	España	5	60–130	6–10	Tramo Curvo
150	Pals	España	4	200–300	10–15	Tramo Curvo
159	Tombolo	Italia	10	150–220	5–15	Tramo Recto
165	Sdriscia	Italia	2	150–300	10	Tramo Recto
167	Principina	Italia	10	85–150	5–10	Tramo Recto
175	San Lorenzo	Italia	2	140–230	5–10	Tramo Recto
180	Maiolino	Italia	2	200–250	10–15	Tramo Curvo
219	Tibouda	Marruecos	3	90–150	3–8	Tramo Recto
243	Bogens	Dinamarca	2	85–120	4–5	Tramo Recto
271	Kalvehave2	Dinamarca	4	100–200	5–9	Tramo Curvo
276	Ostrup	Dinamarca	3	90–120	3–11	Tramo Curvo

Tabla 4.9: Ondulaciones Tipo #8.

4.2.9. Tipo #9

- Distinta λ ($\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n$)
- Igual H ($H_1 = H_2 = \dots = H_n$)
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s/A_c \neq A_s$

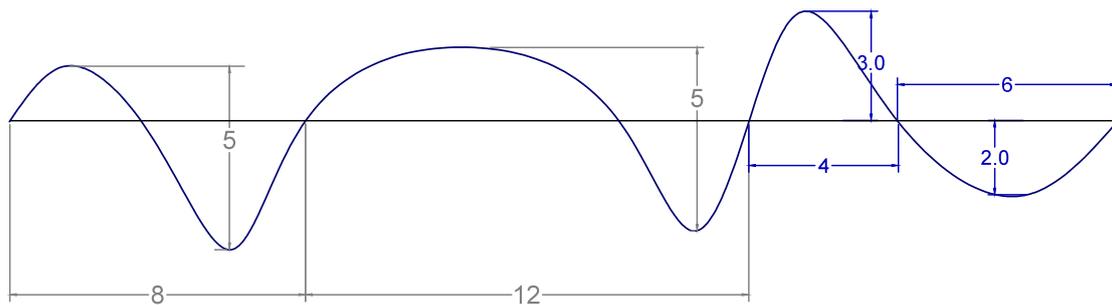


Figura 4.23: Esquema de ondulación Tipo #9.

Se encontraron 4 ondulaciones de esta tipología.



Figura 4.24: Ejemplo de ondulación Tipo #9: 212.El Keria. Fuente: Google Earth.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
34	Ile d'Oléron	Francia	3	450-630	15-30	Tramo Curvo
144	El Saler	España	5	130-200	7-15	Tramo Recto
212	El Keria	Argelia	4	240-500	10-30	Tramo Recto
245	Stodov	Dinamarca	2	210-275	8-20	Tramo Curvo

Tabla 4.10: Ondulaciones Tipo #9.

4.2.10. Tipo #10

- Distinta $\lambda(\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \dots \neq \lambda_n)$
- Igual $H(H_1 = H_2 = \dots = H_n)$
- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s/A_c = A_s$

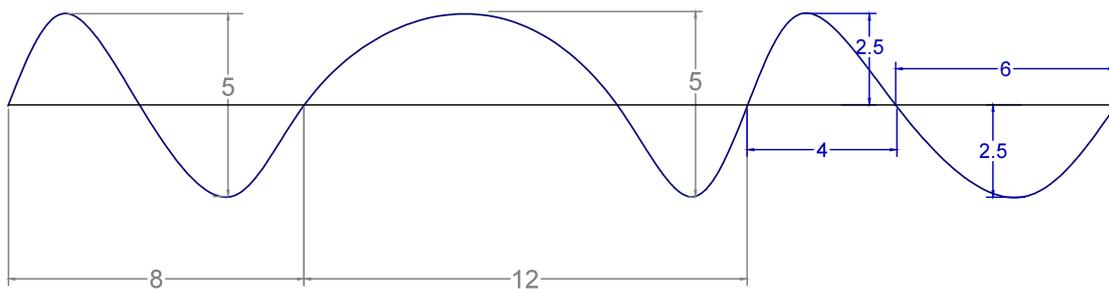


Figura 4.25: Esquema de ondulación Tipo #10.

Se encontraron 20 ondulaciones de esta tipología.



Figura 4.26: Ejemplo de ondulación Tipo #10: 172.Selva Nera. Fuente: Google Earth.



Figura 4.27: Ejemplo de ondulación Tipo #10: 214.Igujdal. Fuente: Google Earth.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
84	Baldoyle	Irlanda	2	300-400	10-20	Tramo Curvo
151	Fluvia	España	4	300-450	8-15	Tramo Curvo
152	Playa Brasilia	Francia	3	250-290	10	Tramo Recto
172	Selva Nera	Italia	4	90-125	7-15	Tramo Recto
189	Grandine	Italia	2	200-300	10-15	Tramo Recto
214	Igujdal	Argelia	3	95-120	5-9	Tramo Curvo
218	Malous	Argelia	2	120-150	5-10	Tramo Recto
223	Njajra	Marruecos	2	750-850	35	Tramo Recto
224	Baarane	Marruecos	5	750-1000	25-35	Tramo Recto
225	Safi	Marruecos	3	300-500	15-25	Tramo Recto
227	Hirtshals	Dinamarca	2	175-275	15-20	Tramo Recto
235	Fuglsang	Dinamarca	3	125-185	5-7	Tramo Recto
242	Ebeltoft2	Dinamarca	2	400-500	8-13	Tramo Curvo
250	Orby Hage	Dinamarca	2	60-125	4-5	Desembocadura
267	Helnaes By	Dinamarca	2	160-190	3-5	Tramo Recto
278	Bjornstrup	Dinamarca	2	45-70	3-4	Tramo Curvo
282	Kronsgaard	Alemania	3	50-95	3-5	Tramo Recto
286	Noer	Alemania	5	55-220	3-6	Tramo Curvo
288	Kägsdorf	Alemania	2	150-260	6-8	Tramo Curvo
289	Kägsdorf2	Alemania	2	185-385	10-15	Tramo Curvo

Tabla 4.11: Ondulaciones Tipo #10.

4.2.11. Tipo #11

- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c = \lambda_s/A_c = A_s$

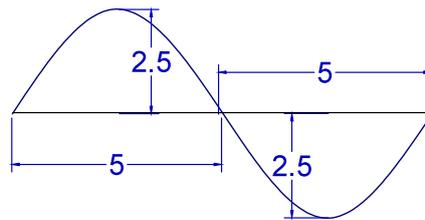


Figura 4.28: Esquema de ondulación Tipo #11.

Se encontraron 46 ondulaciones de esta tipología.



Figura 4.29: Ejemplo de ondulación Tipo #11: 174.Cerveteri. Fuente: Google Earth

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
2	Punta Umbría	España	1	1100	50	Desembocadura
15	Nazaré	Portugal	1	350	16	Tramo Curvo
36	Croisic	Francia	1	240	15	Desembocadura
39	Penthièvre	Francia	1	150	12	Desembocadura
47	Camiers	Francia	1	2300	200	Desembocadura
61	Newburgh	Escocia	1	210	15	Desembocadura
67	Harwich2	Inglaterra	1	250	10-14	Tramo Curvo
73	Teign	Inglaterra	1	250	20	Desembocadura
79	Tulla2	Irlanda	1	250	32	Desembocadura
81	Strandhill	Irlanda	1	380	55	Desembocadura
82	Balllure	Irlanda del Norte	1	160	10	Desembocadura
96	Hvide	Dinamarca	1	250	20	Tramo Recto
103	Punta Candor	España	1	190	17	Tramo Curvo
106	Barrosa	España	1	220	6-8	Desembocadura
107	Barrosa2	España	1	180	10	Desembocadura
108	Barbate	España	1	150	8	Tramo Recto
111	Bolonia2	España	1	140	8	Tramo Curvo
114	Villacana	España	1	600	25	Tramo Curvo
132	Guardias Viejas	España	1	160	15	Tramo Curvo
139	Almadrava	España	1	130	3-6	Tramo Curvo
147	Benicarló	España	1	175	10	Tramo Recto
153	Bacares	Francia	1	180	15	Desembocadura
156	Saint Louis2	Francia	1	615	30-32	Desembocadura
174	Cerveteri	Italia	1	180	7-9	Tramo Recto
183	Trigna	Italia	1	180	10	Desembocadura
187	Canalello	Italia	1	300	18-20	Tramo Curvo
196	Fasana	Italia	1	250	15-18	Tramo Curvo
197	Posto	Italia	1	580	30	Tramo Curvo
198	Oliveto	Italia	1	140	10	Tramo Recto
200	Frigole	Italia	1	180	15	Tramo Recto
201	Termini	Italia	1	200	10	Tramo Recto
204	Bellocchio2	Italia	1	70	5	Desembocadura
229	Hulsig	Dinamarca	1	60	5	Tramo Recto
233	Lyngsa3	Dinamarca	1	160	5	Tramo Recto
234	Lyngsa4	Dinamarca	1	150	6-8	Tramo Recto
236	Alsrode	Dinamarca	1	170	7-10	Tramo Curvo
239	Ebeltoft	Dinamarca	1	120	6-7	Tramo Recto
240	Oerne	Dinamarca	1	117	3-4	Tramo Recto
247	Grund	Dinamarca	1	115	4-7	Tramo Curvo
248	Kellers	Dinamarca	1	55	5	Desembocadura
254	Blans	Dinamarca	1	90	7-10	Desembocadura
258	Skelde	Dinamarca	1	100	5-6	Tramo Curvo
268	Saltofte	Dinamarca	1	100	3-4	Tramo Recto
270	Kalvehave	Dinamarca	1	190	12	Tramo Curvo
272	Bagenkop	Dinamarca	1	150	5-6	Tramo Curvo
283	Langholz	Alemania	1	165	10-12	Tramo Curvo

Tabla 4.12: Ondulaciones Tipo #11

4.2.12. Tipo #12

- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s/A_c \neq A_s$

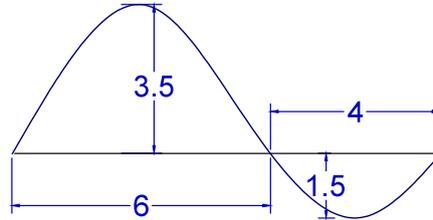


Figura 4.30: Esquema de ondulación Tipo #12.

Se encontraron 19 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
6	Calcela Velha	Portugal	1	300	30–50	Desembocadura
10	Alcácer	Portugal	1	600	45–100	Desembocadura
41	Étel	Francia	1	1100	45–65	Desembocadura
43	Regnéville	Francia	1	1000	50–130	Desembocadura
51	Aberdovey	Gales	1	1200	40–50	Desembocadura
52	Caernarfon	Gales	1	950	15–30	Desembocadura
53	Caernarfon2	Gales	1	2400	87–130	Desembocadura
58	Monkton	Escocia	1	150	5–15	Desembocadura
65	Burnham	Inglaterra	1	850	65–75	Desembocadura
78	Tulla	Irlanda	1	630	25–40	Desembocadura
87	Tramore2	Irlanda	1	360	10–20	Desembocadura
89	Nieblum	Alemania	1	350	5–15	Tramo Curvo
90	Nebel	Alemania	1	1750	100–150	Tramo Curvo
91	Hörnnum	Alemania	1	1250	50–100	Tramo Curvo
104	Rota	España	1	300	10–20	Tramo Curvo
113	Guadarranque	España	1	100	15–25	Desembocadura
115	Marbella	España	1	310	10–20	Tramo Curvo
160	Vecchiano	Italia	1	620	25–32	Desembocadura
182	Mortilla2	Italia	1	850	60–80	Tramo Curvo

Tabla 4.13: Ondulaciones Tipo #12

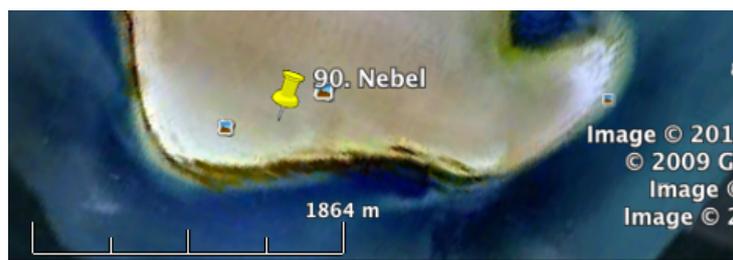


Figura 4.31: Ejemplo de ondulación Tipo #12: 90.Nebel. Fuente: Google Earth.



Figura 4.32: Ejemplo de ondulación Tipo #12: 182.Mortilla2. Fuente: Google Earth.

4.2.13. Tipo #13

- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c = \lambda_s/A_c \neq A_s$

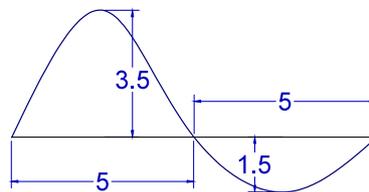


Figura 4.33: Esquema de ondulación Tipo #13.

Se encontraron 8 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A(m)	Tipo Tramo
40	Penthievre2	Francia	1	315	10-20	Desembocadura
46	Géfosse	Francia	1	535	15-25	Desembocadura
49	Schier	Holanda	1	2000	120-140	Tramo Curvo
55	Dalton	Inglaterra	1	900	50-80	Desembocadura
71	Exmouth	Inglaterra	1	1150	75-85	Desembocadura
75	Waterville2	Irlanda	1	450	30-50	Desembocadura
177	Minturno	Italia	1	100	20-30	Desembocadura
253	Brunbjerg	Dinamarca	1	550	15-35	Tramo Curvo

Tabla 4.14: Ondulaciones Tipo #13.



Figura 4.34: Ejemplo de ondulación Tipo #13: 40.Penthievre2. Fuente: Google Earth.

4.2.14. Tipo #14

- Simetría en ondulación unitaria: $\lambda_c \neq \lambda_s/A_c = A_s$

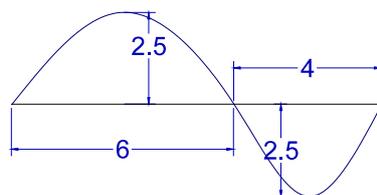


Figura 4.35: Esquema de ondulación Tipo #14.

Se encontraron 26 ondulaciones de esta tipología.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo
27	Foz	España	1	550	25	Desembocadura
28	Pedreña	España	1	475	10–15	Desembocadura
37	Pénestin	Francia	1	360	40	Desembocadura
42	Lingreville	Francia	1	740	75–85	Desembocadura
60	Tarrel	Escocia	1	750	60	Desembocadura
64	Aberdeen	Escocia	1	150	10	Desembocadura
66	Harwich	Inglaterra	1	560	12	Tramo Curvo
69	Seven Sisters	Inglaterra	1	530	19–22	Tramo Curvo
70	Mengham	Inglaterra	1	1250	65–70	Tramo Curvo
80	Inishcrone	Irlanda	1	2500	92–97	Tramo Curvo
88	Baltrum	Alemania	1	2500	100–105	Tramo Curvo
102	Hjortdal	Dinamarca	1	420	20	Tramo Curvo
185	Lazzaro	Italia	1	280	15	Tramo Curvo
190	Carrao	Italia	1	580	25–30	Tramo Recto
193	Anastasi	Italia	1	155	5–10	Tramo Curvo
206	Volano	Italia	1	350	20	Tramo Recto
230	Saeby	Dinamarca	1	170	6	Tramo Recto
231	Lyngsa	Dinamarca	1	250	7	Tramo Recto
232	Lyngsa2	Dinamarca	1	230	7–9	Tramo Recto
238	Holme	Dinamarca	1	110	5	Tramo Curvo
246	Ahuse	Dinamarca	1	95	5–8	Tramo Curvo
249	Hyby	Dinamarca	1	220	7–9	Tramo Recto
257	Kegnaeshoj	Dinamarca	1	70	6–8	Tramo Curvo
259	Otterup	Dinamarca	1	700	40	Desembocadura
261	Nordskov2	Dinamarca	1	275	15–20	Tramo Curvo
265	Hesselager	Dinamarca	1	165	6–8	Tramo Recto

Tabla 4.15: Ondulaciones Tipo #14.



Figura 4.36: Ejemplo de ondulación Tipo #14: 27.Foz. Fuente: Google Earth.

4.2.15. Casos Especiales: Sistemas Superpuestos

Existen ciertos tramos de costa en los que se han identificado varias ondulaciones en la misma ubicación. Estas ondulaciones se consideran independientes por la clara diferencia en las longitudes de onda y amplitud, pero al estar en la misma ubicación de la línea de costa, hemos denominado estos casos como “Sistemas Superpuestos”.

No.	Denominación	País	No. Suces.	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo Tramo	Tipo
62	Newburgh2	Escocia	2	300–350	25–30	Desembocadura	5
63	Newburgh3	Escocia	5	30–55	2–6	Desembocadura	5
124	Cala del Moral	España	2	650	30–50	Tramo Curvo	3
125	Cala del Moral2	España	2	100–120	5–10	Tramo Curvo	1
134	San Agustín	España	8	170–350	5–15	Tramo Curvo	5
135	San Agustín2	España	3	750–1000	40–60	Tramo Curvo	5
136	Los Bajos	España	4	370–450	10–20	Tramo Recto	5
137	Los Bajos2	España	5	100–250	7–16	Tramo Recto	4
191	Cutro	Italia	9	200–520	10–20	Tramo Recto	2
192	Cutro2	Italia	>15	40–200	4–15	Tramo Recto	2
207	Volano2	Italia	2	1800–2100	40–70	Tramo Recto	5
208	Volano3	Italia	>10	70–170	4–10	Tramo Recto	4
212	El Keria	Argelia	4	240–500	10–30	Tramo Recto	9
213	El Keria2	Argelia	7	80–100	4–7	Tramo Recto	1

Tabla 4.16: Sistemas superpuestos.



Figura 4.37: Ejemplo de sistema superpuesto: 124.Cala del Moral. Fuente: Google Earth.



Figura 4.38: Ejemplo de sistema superpuesto: 125.Cala del Moral2. Fuente: Google Earth



Figura 4.39: Ejemplo de sistema superpuesto: 212.El Keria. *Fuente: Google Earth.*



Figura 4.40: Ejemplo de sistema superpuesto: 213.El Keria2. *Fuente: Google Earth.*

Capítulo 5

Estudio de clima marítimo. Viento, oleaje y nivel del mar

5.1. Ejemplos característicos de las distintas tipologías. Rosas de viento y oleaje.

A continuación se muestran ejemplos característicos de cada tipología mostrando la ubicación de la ondulación y datos de oleaje y viento para cada uno de ellos.

5.1.1. Tipo #1: 146. Sierra de Irta

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Castellón, España. Se identificó en la base de datos del año 2012 de Google Earth. Consta de 2 sucesiones con una longitud de onda de 100 m y una amplitud de 10 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena muy gruesa, por lo que se eligió una pendiente de 11° .



Figura 5.1: Ubicación ondulación 146. Sierra de Irta.



Figura 5.2: Ondulación 146. Sierra de Irta. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación .

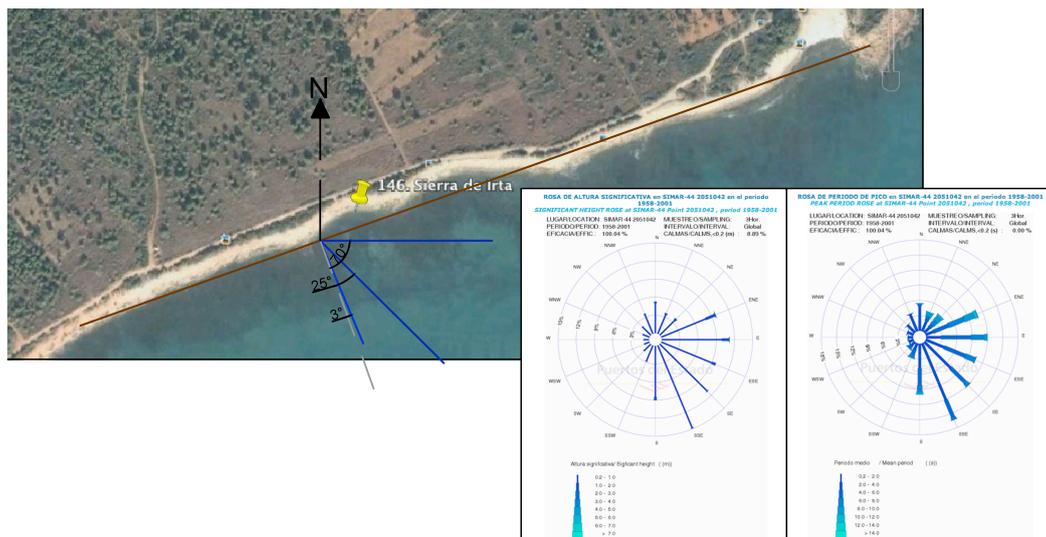


Figura 5.3: Datos de oleaje ondulación 146. Sierra de Irta. Fuente de rosas de oleaje: Puertos del Estado (2013).

Como observamos en la figura 5.3, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Este (E): esta dirección presenta un 12% de probabilidad de ocurrencia y forma 70° con la línea de costa. Del oleaje incidente de esta dirección, el 87% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 12.2% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 49.2% muestra $T_p=4-6$ s, el 25% $T_p=2-4$ s y el 21.7% $T_p=6-8$ s.
- Sudeste (SE): esta dirección presenta un 12% de probabilidad de ocurrencia y forma 25° con la línea de costa. Del oleaje incidente, el 99.1% son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 60.8% muestra $T_p=2-4$ s y el 33.3% $T_p=4-6$ s.
- Sudsudeste (SSE): esta dirección presenta un 16% de probabilidad de ocurrencia y forma 3° con la línea de costa. Del oleaje incidente, el 99.3% son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 72.7% muestra $T_p=2-4$ s y el 24.2% $T_p=4-6$ s.

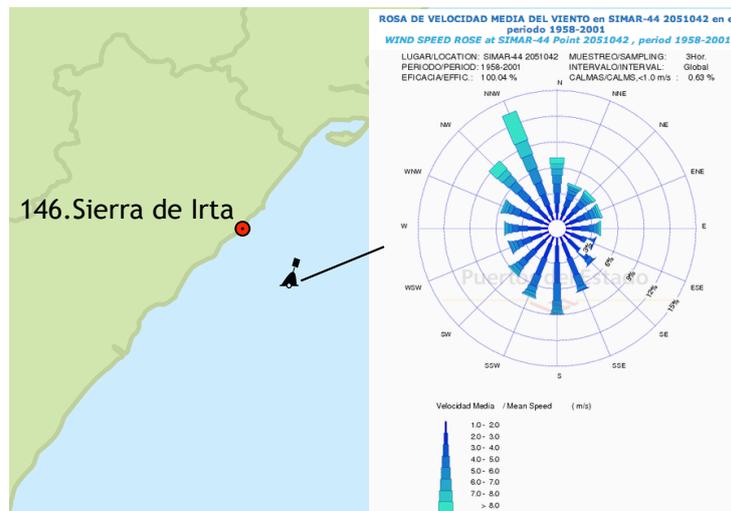


Figura 5.4: Datos de viento ondulación 146. Sierra de Irta. *Fuente de rosa de viento: Puertos del Estado (2013).*

Respecto al viento, observamos en la figura 5.4 que las direcciones predominantes son Nornoroeste (NNW), Noroeste (NW) y Sur entre otras, en las que se alcanzan velocidades medias de más de 8 m/s.

5.1.2. Tipo #2: 44.Creances / 45.Creances2

Estas ondulaciones de tipología 2 están ubicadas en la costa de Coutances, Francia. Se identificaron en la base de datos del año 2012 de Google Earth. La ondulación 44.Créances consta de 5 sucesiones con una longitud de onda de 180–250 m y una amplitud de 10–30 m. La ondulación 45.Creances2 consta de 2 sucesiones con longitud de onda 400–750 m y una amplitud de 10–40 m. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena fina, por lo que se eligió una pendiente de 4°.



Figura 5.5: Ubicación ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2.

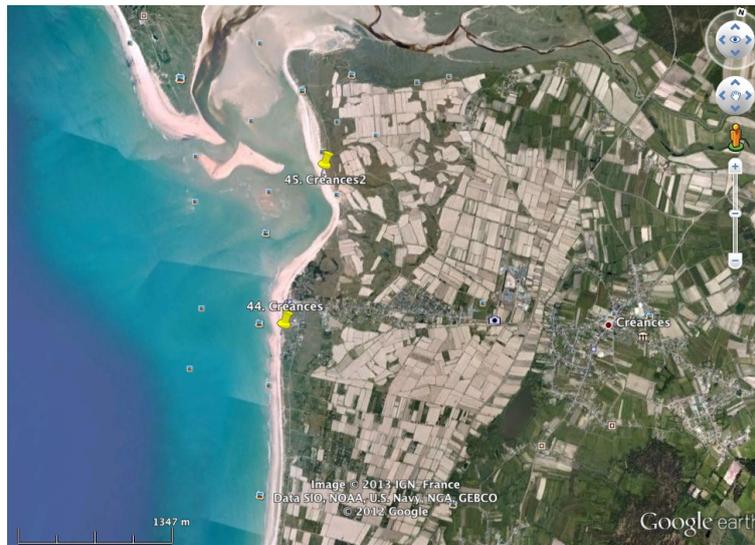


Figura 5.6: Ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación .

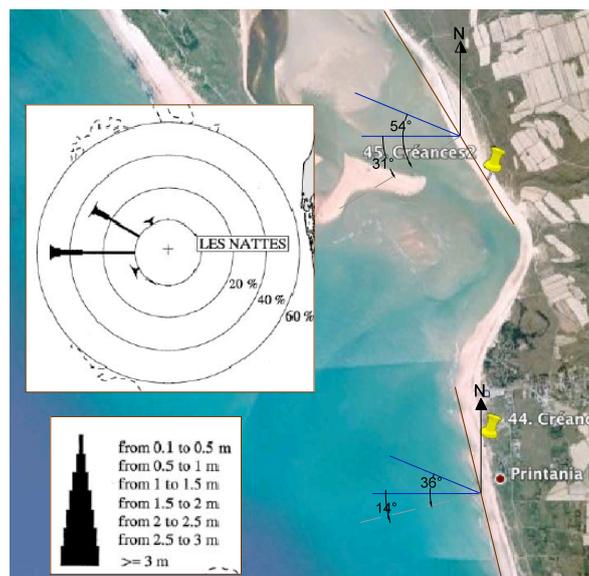


Figura 5.7: Datos de oleaje ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2. Fuente de rosa de oleaje: Levoy et al. (2000).

Como observamos en la figura 5.7, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Oeste (W): esta dirección presenta un 51% de probabilidad de ocurrencia. Forma un ángulo de -14° con 44.Creances y de -31° con 45.Creances2. Del oleaje incidente de esta dirección, el 62.7% son olas con $H_s=0.1-0.5$ m y el 25.5% con $H_s=0.5-1$ m.
- Oesnoroeste (WNW): esta dirección presenta un 34% de probabilidad de ocurrencia. Forma un ángulo de -36° con 44.Creances y de -54° con 45.Creances2. El 61.8% son olas con $H_s=0.1-0.5$ m y el 29.4% con $H_s=0.5-1$ m.

Respecto al periodo, se presentan $T_p=8-9$ s con un 15% de probabilidad de ocurrencia, $T_p=9-10$ s con un 28% y $T_p=10-11$ s con un 10% (Levoy et al., 2000).

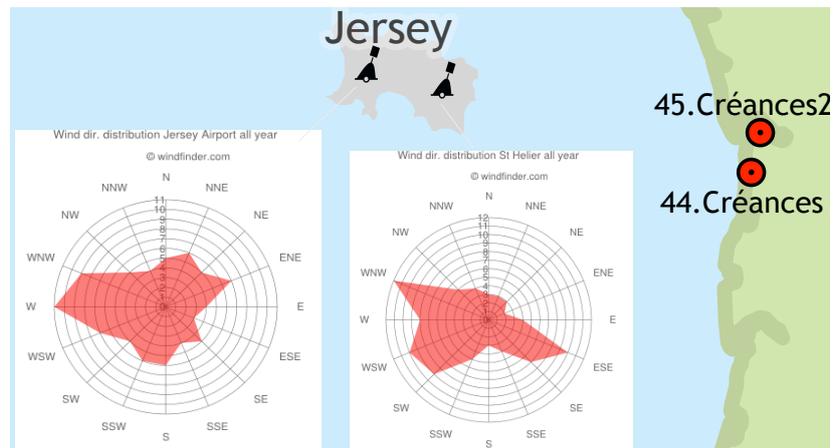


Figura 5.8: Datos de viento ondulaciones 44.Creances / 45.Creances2. Fuente de rosas de viento: *Windfinder.com* (2013).

Respecto al viento, observamos en la figura 5.8 que las direcciones predominantes son W, WNW, WSW entre otras con velocidades medias de 2–6 m/s (*Windfinder.com*, 2013).

5.1.3. Tipo #3: 124. Cala del Moral

Esta ondulación está ubicada en la costa de Málaga, España. Esta ondulación está ubicada en el mismo lugar que 125.Cala del Moral2. Estas ondulaciones se consideran como sistema superpuesto ya que tienen la misma ubicación pero se consideran independientes por la diferencia en la longitud de onda y amplitud. La ondulación 124.Cala del Moral presenta longitud de onda de 650 m y amplitud de 30-50 metros, mientras que 125.Cala del Moral2 presenta longitud de onda 100–120 m y amplitud 5–10 m. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena gruesa, por lo que se eligió una pendiente de 10°. La ondulación 124.Cala del Moral es Tipo 3 y la ondulación 125.Cala del Moral2 es Tipo 1.



Figura 5.9: Ubicación ondulación 124. Cala del Moral.



Figura 5.10: Ondulación 124. Cala del Moral. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

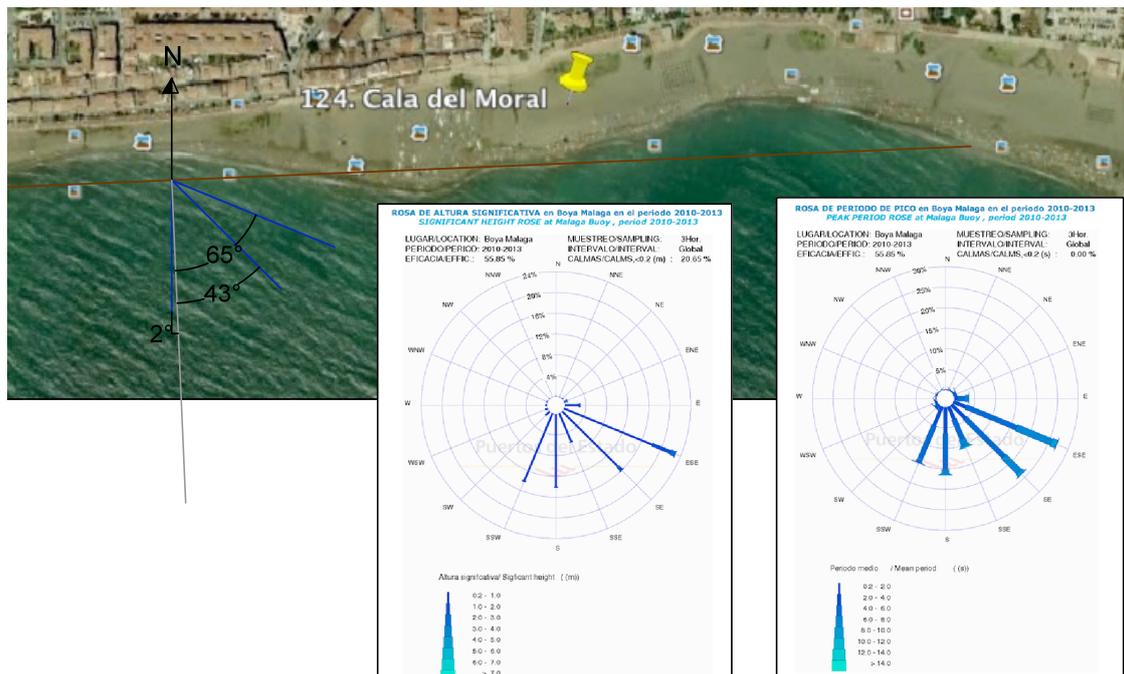


Figura 5.11: Datos de oleaje ondulación 124. Cala del Moral. Fuente de rosas de oleaje: Puertos del Estado (2013).

Como observamos en la figura 5.11, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Este-sudeste (ESE): esta dirección presenta un 25% de probabilidad de ocurrencia y forma 65° con la línea de costa. Del oleaje incidente de esta dirección, el 80.4% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 15.2% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 48.1% muestra $T_p=4-6$ s, el 33.3% $T_p=6-8$ s y el 13% $T_p=2-4$ s.

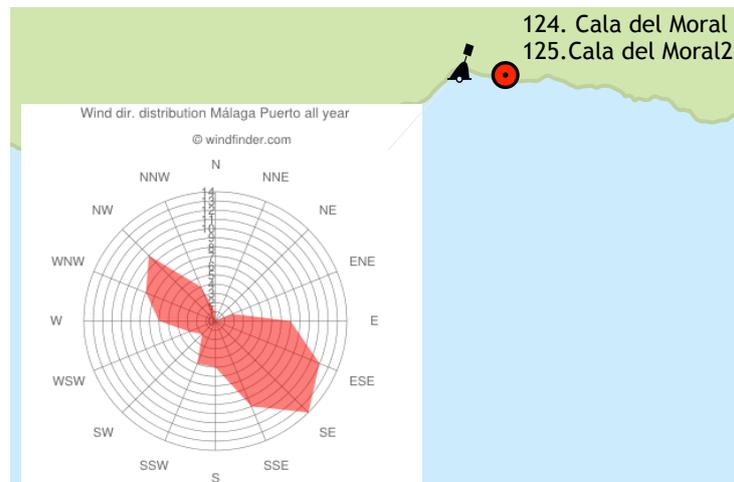


Figura 5.12: Datos de viento ondulación 124. Cala del Moral. Fuente de rosa de viento: *Windfinder.com (2013)*.

- Sudeste (SE): esta dirección presenta un 20 % de probabilidad de ocurrencia y forma 43° con la línea de costa. Del oleaje incidente de esta dirección, el 93.8 % son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 56.3 % muestra $T_p=4-6$ s, el 20.8 % $T_p=6-8$ s y el 18.8 % $T_p=2-4$ s.
- Sur (S): presenta 15 % de probabilidad de ocurrencia y forma -2° con la línea de costa. Del oleaje incidente de esta dirección, el 100 % son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 52.1 % muestra $T_p=4-6$ s y el 39.4 % $T_p=2-4$ s.

Respecto al viento, observamos en la figura 5.12 que las direcciones predominantes son SE, ESE y SSE entre otras, con una velocidad media de 3 m/s (Windfinder.com, 2013).

5.1.4. Tipo #4: 209.Mellah

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de El Tarf, Argelia. Se identificó en la base de datos del año 2005 de Google Earth. Tiene una longitud de onda de 230–300 m y una amplitud de 10–20 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena media y se eligió una pendiente de 6° .



Figura 5.13: Ubicación ondulación 209.Mellah.

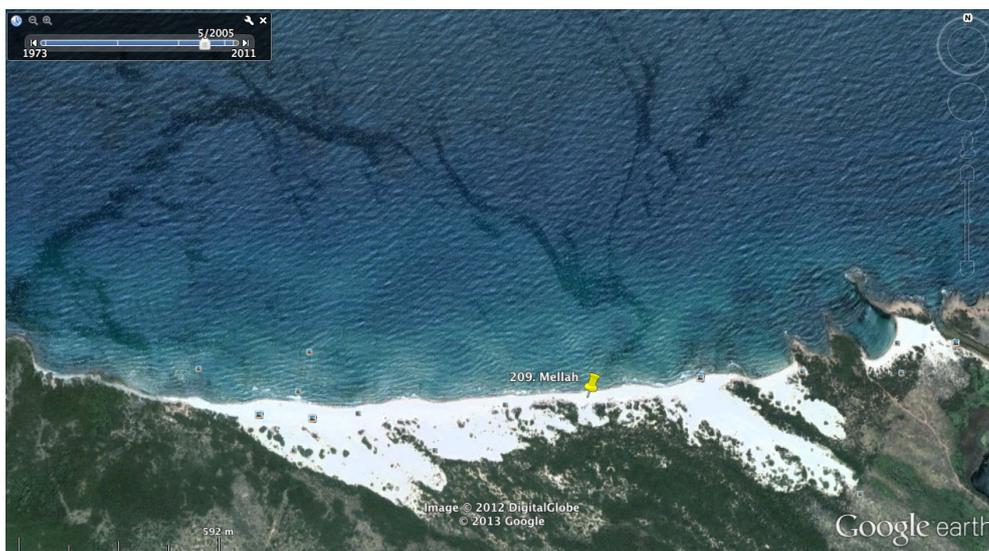


Figura 5.14: Ondulación 209.Mellah. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

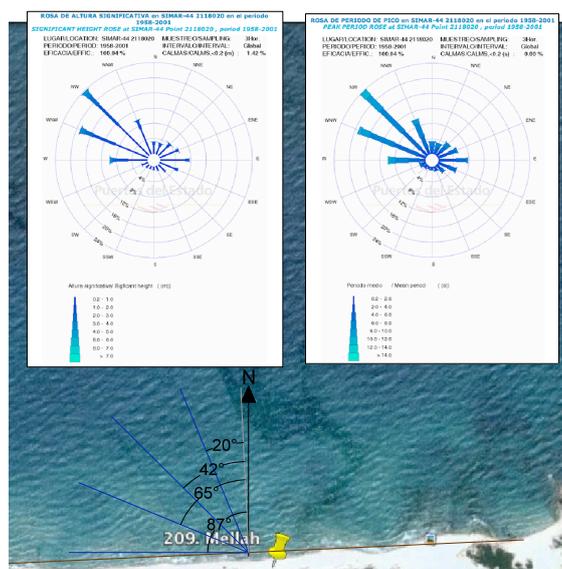


Figura 5.15: Datos oleaje 209.Mellah. Fuente rosas oleaje: Puertos del Estado (2013).

Como observamos en la figura 5.15, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Noroeste (NW): esta dirección presenta un 24 % de probabilidad de ocurrencia y forma 42° con la línea de costa. El 46 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 33.5 % con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 33.3 % muestra $T_p=6-8$ s, el 27.1 % $T_p=4-6$ s y el 20.8 % $T_p=8-10$ s.
- Oesnoroeste (WNW): esta dirección presenta un 19 % de probabilidad de ocurrencia y forma 65° con la línea de costa. El 47.4 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 32.6 % con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 36.8 % muestra $T_p=4-6$ s y el 36.3 % $T_p=6-8$ s.
- Oeste (W): esta dirección presenta un 10 % de probabilidad de ocurrencia y forma 87° con la línea de costa. El 51 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 30.6 % con $H_s=1-2$

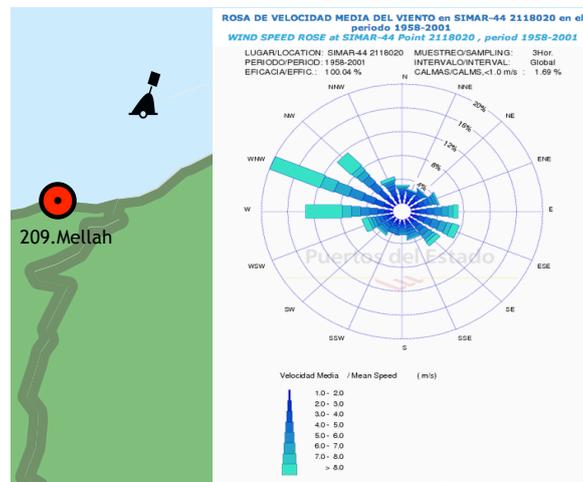


Figura 5.16: Datos viento 209.Mellah. Fuente rosa de viento: Puertos del Estado (2013).

- m. Respecto al periodo, el 37 % muestra $T_p=6-8$ s y el 27 % $T_p=4-6$ s.
- Nornoroeste (NNW): esta dirección presenta un 9.7 % de probabilidad de ocurrencia y forma 20° con la línea de costa. El 75 % son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 33.7 % muestra $T_p=6-8$ s y el 30.6 % $T_p=4-6$ s.

Respecto al viento, observamos en la figura 5.16 que las direcciones predominantes son WNW, W, NW, entre otras en las que se alcanzan velocidades medias de más de 8 m/s.

5.1.5. Tipo #5: 120.Los Boliches

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Málaga, España. Se identificó en la base de datos del año 2012 de Google Earth. Presenta una longitud de onda de 60–200 m y una amplitud de 3–10 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena gruesa y se elige una pendiente de 8° .



Figura 5.17: Ubicación ondulación 120.Los Boliches.



Figura 5.18: Ondulación 120.Los Boliches. *Fuente: Google Earth.*

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

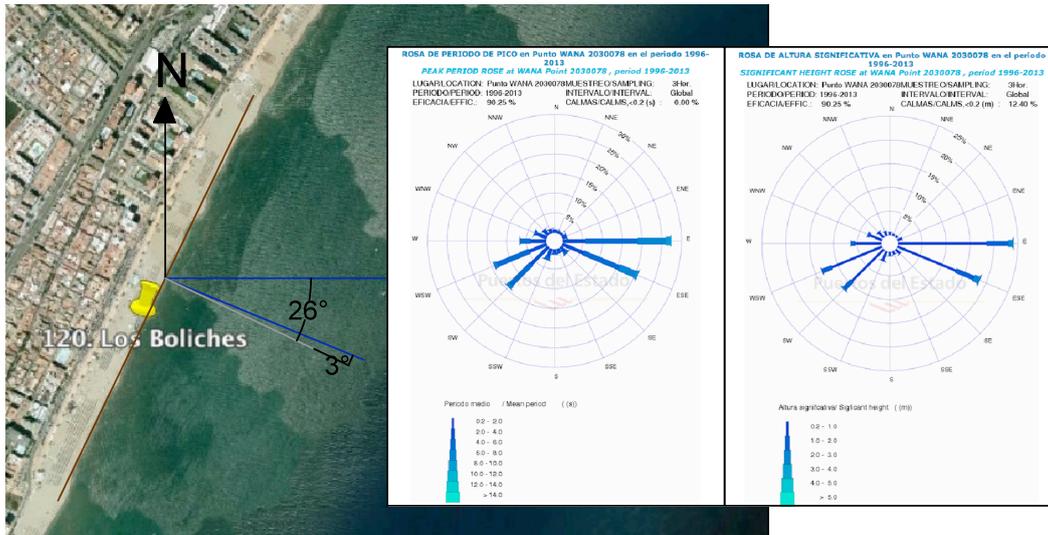


Figura 5.19: Datos de oleaje ondulación 120.Los Boliches. *Fuente de rosas de oleaje: Puertos del Estado (2013).*

Como observamos en la figura 5.19, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Este (E): esta dirección presenta un 25% de probabilidad de ocurrencia y forma un ángulo de 26° con la línea de costa. Del oleaje incidente de esta dirección, el 75% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 20.8% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 48.1% muestra un periodo de $T_p=4-6$ s, el 25.9% de $T_p=6-8$ s y el 22.2% de $T_p=2-4$ s.
- Este-sudeste (ESE): esta dirección presenta un 19% de probabilidad de ocurrencia y forma 3° con la línea de costa. El 72.2% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 22.2% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 45.2% muestra $T_p=4-6$ s, el 28.6% $T_p=2-4$ s y el 21.4% $T_p=6-8$ s.

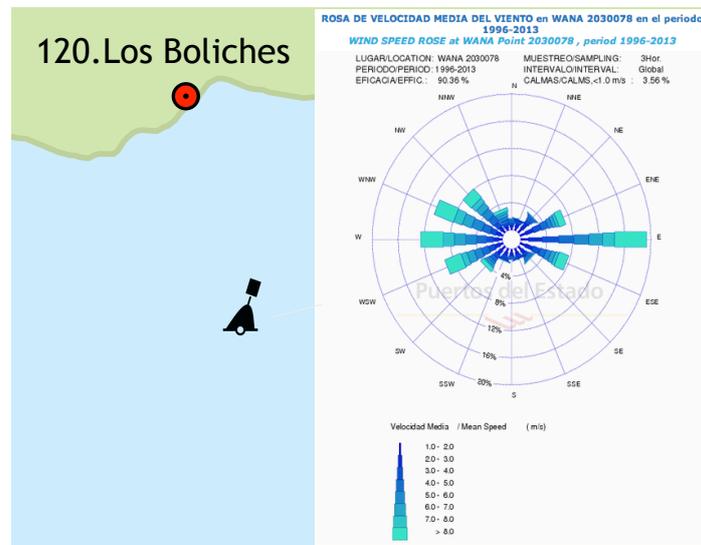


Figura 5.20: Datos de viento ondulación 120.Los Boliches. Fuente de rosa de viento: Puertos del Estado (2013).

Respecto al viento, observamos en la figura 5.20 que las direcciones predominantes son E, W y WNW entre otras, alcanzando velocidades medias de más de 8 m/s.

5.1.6. Tipo #6: 148. Benicarló2

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Castellón, España. Se identificó en la base de datos del año 2012 de Google Earth. Consta de 2 sucesiones con una longitud de onda de 320 m y una amplitud de 15 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena muy gruesa, por lo que se eligió una pendiente del 11°.



Figura 5.21: Ubicación ondulación 148.Benicarló2.



Figura 5.22: Ondulación 148.Benicarló2. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

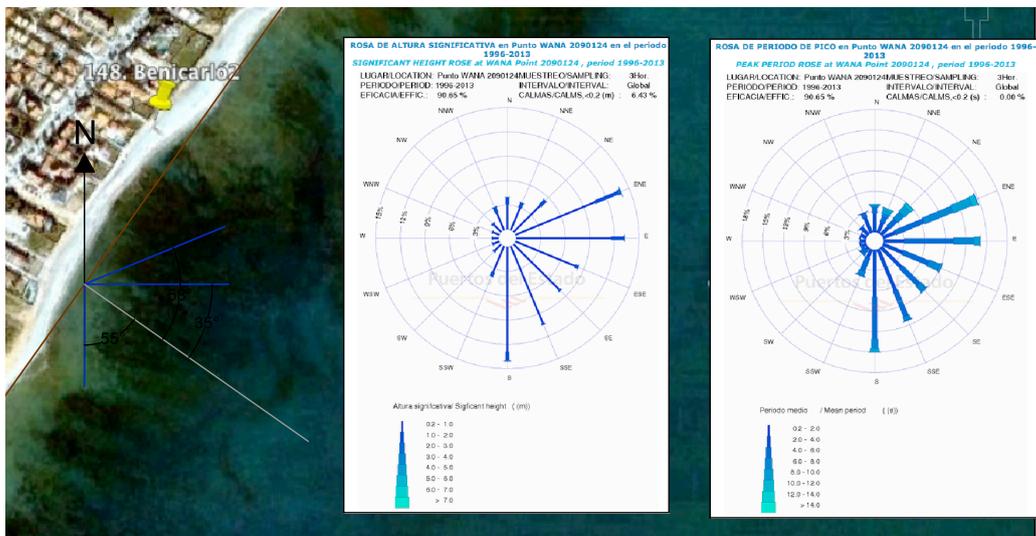


Figura 5.23: Datos oleaje 148.Benicarló2. Fuente rosas oleaje: Puertos del Estado (2013).

Como observamos en la figura 5.23, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Estenordeste (ENE): esta dirección presenta un 14% de probabilidad de ocurrencia y forma un ángulo de 58° con la línea de costa. Del oleaje incidente de esta dirección, el 77.1% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 19.3% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 32.3% muestra un periodo de $T_p=6-8$ s, el 28.2% de $T_p=4-6$ s y el 20.1% de $T_p=8-10$ s.
- Este (E): esta dirección presenta un 13.5% de probabilidad de ocurrencia y forma 35° con la línea de costa. El 88.7% son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 50.7% muestra $T_p=4-6$ s y el 22.5% $T_p=6-8$ s.

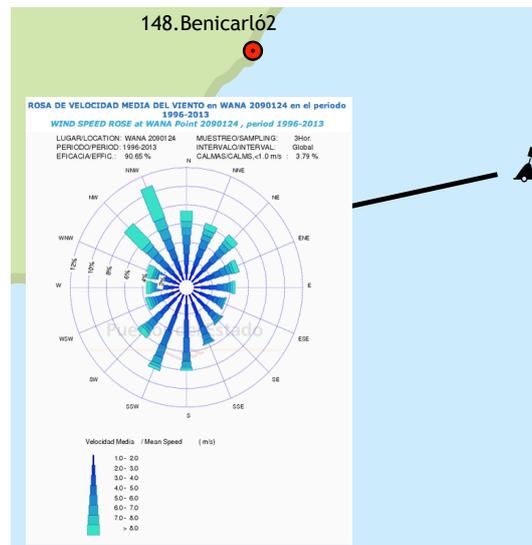


Figura 5.24: Datos viento 148.Benicarló2. Fuente rosa viento: Puertos del Estado (2013).

- Sur (S): presenta un 14% de probabilidad de ocurrencia y forma -55° con la línea de costa. El 92.2% son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 46.7% muestra $T_p=2-4$ s y el 40% $T_p=4-6$ s.

Se observa en la figura 5.24 que las direcciones predominantes de viento son NNW, NW y SSW entre otras, en las que se alcanzan velocidades medias de más de 8 m/s.

5.1.7. Tipo #7: 133.Guardias Viejas2

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Almería, España. Consta de 2 sucesiones con una longitud de onda de 350–420 m y una amplitud de 10–30 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena muy gruesa y se eligió una pendiente de 10° .



Figura 5.25: Ubicación ondulación 133.Guardias Viejas2.

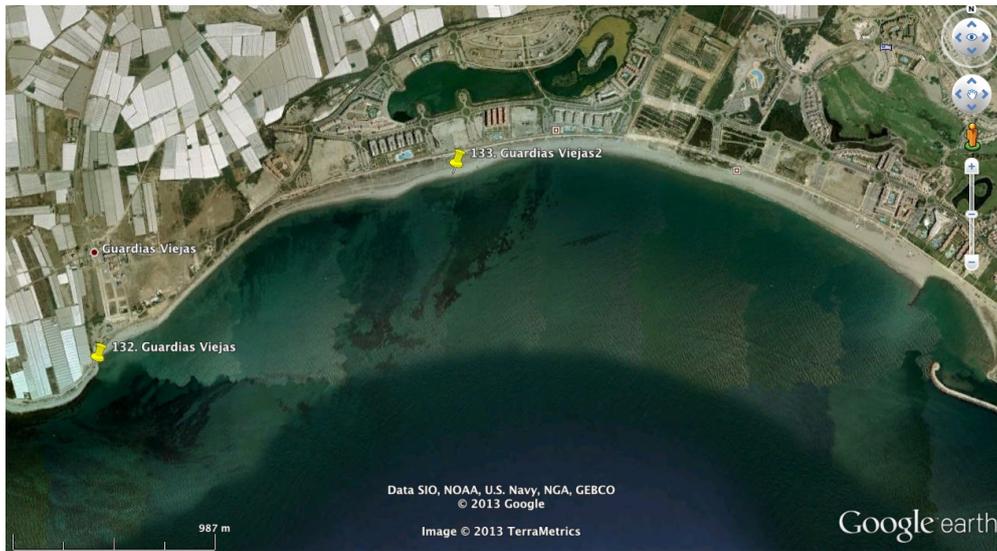


Figura 5.26: Ondulación 133.Guardias Viejas2. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

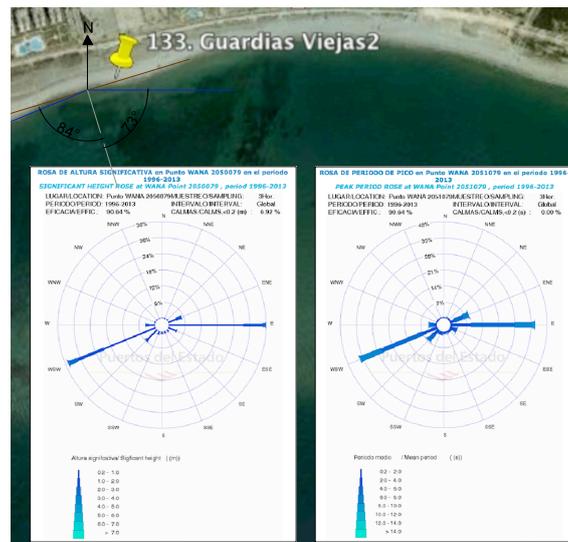


Figura 5.27: Datos de oleaje ondulación 133.Guardias Viejas2. Fuente de rosas de oleaje: Puertos del Estado (2013).

Como observamos en la figura 5.27 existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Este (E): esta dirección presenta un 36 % de probabilidad de ocurrencia y forma 73° con la línea de costa. El 76.4 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 20.8 % con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 51.4 % muestra $T_p=4-6$ s, el 24.3 % $T_p=2-4$ s y el 19.5 % $T_p=6-8$ s.
- Oesudoeste (WSW): esta dirección presenta un 35 % de probabilidad de ocurrencia y forma -84° con la línea de costa. El 60 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 30 % con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 52.8 % muestra $T_p=4-6$ s, el 26.4 % $T_p=6-8$ s y el 19.4 % $T_p=2-4$ s.

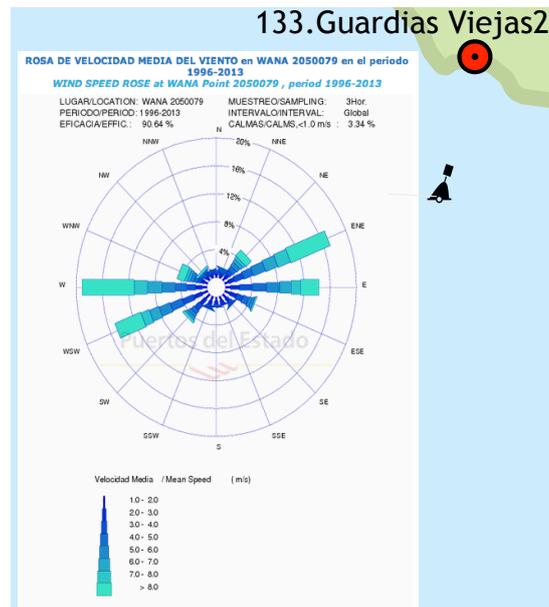


Figura 5.28: Datos de viento ondulación 133.Guardias Viejas2. Fuente de rosa de viento: Puertos del Estado (2013).

Respecto al viento, observamos en la figura 5.28 que las direcciones predominantes son W, ENE (Estenordeste), WSW y E entre otras, en las que se alcanzan velocidades medias de más de 8 m/s.

5.1.8. Tipo #8: 95.Henne

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Henne, Dinamarca. Se identificó en la base de datos del año 2005 de Google Earth. Tiene una longitud de onda de 120–200 m y una amplitud de 9–12 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena fina y se eligió una pendiente de 4°.



Figura 5.29: Ubicación ondulación 95.Henne.

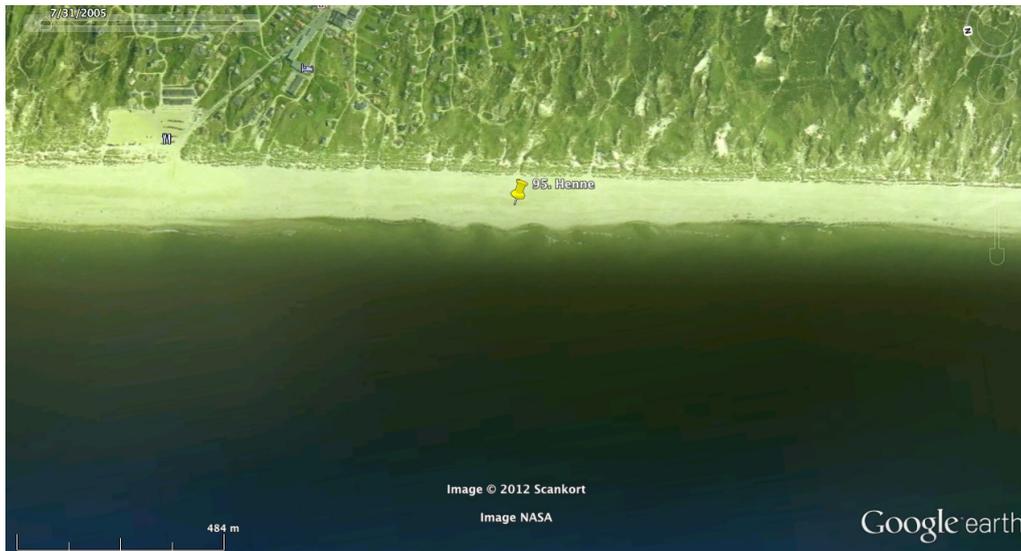


Figura 5.30: Ondulación 95.Henne. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

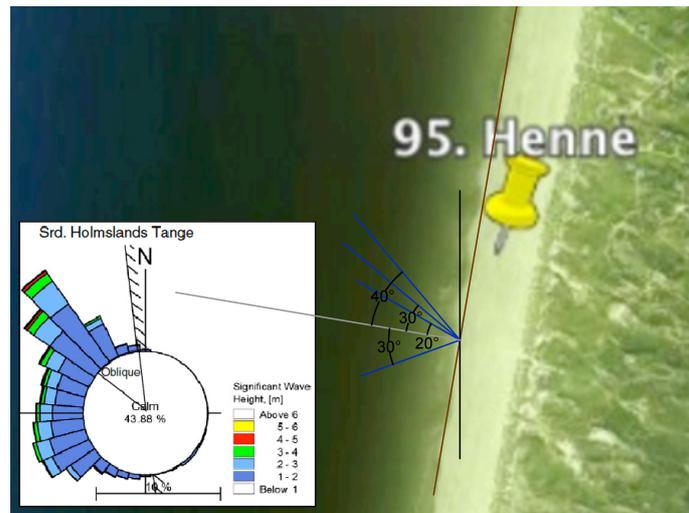


Figura 5.31: Datos de oleaje ondulación 95.Henne. Fuente de rosa de oleaje: Kaergaard et al. (2012).

Como observamos en la figura 5.31, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- La dirección que forma un ángulo de -40° con la línea de costa y presenta un 9% de probabilidad de ocurrencia. Del oleaje incidente de esta dirección, el 64.3% son olas con $H_s=1-2$ m y el 25% con $H_s=2-3$ m.
- La dirección que forma un ángulo de -30° y presenta un 6.9% de probabilidad de ocurrencia. El 62.8% son olas con $H_s=1-2$ m y el 23.3% con $H_s=2-3$ m.
- La dirección que forma un ángulo de -20° y presenta un 4.4% de probabilidad de ocurrencia. El 63% son olas con $H_s=1-2$ m y el 25.9% con $H_s=2-3$ m.
- La dirección que forma un ángulo de 30° y presenta un 4.4% de probabilidad de ocurrencia. El 70.4% son olas con $H_s=1-2$ m y el 25.9% con $H_s=2-3$ m.

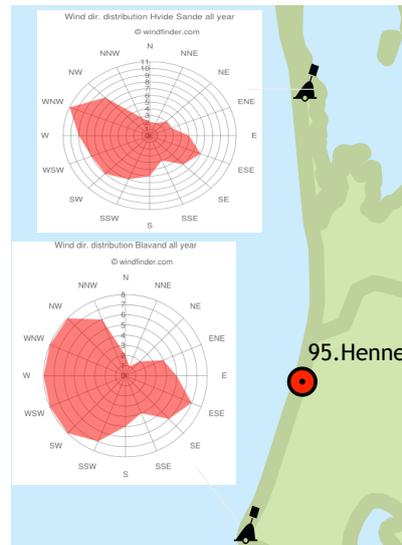


Figura 5.32: Datos de viento ondulación 95.Henne. Fuente de rosas de viento: *Windfinder.com (2013)*.

Respecto al periodo, el periodo pico medio anual es de 4,6 segundos (Kaergaard et al., 2012). Respecto al viento, observamos en la figura 5.32 que las direcciones predominantes son NW, WNW y W con velocidades medias de 7–8 m/s. (Windfinder.com, 2013).

5.1.9. Tipo #9: 212.El Keria

Esta ondulación está ubicada en la costa de El Keria, Argelia. Se identificó en la base de datos del año 2003 del Google Earth. En el mismo tramo de costa se ubican las ondulaciones 212.El Keria y 213.El Keria2. Es un sistema superpuesto debido a que tienen la misma ubicación pero se consideran independientes por la diferencia en las longitudes de onda y amplitud. La ondulación 212.El Keria tiene longitud de onda de 240–500 m y amplitud de 10–30 m, mientras que la ondulación 213.El Keria2 muestra longitudes de onda de 80–100 m y amplitud de 4–7 m. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena fina y se eligió una pendiente de 4°. La ondulación 212.El Keria es de tipología 9 y 213.El Keria2 de tipología 1.



Figura 5.33: Ubicación ondulación 212.El Keria.

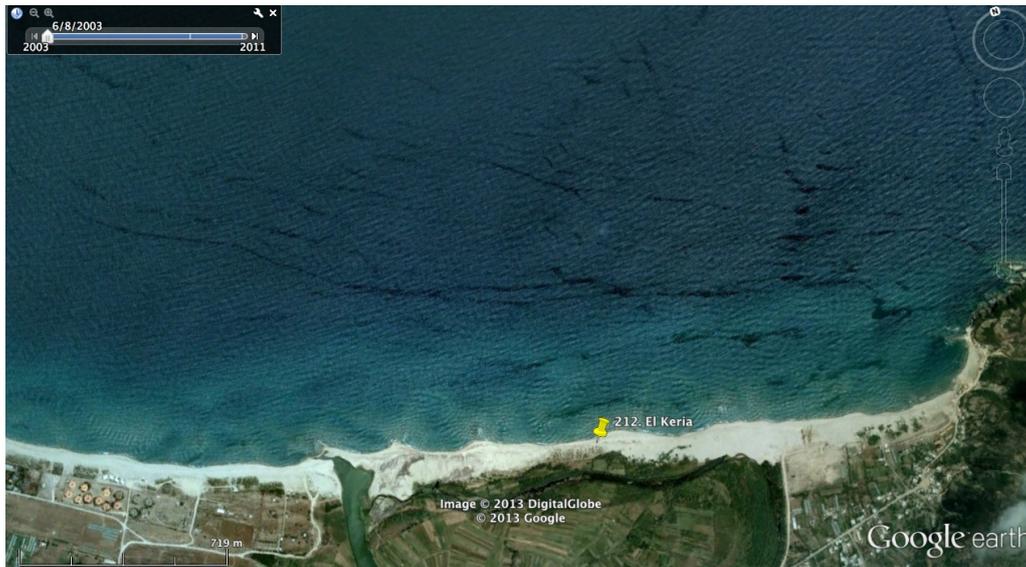


Figura 5.34: Ondulación 212.El Keria. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

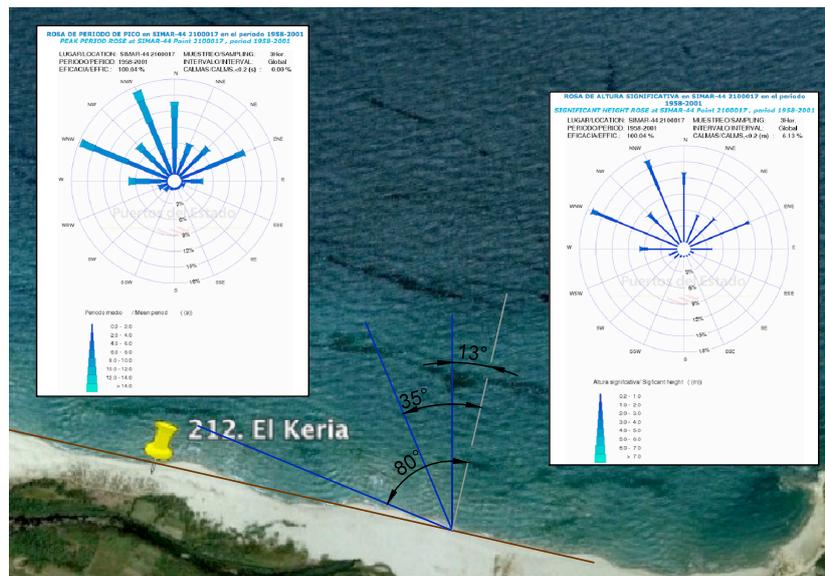


Figura 5.35: Datos de oleaje ondulación 212.El Keria. Fuente de rosas de oleaje: (Puertos del Estado, 2013).

Como observamos en la figura 5.35, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Oesnoroeste (WNW): esta dirección presenta un 17% de probabilidad de ocurrencia y forma 80° con la línea de costa. El 70.6% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 22.4% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 38.8% muestra $T_p=6-8$ s y el 33.7% $T_p=4-6$ s.
- Nornoroeste (NNW): esta dirección presenta un 17% de probabilidad de ocurrencia y forma 35° con la línea de costa. El 65.5% son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 26.1% con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 36.3% muestra $T_p=6-8$ s, el 25.1% $T_p=8-10$ s y el 20.5% $T_p=4-6$ s.

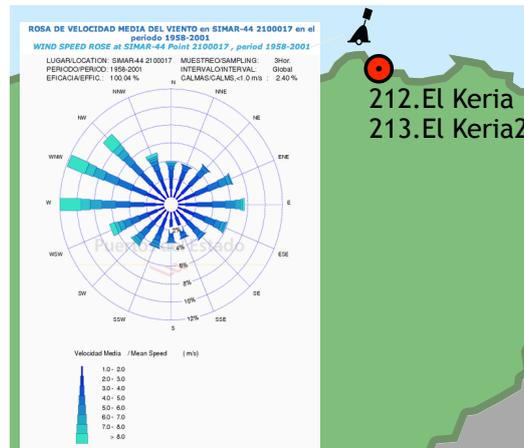


Figura 5.36: Datos de viento ondulación 212.El Keria. Fuente de rosa de viento: (Puertos del Estado, 2013).

- Norte (N): esta dirección presenta un 13% de probabilidad de ocurrencia y forma 13° con la línea de costa. El 84.6% son olas con $H_s=0.2-1$ m. Respecto al periodo, el 41.3% muestra $T_p=6-8$ s y el 26.8% $T_p=4-6$ s.

Respecto al viento, observamos en la figura 5.36 que las direcciones predominantes son WNW, W y NW en las que se alcanzan velocidades medias de más de 8 m/s.

5.1.10. Tipo #10: 172.Selva Nera

Se trata de una onda ubicada en la costa de Grosseto, Italia. Se identificó en la base de datos del año 2004 de Google Earth. Presenta una longitud de onda de 90–125 m y una amplitud de 7–15 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena media y se eligió una pendiente del 6%.



Figura 5.37: Ubicación ondulación 172.Selva Nera.

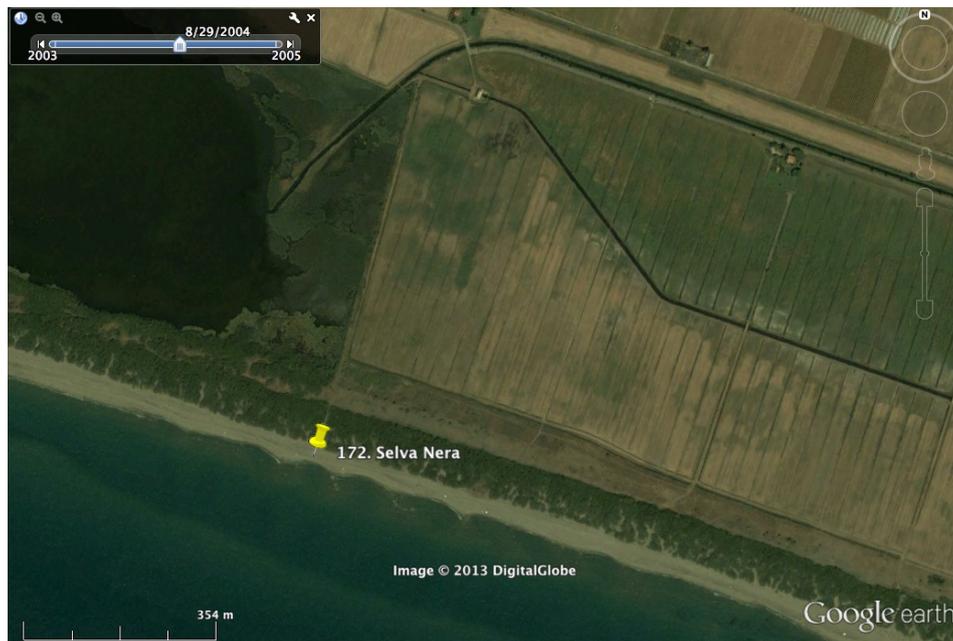


Figura 5.38: Ondulación 172.Selva Nera. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta onda.

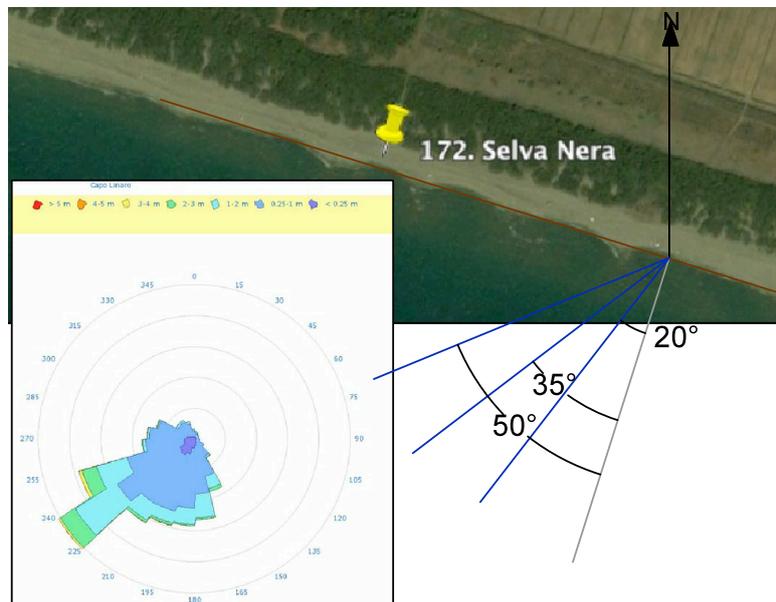


Figura 5.39: Datos de oleaje ondulación 172.Selva Nera. Fuente de rosa de oleaje: ISPRA - www.idromare.it (2013).

Como observamos en la figura 5.39, las direcciones predominantes forman ángulos de -35° , -50° y -20° con la línea de costa. Respecto al viento, observamos en la figura 5.40 que las direcciones predominantes son W y WSW entre otras, con velocidades medias de 5–6 m/s. (Windfinder.com, 2013). En ISPRA - www.idromare.it (2013) obtenemos datos de H_s y T_p .

- El oleaje que incide con -35° presenta un 16.1% de probabilidad de ocurrencia. El 56.6% presenta H_s entre 0.2–1 m y el 30.8% presenta H_s entre 1–2 m.

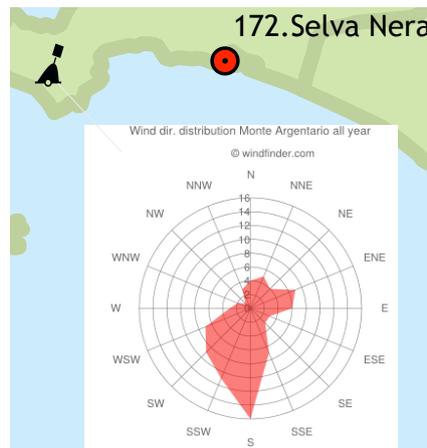


Figura 5.40: Datos viento 172.Selva Nera. Fuente rosa viento: Windfinder.com (2013).

- El oleaje que incide con -50° presenta un 12.2% de probabilidad de ocurrencia. El 58.5% presenta H_s entre 0.2–1 m y el 26.2% H_s entre 1–2 m.
- El oleaje que incide con -20° presenta un 10% de probabilidad de ocurrencia. El 77.8% presenta H_s entre 0.2–1 m y el 19% H_s entre 1–2 m.
- De las olas con $H_s \leq 0.5$ m tenemos lo siguiente: aquellas con $T_p \leq 4.5$ s presentan un 14.9% de probabilidad de ocurrencia, $T_p \leq 6$ s un 13.03% y $T_p \geq 18$ s un 8.96%.
- De las olas con $H_s \leq 1$ m tenemos lo siguiente: aquellas con $T_p \leq 7.5$ s presentan un 9.6% de probabilidad de ocurrencia y $T_p \leq 6$ s un 8.69%.

5.1.11. Tipo #11: 132.Guardias Viejas

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Almería, España. Se identificó en la base de datos del año 2012 de Google Earth. Presenta una longitud de onda de 160 m y una amplitud de 15 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena muy gruesa y se eligió una pendiente de 10° .



Figura 5.41: Ubicación ondulación 132.Guardias Viejas.



Figura 5.42: Ondulación 132.Guardias Viejas. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

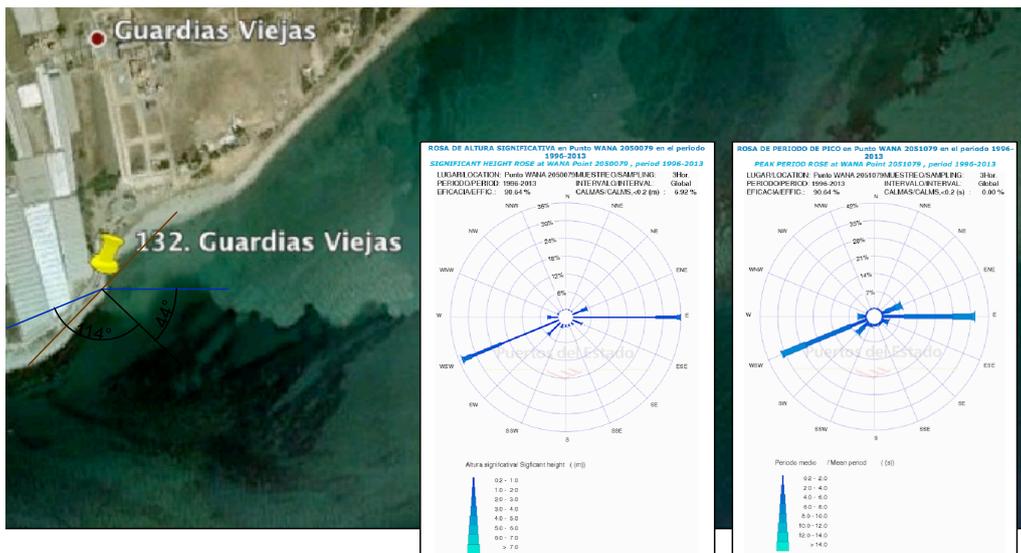


Figura 5.43: Datos de oleaje ondulación 132.Guardias Viejas. Fuente de rosas de oleaje: Puertos del Estado (2013).

Como observamos en la figura 5.43, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Este (E): presenta un 36 % de probabilidad de ocurrencia y forma 44° con la línea de costa. El 76.4 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 20.8 % con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 51.4 % muestra $T_p=4-6$ s, el 24.3 % $T_p=2-4$ s y el 19.5 % $T_p=6-8$ s.
- Oesudoeste (WSW): esta dirección presenta un 35 % de probabilidad de ocurrencia y forma -114° con la línea de costa. El 60 % son olas con $H_s=0.2-1$ m y el 30 % con $H_s=1-2$ m. Respecto al periodo, el 52.8 % muestra $T_p=4-6$ s, el 26.4 % $T_p=6-8$ s y el 19.4 % $T_p=2-4$ s.

Se observa en la figura 5.44 que las direcciones predominantes son W, ENE (Estenordeste), WSW y E en las que se alcanzan velocidades medias de más de 8 m/s.

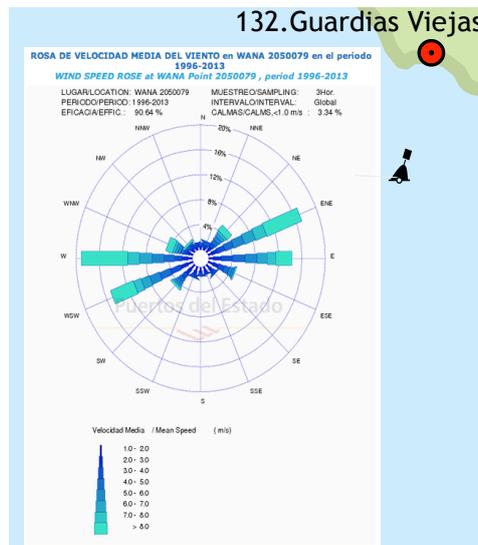


Figura 5.44: Datos de viento ondulación 132.Guardias Viejas. Fuente de rosa de viento: Puertos del Estado (2013).

5.1.12. Tipo #12: 91.Hörnum

Se trata de una onda ubicada en la costa de Hörnum, Alemania. Se identificó en la base de datos del año 2012 de Google Earth. Presenta una longitud de onda de 1250 m y una amplitud de 50–100 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena fina y se eligió una pendiente del 4°.



Figura 5.45: Ubicación ondulación 91.Hörnum.

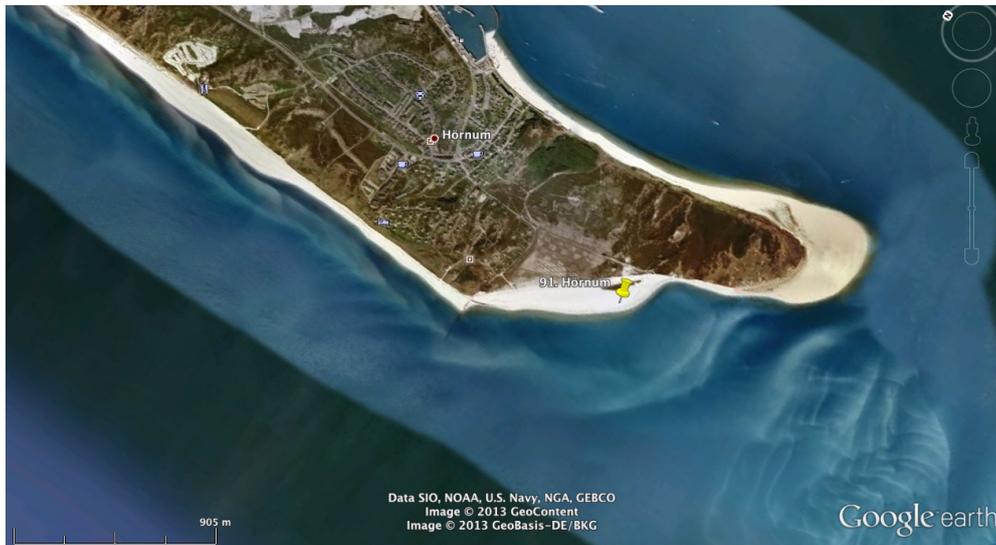


Figura 5.46: Ondulación 91.Hörnum. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

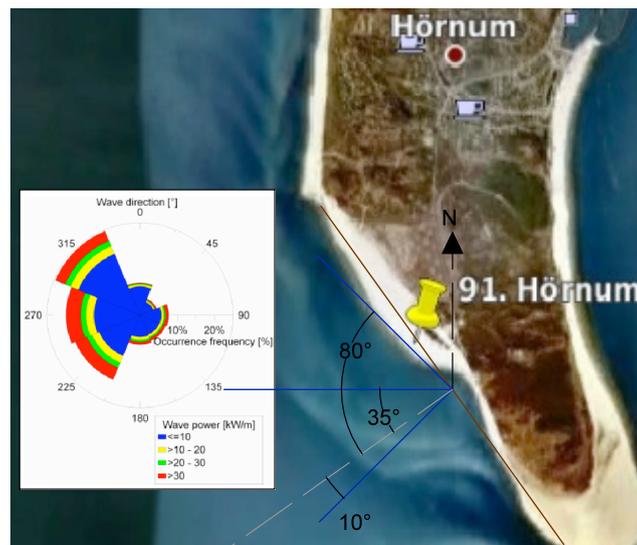


Figura 5.47: Datos de oleaje 91.Hörnum. Fuente rosa de oleaje: Beels et al. (2007).

Como observamos en la figura 5.47, existen varias direcciones de oleaje incidente, de las cuales las predominantes son:

- Noroeste (NW): esta dirección presenta un 25% de probabilidad de ocurrencia y forma un ángulo de -80° con la línea de costa.
- Oeste (W): esta dirección presenta un 20% de probabilidad de ocurrencia y forma un ángulo de -35° con la línea de costa.
- Sudoeste (SW): esta dirección presenta un 18% de probabilidad de ocurrencia y forma un ángulo de 10° con la línea de costa.

En Beels et al. (2007) obtenemos datos de H_s y T_p . Se presentan $H_s=1$ m con un 46.8% de probabilidad de ocurrencia y $H_s=2$ m con un 22.6%. Respecto al periodo, se presentan $T_e=4.6$ s con un 46.8% de probabilidad de ocurrencia y $T_e=5.9$ s con un 22.6%.

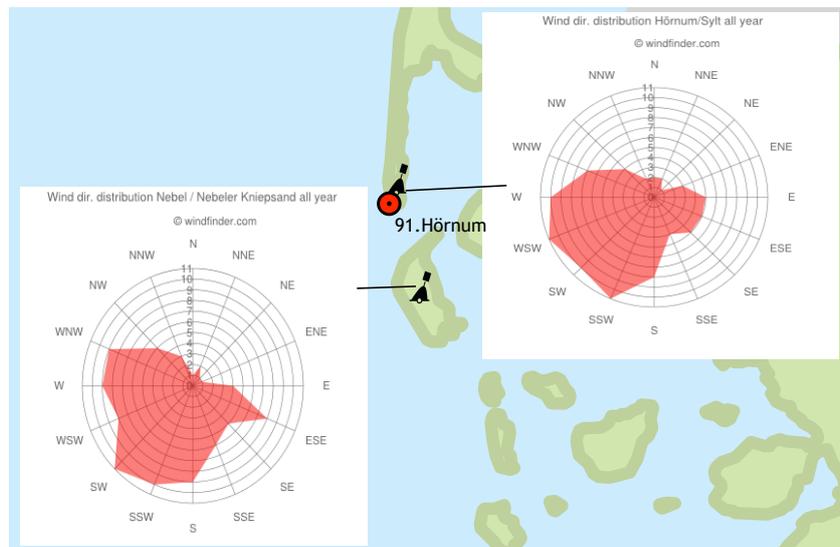


Figura 5.48: Datos de viento ondulación 91.Hörnüm. Fuente de rosas de viento: *Windfinder.com (2013)*.

Respecto al viento, observamos en la figura 5.48 que las direcciones predominantes son SSW, SW y WSW con velocidades medias de 6–8 m/s. (Windfinder.com, 2013).

5.1.13. Tipo #13: 40.Penthievre2

Se trata de una ondulación ubicada en la costa de Lorient, Francia. Se identificó en la base de datos del año 2012 del Google Earth. Presenta una longitud de onda de 315 m y una amplitud de 10–20 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena media, por lo que se eligió una pendiente de 6°.



Figura 5.49: Ubicación ondulación 40.Penthievre2.



Figura 5.50: Ondulación 40.Penthievre2. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento de esta ondulación.

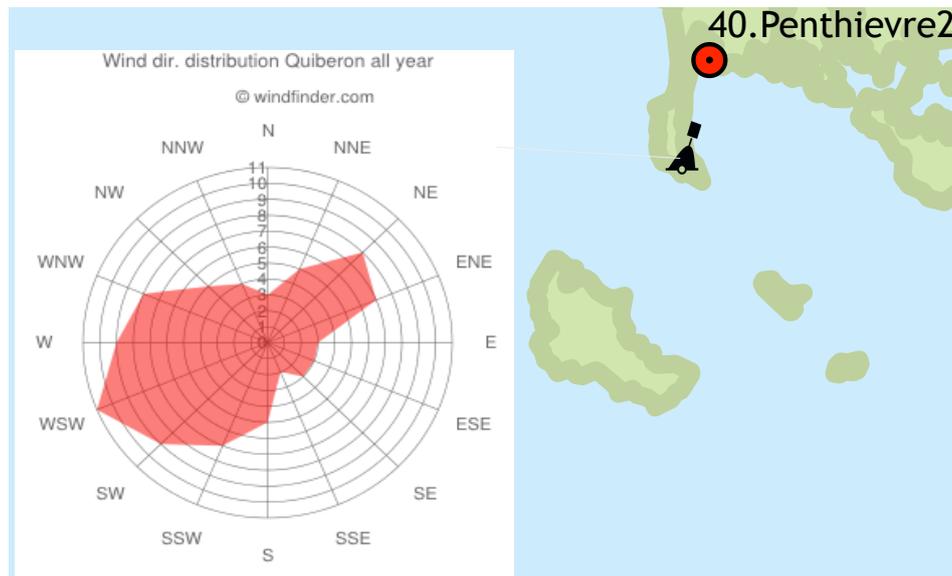


Figura 5.51: Datos de viento ondulación 40.Penthievre2. Fuente de rosa de viento: Windfinder.com (2013).

Respecto al viento, observamos en la figura 5.51 que las direcciones predominantes son WSW, SW y W entre otras, con velocidades medias de 3–4 m/s. (Windfinder.com, 2013).

5.1.14. Tipo #14: 88.Baltrum

Se trata de una onda ubicada en la costa de Baltrum, Alemania. Se identificó en la base de datos del año 2012 de Google Earth. Presenta longitud de onda de 2500 m y amplitud de 100–150 metros. Utilizando fotos de la base de datos Panoramio y la tabla 2.3, se estimó un tamaño de sedimento de arena fina y se eligió una pendiente del 4%.



Figura 5.52: Ubicación ondulación 88.Baltrum.



Figura 5.53: Ondulación 88.Baltrum. Fuente: Google Earth.

Obtenemos también datos de viento y oleaje de esta ondulación.

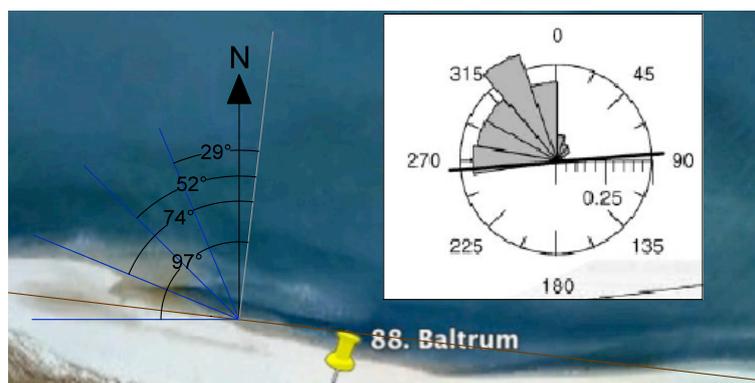


Figura 5.54: Datos de oleaje 88.Baltrum. Fuente rosa de oleaje: Falqués (2006).

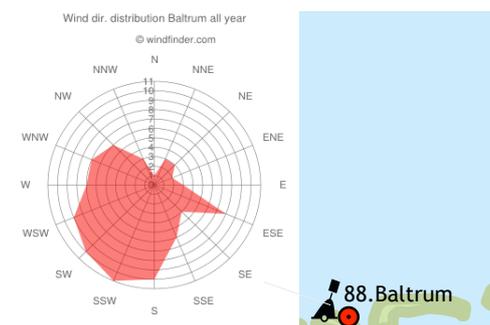


Figura 5.55: Datos de viento ondulación 88.Baltrum. Fuente de rosa de viento: *Windfinder.com (2013)*.

Se observa en la figura 5.55 que las direcciones predominantes de viento son SSW, SW y S con velocidades medias de 6–7 m/s (Windfinder.com, 2013). Se observa en la figura 5.54 que existen varias direcciones de oleaje incidente predominando:

- Nornoroeste (NNW): forma ángulo de 29° con la línea de costa y presenta $H_s=0.6$ m.
- Oeste (W): forma un ángulo de 97° con la línea de costa y presenta $H_s=0.5$ m.
- Noroeste (NW): forma un ángulo de 52° con la línea de costa y presenta $H_s=0.4$ m.
- Oesnoroeste (WNW): forma 74° con la línea de costa y presenta $H_s=0.4$ m.

5.2. Clima marítimo en España. Oleaje y nivel del mar

Se presenta una tabla con información de oleaje, nivel del mar tanto de régimen medio como extremal así como el número de Iribarren para las ondulaciones ubicadas en España. Se presentan las ondulaciones de la costa española según tipologías.



Figura 5.56: Ondulaciones de la línea de costa española clasificadas según tipologías.

Tabla 5.1: Datos de oleaje y nivel del mar en España.

No.	Denominación	Provincia	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo	H_s (m)	$H_{s95\%}$ (m)	T_p (s)	FE (kW/m)	dFE (°)	H_{s50} (m)	RM (m)	MSL (cm)	$MM95\%$ (cm)	I_r
1	Desembocadura del Guadalquivir	Huelva	1800	150	6	0.704	1.608	6.977	1.343	-46.8	3.97	3.426	2.955	6.852	0.181
2	Punta Umbría	Huelva	1100	50	11	0.657	1.613	5.649	1.297	23.6	5.266	3.756	2.955	7.018	0.152
3	El Rompido	Huelva	1500–2400	80–140	2	0.657	1.613	5.649	1.297	-2.9	5.266	3.756	2.955	7.018	0.152
4	Isla del Moral	Huelva	1000–1800	40–50	5	0.637	1.598	4.998	1.212	-28.4	4.791	3.756	2.955	6.366	0.137
5	Ayamonte	Huelva	1000–1300	80–100	5	0.628	1.587	5.263	1.216	32.7	4.862	3.756	2.955	6.328	0.290
27	Foz	Lugo	550	25	14	1.14	2.459	9.36	5.393	37.7	5.084	4.322	2.652	12.671	0.383
28	Pedreña	Cantabria	475	10–15	14	1.706	3.571	10.392	13.908	32.1	8.458	4.903	2.57	11.118	0.695
103	Punta Candor	Cádiz	190	17	11	1	2.18	7.414	2.998	-2.5	5.744	3.448	2.995	6.032	0.648
104	Rota	Cádiz	300	10–20	12	0.839	1.811	7.253	1.856	-13.5	4.539	3.446	2.901	6.032	0.692
105	Río San Pedro	Cádiz	100–200	5–10	4	0.839	1.811	7.253	1.856	25.3	4.539	3.446	2.901	6.032	0.866
106	Barrosa	Cádiz	220	6–8	11	1.013	2.108	8.561	2.903	-58.6	4.583	2.665	2.901	5.413	0.930
107	Barrosa2	Cádiz	180	10	11	1.013	2.108	8.561	2.903	-145.4	4.583	2.665	2.901	5.413	0.930
108	Barbate	Cádiz	150	8	11	0.939	1.953	7.049	2.193	-16.6	4.84	1.953	2.901	5.304	0.476
109	Barbate2	Cádiz	200	5–10	1	0.939	1.953	7.049	2.193	-11.7	4.84	1.953	2.901	5.304	0.476
110	Bolonia	Cádiz	200–500	10–30	5	0.941	1.999	7.169	2.343	-24.1	5.074	1.799	2.901	5.304	0.484
111	Bolonia2	Cádiz	140	8	11	0.941	1.999	7.169	2.343	-56.9	5.074	1.799	2.901	5.304	0.484
112	Palmones	Cádiz	50–100	5–10	4	0.427	1.244	3.745	0.533	-44.3	3.275	1.178	2.901	6.724	0.501
113	Guadarranque	Cádiz	100	15–25	12	0.427	1.244	3.745	0.533	104.0	3.275	1.178	2.901	6.724	0.375
114	Villacana	Málaga	600	25	11	0.707	1.841	4.547	1.697	44.7	5.814	1.057	2.901	7.136	0.710
115	Marbella	Málaga	310	10–20	12	0.606	1.652	4.082	1.3	33.0	5.366	1.009	2.901	6.864	0.689
116	Artola	Málaga	180–320	10–20	5	0.676	1.867	4.781	1.639	77.9	5.294	0.924	2.901	6.594	1.151
117	Cabo Pino	Málaga	90	6	1	0.676	1.867	4.781	1.639	46.8	5.294	0.924	2.901	6.594	0.636
118	Cala de Mijas	Málaga	150–300	12–30	2	0.679	2.002	5.119	1.947	30.7	6.811	0.912	2.901	6.335	0.816
119	Fuengirola	Málaga	120–150	5–10	8	0.659	1.889	4.595	1.715	0.2	5.753	0.896	2.901	6.515	0.994
120	Los Boliches	Málaga	60–200	3–10	5	0.659	1.889	4.595	1.715	5.9	5.753	0.896	2.901	6.515	0.994
121	Carvajal	Málaga	60–170	4–15	5	0.659	1.889	4.595	1.715	27.5	5.753	0.896	2.901	6.515	0.619
122	Torremolinos	Málaga	100–250	5–10	5	0.667	1.93	4.546	1.767	4.0	5.84	0.831	2.901	6.676	0.731
123	Alamos	Málaga	80–120	5–10	4	0.667	1.93	4.546	1.767	7.6	5.84	0.831	2.901	6.676	0.731
124	Cala del Moral	Málaga	650	30–50	3	0.644	1.838	4.683	1.563	47.7	5.337	0.831	2.901	6.524	1.025
125	Cala del Moral2	Málaga	100–120	5–10	1	0.644	1.838	4.683	1.563	34.2	5.337	0.831	2.901	6.524	1.025
126	Rincón de la Victoria	Málaga	450–1000	15–30	2	0.679	1.9	4.279	1.687	51.7	5.245	0.821	2.901	6.921	0.912

Tabla 5.1 – Continuación

No.	Denominación	Provincia	Longitud de onda λ (m)	Amplitud A (m)	Tipo	H_s (m)	$H_{s95\%}$ (m)	T_p (s)	FE (kW/m)	dFE (°)	H_{s50} (m)	RM (m)	MSL (cm)	$MM95\%$ (cm)	Ir
127	Rincón de la Victoria2	Málaga	60–400	4–20	2	0.692	1.915	4.258	1.755	55.5	5.409	0.813	2.901	6.921	0.899
128	Torrox	Málaga	80–150	5–15	4	0.658	1.768	4.384	1.353	7.5	4.423	0.8	2.901	6.827	1.313
129	Motril	Granada	100–115	5–10	6	0.553	1.382	4.475	0.871	-43.1	4.036	0.771	2.901	6.544	1.326
130	Carchuna	Granada	400–750	20–60	2	0.747	1.814	4.495	1.6	40.7	4.468	0.769	2.901	6.544	1.741
131	Adra	Almería	100–300	5–15	5	0.656	1.424	4.756	1	-17.6	4.269	0.677	2.901	6.009	1.560
132	Guardias Viejas	Almería	160	15	11	0.814	1.819	5.412	1.725	-41.4	5.122	0.649	2.901	5.672	1.322
133	Guardias Viejas2	Almería	350–420	10–30	7	0.892	2.028	5.769	2.238	22.6	5.238	0.633	2.234	5.516	1.346
134	San Agustín	Almería	170–350	5–15	5	0.901	2.018	5.106	2.266	12.3	4.445	0.618	2.234	5.516	0.706
135	San Agustín2	Almería	750–1000	40–60	5	0.901	2.018	5.106	2.266	26.2	4.445	0.618	2.234	5.516	0.706
136	Los Bajos	Almería	370–450	10–20	5	0.527	1.234	4.365	0.576	0.5	2.844	0.588	2.234	5.242	1.190
137	Los Bajos2	Almería	100–250	7–16	4	0.527	1.234	4.365	0.576	1.1	2.844	0.588	2.234	5.242	1.190
138	Villaricos	Almería	100–130	10–15	8	0.678	1.581	4.566	1.268	17.2	4.947	0.572	2.234	5.781	0.851
139	Almadrava	Alicante	130	3–6	11	0.985	1.863	5.835	2.364	-58.4	5.681	0.39	2.172	9.156	1.968
140	Deveses	Alicante	185–200	10	1	0.985	1.863	5.835	2.364	-5.3	5.681	0.39	2.172	9.156	0.514
141	Perellonet	Valencia	120–175	5–15	5	0.715	1.592	5.479	1.483	6.1	5.648	0.371	2.172	9.643	0.566
142	Perellonet2	Valencia	60–130	6–10	8	0.715	1.592	5.479	1.483	3.8	5.648	0.371	2.172	9.643	0.566
143	Gavines	Valencia	75–180	8–15	4	0.713	1.568	5.373	1.437	8.3	5.468	0.375	2.172	9.814	0.556
144	El Saler	Valencia	130–200	7–15	9	0.713	1.568	5.373	1.437	8.6	5.468	0.375	2.172	9.814	0.696
145	Mijares	Castellón	85–200	5–12	5	0.695	1.56	5.26	1.483	41.3	5.828	0.31	2.094	10.621	1.532
146	Sierra de Irta	Castellón	100	10	1	0.705	1.586	4.712	1.305	69.0	4.881	0.31	2.094	9.653	2.144
147	Benicarló	Castellón	175	10	11	0.725	1.598	4.459	1.308	24.5	4.539	0.31	2.094	9.872	0.572
148	Benicarló2	Castellón	320	15	6	0.725	1.598	4.459	1.308	41.8	4.539	0.31	2.094	9.872	1.272
149	Delta Ebro	Tarragona	250–350	15–25	5	0.688	1.412	4.327	1.003	-66.8	3.847	0.31	2.034	9.611	0.685
150	Pals	Gerona	200–300	10–15	8	0.962	2.474	5.061	3.35	32.3	8.184	0.422	2.098	9.174	0.564
151	Fluvia	Gerona	300–450	8–15	10	0.816	1.874	4.633	2.097	24.6	7.897	0.422	2.098	9.615	0.561

Capítulo 6

Comparativa de tipologías

6.1. Análisis según las longitudes de onda

Se realiza una tabla de doble entrada indicando la cantidad de ondulaciones de la línea de costa identificadas según intervalos de longitud de onda y según tipologías. También se elabora una gráfica de mínimos, máximos y cantidad de ondulaciones en cada tipología.

λ (m) \ Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
30–200	16	1	-	15	14	5	-	11	1	10	29	2	1	7	112
200–350	2	7	2	8	19	3	2	5	1	4	10	3	1	5	72
350–500	-	9	1	4	8	-	1	1	1	4	2	2	1	4	38
500–650	-	7	-	2	1	-	-	-	1	-	3	3	2	4	23
650–850	-	3	2	-	2	-	1	-	-	1	-	-	-	3	12
850–1000	-	4	1	-	1	-	-	-	-	1	-	3	1	-	11
1000–1300	-	1	-	-	3	-	-	-	-	-	1	4	1	1	11
1500–1800	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	4
1800–2000	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3
2000–2300	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2
2300–2500]	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	2	5
5000	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Total	18	36	7	29	49	9	5	18	4	20	46	19	8	26	294

Tabla 6.1: Distribución de ondulaciones de la línea de costa según tipologías e intervalos de λ (150–300 m).

6.1.1. Estudio de criterios de simetría

Primero se estudian las relaciones existentes según los criterios de simetría establecidos para las distintas tipologías (tabla 4.1).

Igual λ e Igual H

Estos criterios de simetría se presentan en las tipologías 1, 3 y 6. En la tabla 6.1 se observa que las tipologías 1 y 6 corresponden a ondulaciones de la línea de costa con longitudes de onda pequeñas. En el caso de las ondulaciones de tipo #1, el 89% presenta

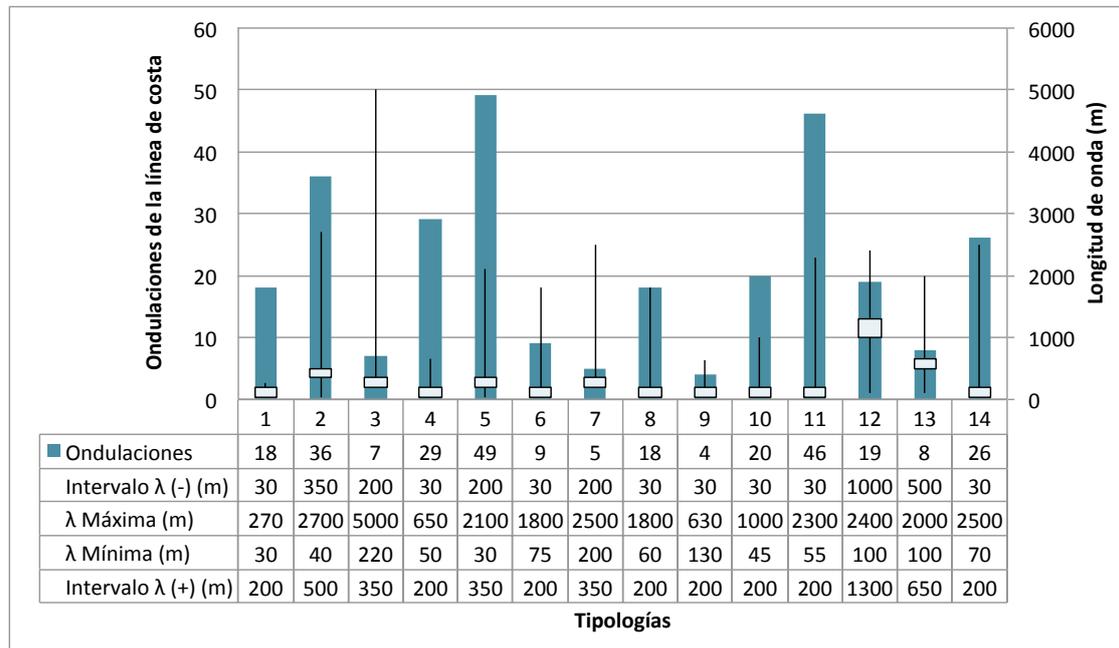


Figura 6.1: Características de las distintas tipologías.

λ entre 30–200 m y el 100 % presenta λ menores a 350 metros. En el caso de la tipología 6, el 56 % está entre 30–200 m y el 89 % presenta longitudes menores a 350 m. Las tipologías 1 y 6 también tienen en común que presentan el criterio de $A_c = A_s$. En la figura 6.1 se observa que estas dos tipologías tienen el mismo intervalo predominante de λ de 50–200 m. Como vemos en la tabla 6.1 y en la figura 6.1, la tipología 3 es la que abarca el mayor rango de longitudes de onda ya presenta un mínimo de 220 m y un máximo de 5000 m.

Sumando la cantidad de ondulaciones de la línea de costa identificadas dentro de las tipologías 1, 3 y 6 obtenemos 34 ondulaciones, lo que representa un 11.6 % de las 294 ondulaciones identificadas. Considerando solo las ondulaciones de las tipologías 1–10 (ondulaciones con 2 o más sucesiones) pasan a representar un 17.4 %.

Distinta λ y Distinta H

Esos criterios se presentan en las tipologías 2, 4, 5 y 7. Se observa en la tabla 6.1 y en la figura 6.1 que las ondulaciones de estas tipologías se reparten a lo largo de varios intervalos de longitud de onda desde 30 hasta 2500 m aunque predominan los intervalos menores a 650 metros. En el caso de las ondulaciones de tipo #2, el intervalo predominante es el de 350–500 m. El 47 % de las ondulaciones de esta tipología están dentro del intervalo 50–500 m y el 39 % en el intervalo 500–1000 m. En las ondulaciones de tipo #4 y #5, el intervalo predominante es el de 30–350 m; el 79 % de las ondulaciones de tipo #4 y el 67 % en el caso de las de tipo #5 están dentro del intervalo 30–500 m.

Se observa que las tipologías 2, 4 y 5 son de las tipologías con más ondulaciones después de la tipología 11. Juntas, las tipologías 2, 4, 5 y 7 tienen 119 ondulaciones de la línea de costa lo que representa un 40.5 % de las ondulaciones identificadas en este proyecto. Considerando las ondulaciones de la línea de costa con 2 o más sucesiones, se tiene que el 61.1 % presentan los criterios *distinta λ* y *distinta H* .

Distinta λ e Igual H

Estos criterios los presentan las tipologías 8, 9 y 10. Las ondulaciones de la línea de costa de tipo #8 y #10 presentan en un 90% ondulaciones con λ menores a 500 metros. En estas tipologías el intervalo predominante es el de 30–200 m. Las ondulaciones de tipo #9 presentan longitudes dentro del intervalo 30–650 m. Estas tipologías juntas presentan 42 ondulaciones de la línea de costa lo que representa el 14.3% de las 294 ondulaciones o el 21.5% considerando solo aquellas con 2 o más sucesiones.

$$\lambda_c = \lambda_s \text{ y } A_c = A_s$$

Estos criterios de la ondulación unitaria están presentes en las tipologías 1, 4, 8 y 11. En estas tipologías el intervalo predominante es el de 30–200 metros. figura 6.1 que juntas, estas 4 tipologías suman un total de 111 ondulaciones, lo que representa un 37.8% de la totalidad de las ondulaciones de la línea de costa identificadas.

$$\lambda_c \neq \lambda_s \text{ y } A_c \neq A_s$$

Al estudiar las ondulaciones unitarias de la línea de costa, las tipologías 2, 3, 9 y 12 mostraban estas características. Estas tipologías no presentan claramente un intervalo de λ predominante ya que las ondulaciones identificadas se reparten uniformemente a lo largo de varios intervalos. Las tipologías 2 y 12 presentan valores similares de λ máxima. Estas 4 tipologías presentan juntas un total de 66 ondulaciones de la línea de costa lo que representa el 22.5% de las ondulaciones de la línea de costa identificadas.

$$\lambda_c \neq \lambda_s \text{ y } A_c = A_s$$

Estos criterios están presentes en las tipologías 5, 6, 10 y 14. En el caso de las tipologías 5, 6 y 10 la mayoría de las ondulaciones presentan longitudes de onda menores a 350 metros. Si estudiamos la cantidad de ondulaciones en el intervalo 30–350 m, se obtiene el 67% en el caso de la tipología 5, el 89% en la tipología 6, el 70% en la tipología 10 y el 46% en la tipología 14. Estas 4 tipologías presentan juntas un total de 104 ondulaciones de la línea de costa lo que representa el 35.4% de las ondulaciones identificadas.

$$\lambda_c = \lambda_s \text{ y } A_c \neq A_s$$

Estos criterios se presentan en las tipologías 7 y 13. Se observa en la tabla 6.1 que estas dos tipologías tienen sus ondulaciones de la línea de costa repartidas a lo largo de varios intervalos de onda desde 30–200 m hasta 2300-2500 m. Estas dos tipologías suman 13 ondulaciones de la línea de costa lo que representa un 4.4% de la totalidad de las ondulaciones identificadas.

Al estudiar la simetría en λ y H se observa que las tipologías que predominan en cantidad de ondulaciones de la línea de costa son aquellas con los criterios *distinta λ* y *distinta H* . Las tipologías que tienen estos criterios son las tipologías 2, 4, 5 y 7 que como se ha mencionado antes representan un 40.5% de las ondulaciones identificadas en este proyecto o un 61.1% considerando solamente las ondulaciones con 2 o más sucesiones.

Al estudiar la simetría de las ondulaciones unitarias se observa que un 37.8% de la totalidad de las ondulaciones identificadas presentan $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ y un 35.4% presentan $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$, por lo que se puede concluir que el 73.2% de las ondulaciones presentan el criterio $A_c = A_s$.

6.1.2. Estudio de intervalos de longitud de onda

Intervalo λ 30–200 m

En la tabla 6.1 vemos que en el intervalo 30–200 m de longitud de onda predomina la tipología 11 con 29 ondulaciones; le siguen las tipologías 1, 4 y 5 con 16, 15 y 14 ondulaciones respectivamente. Como se ha mencionado ya, las tipologías 1, 4, 8 y 11 comparten los mismos criterios de simetría para la ondulación unitaria, juntas estas tipologías representan el 63 % de la totalidad de las ondulaciones identificadas dentro de este intervalo. La tipología 5 comparte con las anteriores tipologías el criterio $A_c = A_s$. Considerando las tipologías 1, 4, 5, 8 y 11 se tiene un total de 85 ondulaciones representando el 76 % de las ondulaciones dentro del intervalo 30–200 m.

Se puede concluir que en este intervalo predominan las ondulaciones de la línea de costa con características de $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ en sus respectivas ondulaciones unitarias y el 76 % presenta el criterio $A_c = A_s$.

Intervalo λ 200–350 m

Predomina la tipología 5 con 19 ondulaciones representando el 26 % de las ondulaciones en el intervalo. Después se tiene la tipología 11 con 10 ondulaciones. Como se ha mencionado, estas tipologías comparten el criterio de simetría $A_c = A_s$. De esta manera, si consideramos todas las tipologías que presentan este criterio se tiene un total de 56 ondulaciones representando el 78 % de las ondulaciones pertenecientes al intervalo 200–350 m.

Analizando los criterios de la tipología 5 y el resto de tipologías que comparten los mismos se tiene que los criterios *distinta λ* y *distinta H* los tienen también las tipologías 2, 4 y 7 teniendo así un total de 36 ondulaciones (50 % de las ondulaciones). Los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$ los presentan también las tipologías 6, 10 y 14 obteniendo un total de 31 ondulaciones (43 % de las ondulaciones del intervalo).

Intervalo λ 350–500 m

En el intervalo 350–500 m predominan las tipologías 2 y 5 con 9 y 8 ondulaciones respectivamente lo que representa el 45 % de las ondulaciones identificadas en este intervalo de longitud de onda. Estas dos tipologías comparten los criterios de *distinta λ* , *distinta H* y $\lambda_c \neq \lambda_s$.

Intervalo λ 500–650 m

En el intervalo 500–650 m predomina la tipología 2 con 7 ondulaciones representando el 30 % de las ondulaciones en este intervalo. La tipología 2 presenta los criterios de *distinta λ* , *distinta H* , $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$. Los criterios *distinta λ* y *distinta H* también los presentan las tipologías 4, 5 y 7 que junto a la tipología 2 suman un total de 10 ondulaciones (44 % de las ondulaciones). Los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$ también los presentan las tipologías 3, 9 y 12 que junto a la tipología 2 suman un total de 11 ondulaciones (48 % de las ondulaciones).

Intervalo λ 650–850 m

En el intervalo 650–850 se observa que las tipologías predominantes son la 2 y 14 con 3 ondulaciones cada una.; estas tienen en común el criterio $\lambda_c \neq \lambda_s$. Las tipologías que

presentan este criterio son la 2, 3, 5, 6, 9, 10, 12 y 14 que juntas suman un total de 11 ondulaciones representando el 92 % de las ondulaciones identificadas en este intervalo.

Intervalo λ 850–1000 m

En el intervalo 850–1000 la tipología predominante es la 2 con 4 ondulaciones representando el 36 % de las ondulaciones en el intervalo. Le sigue la tipología 12 con 3 ondulaciones de la línea de costa. Las tipologías 2 y 12 presentan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$ junto a las tipologías 3 y 9. Juntas, estas tipologías suman un total de 8 ondulaciones lo que representa el 73 % de las ondulaciones identificadas en este intervalo.

Intervalo $\lambda \geq 1000$ m

Se observa en la tabla 6.1 que el 50 % de las ondulaciones con λ mayores a 1000 metros se agrupan en las tipologías 11–14 (ondulaciones unitarias), predominando la tipología 12 con un 23 %. La tipología 12 presenta los criterios de $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$. El otro 50 % corresponde a ondulaciones con 2 o más sucesiones. De estas ondulaciones predomina la tipología 2 representando el 19 % de las ondulaciones con λ mayores a 1000 metros. Las tipologías 2, 3, 9 y 12 presentan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$. Juntas, presentan un total de 12 ondulaciones lo que representa un 46 % de las ondulaciones con longitudes de onda mayores a 1000 metros.

6.2. Análisis según la relación A/λ

Se realiza una comparativa entre las distintas tipologías atendiendo a los parámetros de longitud de onda y amplitud. Se elabora un diagrama de dispersión y líneas de regresión lineal para cada una de las 14 tipologías (figura 6.2). Se observa en la figura 6.2 que en general los valores de los coeficientes de determinación lineal son buenos ya que valores de R^2 próximos a 1 indican un buen ajuste. En este caso, se tiene un mínimo de $R^2=0.55$ (tipología 1) y un máximo de $R^2=0.97$ (tipología 6).

Para ondulaciones con longitudes de onda menores a 300 metros, la tipología 3 presenta la relación menor siendo $A \approx 0.05\lambda - 3.18$ y la mayor la presenta la tipología 12 con $A \approx 0.05\lambda + 9.11$. En el caso de ondulaciones con longitudes de onda entre 300–450 metros, la tipología 10 presenta la relación menor siendo $A \approx 0.04\lambda + 1.98$ y la mayor la presenta la tipología 12 con $A \approx 0.05\lambda + 9.11$ al igual que en el caso anterior.

En el caso de ondulaciones con longitudes de onda entre 500–1000 metros, la tipología 10 presenta la relación menor siendo $A \approx 0.04\lambda + 1.98$ y la mayor la presenta la tipología 6 con $A \approx 0.08\lambda - 6.58$. Para ondulaciones con longitudes de onda mayores a 1000 metros, la tipología 8 presenta la relación menor siendo $A \approx 0.03\lambda + 4.17$ y la mayor la presenta la tipología 6 con $A \approx 0.08\lambda - 6.58$.

Se estudian las tipologías que tienen criterios de simetría en común. Se comparan las ecuaciones de las rectas de regresión lineal establecidas para cada tipología.

Igual λ e Igual H

Estos criterios están presentes en las tipologías 1, 3 y 6. De la figura 6.2 se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 1 presenta $A \approx 0,04\lambda + 2,372$ y $R^2=0.55$.
- La tipología 3 presenta $A \approx 0,05\lambda - 3,18$ y $R^2=0.93$.
- La tipología 6 presenta $A \approx 0,08\lambda - 6,58$ y $R^2=0.97$.

Distinta λ y Distinta H

Las tipologías 2, 4, 5 y 7 tienen estos criterios de simetría. De la figura 6.2 se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 2 presenta $A \approx 0,05\lambda + 3,22$ y $R^2=0.70$.
- La tipología 4 presenta $A \approx 0,05\lambda + 0,53$ y $R^2=0.81$.
- La tipología 5 presenta $A \approx 0,04\lambda + 2,81$ y $R^2=0.68$.
- La tipología 7 presenta $A \approx 0,05\lambda + 1,68$ y $R^2=0.84$.

Distinta λ e Igual H

Estos criterios los presentan las tipologías 8, 9 y 10. De la figura 6.2 se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 8 presenta $A \approx 0,03\lambda + 4,17$ y $R^2=0.94$.
- La tipología 9 presenta $A \approx 0,04\lambda + 2,10$ y $R^2=0.74$.
- La tipología 10 presenta $A \approx 0,04\lambda + 1,98$ y $R^2=0.82$.

$\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$

Las tipologías 1, 4, 8 y 11 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. De la figura 6.2 se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 1 presenta $A \approx 0,04\lambda + 2,372$ y $R^2=0.55$.
- La tipología 4 presenta $A \approx 0,05\lambda + 0,53$ y $R^2=0.81$.
- La tipología 8 presenta $A \approx 0,03\lambda + 4,17$ y $R^2=0.94$.
- La tipología 11 presenta $A \approx 0,08\lambda - 3,81$ y $R^2=0.90$.

$\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$

Al estudiar las ondulaciones unitarias, las tipologías 2, 3, 9 y 12 mostraban estas características. Se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 2 presenta $A \approx 0,05\lambda + 3,22$ y $R^2=0.70$.
- La tipología 3 presenta $A \approx 0,05\lambda - 3,18$ y $R^2=0.93$.
- La tipología 9 presenta $A \approx 0,04\lambda + 2,10$ y $R^2=0.74$.
- La tipología 12 presenta $A \approx 0,05\lambda + 9,11$ y $R^2=0.56$.

$\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$

Las tipologías 5, 6, 10 y 14 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. Se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 5 presenta $A \approx 0,04\lambda + 2,81$ y $R^2=0.68$.
- La tipología 6 presenta $A \approx 0,08\lambda - 6,58$ y $R^2=0.97$.
- La tipología 10 presenta $A \approx 0,04\lambda + 1,98$ y $R^2=0.82$.
- La tipología 14 presenta $A \approx 0,04\lambda + 5,28$ y $R^2=0.82$.

$\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$

Las tipologías 7 y 13 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. De la figura 6.2 se obtienen las siguientes ecuaciones de las rectas de regresión lineal:

- La tipología 7 presenta $A \approx 0,05\lambda + 1,68$ y $R^2=0.84$.
- La tipología 13 presenta $A \approx 0,06\lambda + 2,57$ y $R^2=0.87$.

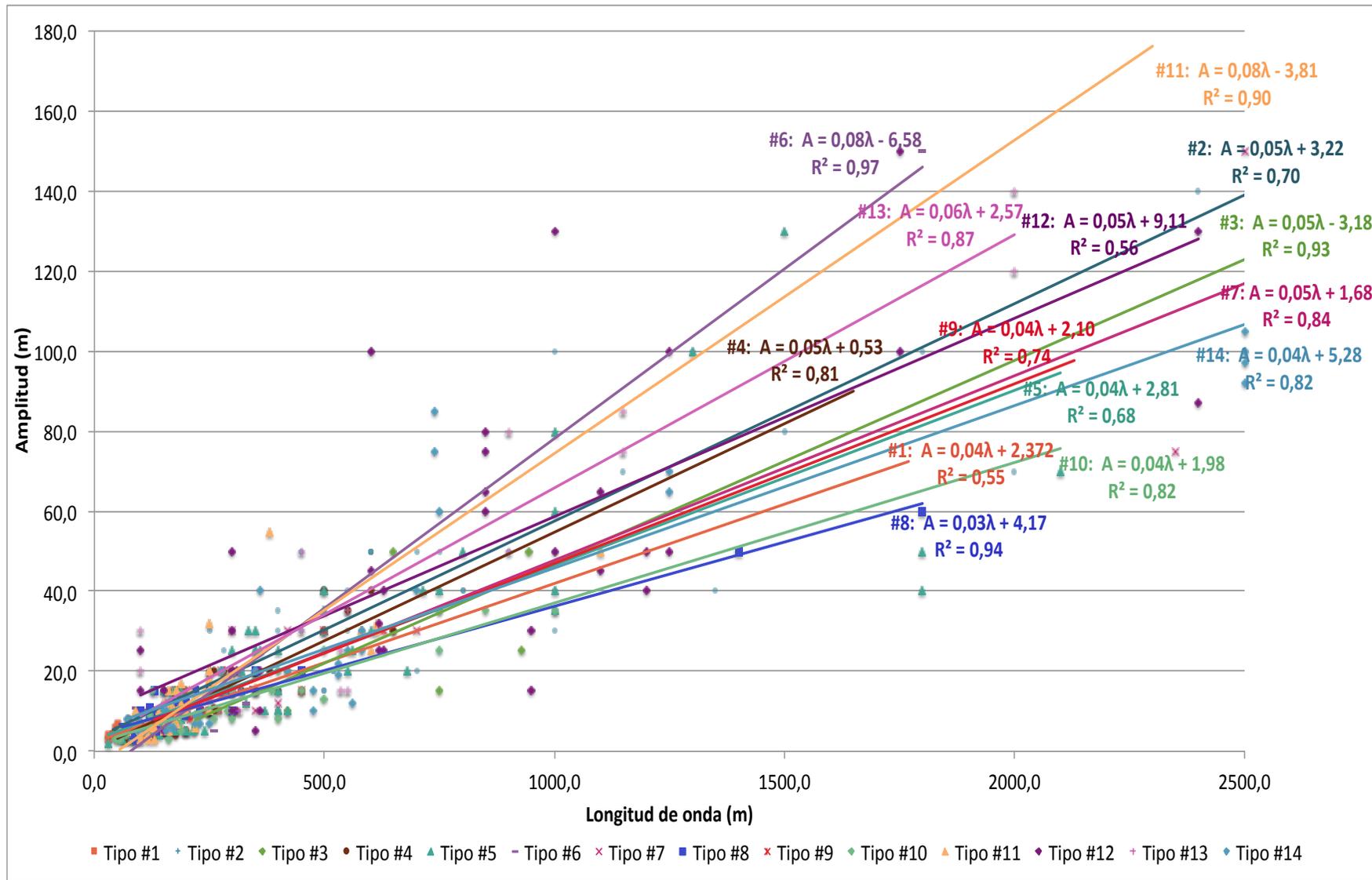


Figura 6.2: Gráfica de dispersión λ frente A según las distintas tipologías.

6.3. Análisis según el número de sucesiones

Se comparan las tipologías según el número de sucesiones que presentan.

Suces.	Tipo														Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	19	8	26	99
2	13	11	5	8	13	6	3	10	1	11	-	-	-	-	81
3	4	9	1	4	16	1	-	2	1	5	-	-	-	-	43
4	-	4	1	3	4	1	-	2	1	2	-	-	-	-	18
5	-	5	-	2	3	1	-	1	1	2	-	-	-	-	15
6	-	-	-	3	4	-	2	1	-	-	-	-	-	-	10
7	1	2	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
8	-	-	-	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
9	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
10	-	-	-	1	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	5
>10	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
>15	-	2	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Total	18	36	7	29	49	9	5	18	4	20	46	19	8	26	294

Tabla 6.2: Distribución de ondulaciones según tipologías y número de sucesiones.

Solamente tiene sentido estudiar la relación entre número de sucesiones y tipologías en las tipologías 1–10 ya que las tipologías 11–14 corresponden a ondulaciones unitarias. Se observa en la tabla 6.2 que predominan las ondulaciones con 2 sucesiones para la mayoría de las tipologías, salvo para la tipología 5 en la que la mayoría son ondulaciones con 3 sucesiones.

Se agrupan las tipologías según los criterios de simetría en común y se estudia el porcentaje de ondulaciones que se presentan según estos y el número de sucesiones.

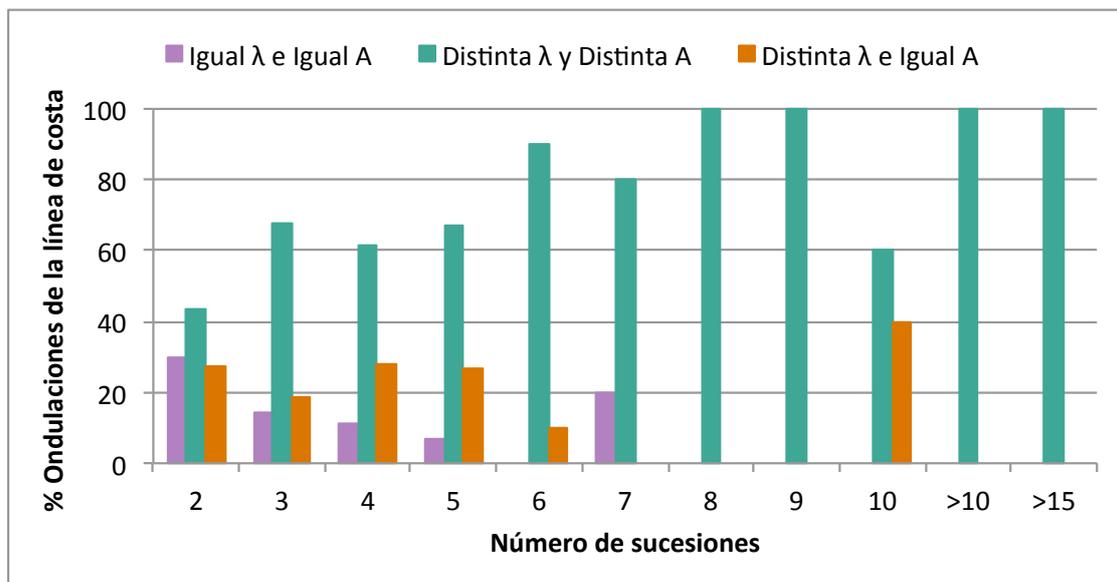


Figura 6.3: Porcentaje de ondulaciones según criterios de simetría y número de sucesiones.

Se observa en la figura 6.3 que lo más frecuente son los criterios de simetría distinta λ y distinta H . En las ondulaciones con un número reducido de sucesiones se presenta una división más uniforme mientras que en las ondulaciones con un alto número de sucesiones (más de seis) dominan claramente las tipologías con criterios *distinta λ y distinta H* .

En el caso de las ondulaciones con dos sucesiones, las predominantes en todas las tipologías, se tiene:

- El 29.6 % presenta los criterios *igual λ e igual H* .
- El 43.2 % presenta los criterios *distinta λ y distinta H* .
- El 27.2 % presenta los criterios *distinta λ e igual H* .

Se estudia el porcentaje de ondulaciones según los criterios de simetría en la ondulación unitaria y el número de sucesiones. Se observa en la figura 6.4 que en el caso de las ondulaciones con pocas sucesiones predominan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$ mientras que en las ondulaciones con un alto número de sucesiones predominan $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$.

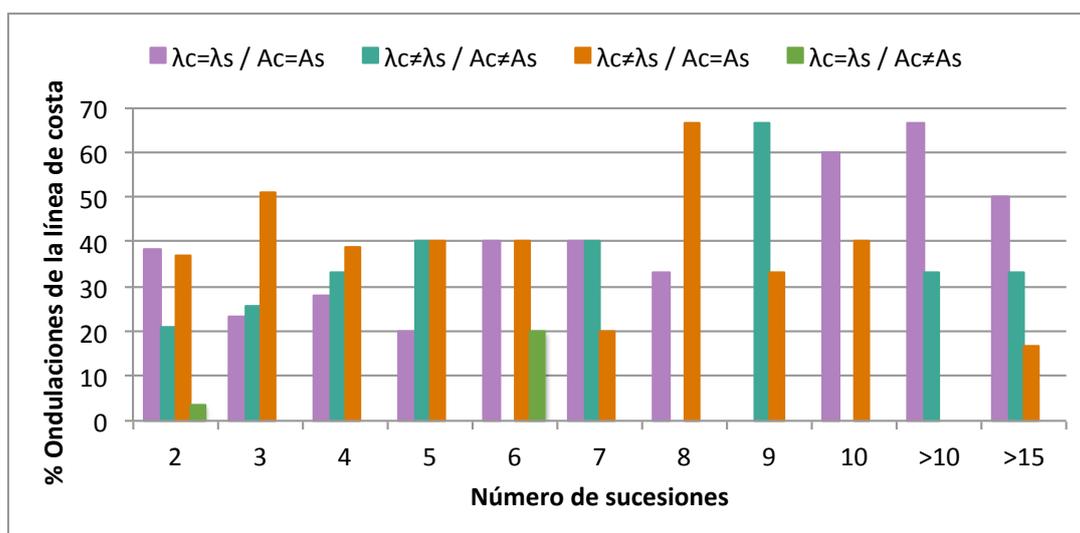


Figura 6.4: Porcentaje de ondulaciones según criterios de simetría en la ondulación unitaria y número de sucesiones.

6.4. Análisis según el tipo de tramo

Se estudian las tipologías que se presentan en cada tipo de tramo de costa.

Tramo \ Tipo	Tipo														Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Desembocadura	5	9	-	4	6	3	1	2	-	1	17	13	6	7	74
Tramo Curvo	9	12	4	6	21	4	3	6	2	8	16	6	2	12	111
Tramo Recto	4	15	3	19	22	2	1	10	2	11	13	-	-	7	109
Total	18	36	7	29	49	9	5	18	4	20	46	19	8	26	294

Tabla 6.3: Distribución de ondulaciones según tipologías y tipo de tramo.

Desembocaduras

Se observa en la tabla 6.3 que en desembocaduras predominan las tipologías 11–14, es decir las tipologías correspondientes a ondulaciones unitarias, algo que ya se ha mencionado anteriormente. En concreto predomina la tipología 11 la cual presenta los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ con un 23% de las ondulaciones. Si consideramos todas las tipologías que presentan estos dos criterios (tipologías 1, 4, 8 y 11) se tiene un total de 28 ondulaciones representando un 37.8% de las ondulaciones en desembocaduras. Si estudiamos las tipologías que presentan $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$ (tipologías 2, 3, 9 y 12) se tiene un total de 22 ondulaciones representando el 29.7% de las ondulaciones en desembocaduras.

Tramos Curvos

Estudiamos primero las tipologías correspondientes a ondulaciones con dos o más sucesiones. Predomina la tipología 5 con 21 ondulaciones y le sigue la 2 con 12 ondulaciones. Analizando las tipologías que tienen los criterios distinta λ y distinta H (tipologías 2, 4, 5 y 7) tenemos un total de 42 ondulaciones lo que representa un 38.7% de las ondulaciones en tramos curvos y un 56% si se consideran solamente aquellas que presentan 2 o más sucesiones.

Estudiando los criterios de simetría en las ondulaciones unitarias, vemos que predomina la tipología 11 con 16 ondulaciones y le sigue la 14 con 12 ondulaciones. Las tipologías 1, 4, 8 y 11, las cuales presentan los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$, suman un total de 37 ondulaciones lo que representa un 33.3% de las ondulaciones identificadas en tramos curvos. Las tipologías 5, 6, 10 y 14, las cuales presentan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$, suman un total de 45 ondulaciones lo que representa un 40.5% de las ondulaciones identificadas en tramos curvos.

Tramos Rectos

Estudiamos primero las tipologías correspondientes a ondulaciones con dos o más sucesiones. Predomina la tipología 5 con 22 ondulaciones y le sigue la 4 con 19 ondulaciones. Estudiando las tipologías que tienen los criterios distinta λ y distinta H (tipologías 2, 4, 5 y 7) tenemos un total de 57 ondulaciones lo que representa un 52.3% de las ondulaciones en tramos rectos.

Estudiando los criterios de simetría en las ondulaciones unitarias, vemos que predomina la tipología 11 con 13 ondulaciones y le sigue la 14 con 12 ondulaciones. Las tipologías 1, 4, 8 y 11, las cuales presentan los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$, suman un total de 46 ondulaciones lo que representa un 42.2% de las ondulaciones identificadas en tramos rectos.

6.5. Análisis según obras artificiales o accidentes

Se clasifican las ondulaciones según tipologías y se estudia el porcentaje de estas que presentan algún tipo de obstáculo en sus proximidades.

Se observa en la figura 6.5 que para la mayoría de tipologías, la cantidad de ondulaciones que presenta algún tipo de obra artificial o accidente en sus proximidades es muy parecida a la cantidad de ondulaciones que no presenta ningún tipo de obstáculo. En el caso de la tipología 1 predominan las ondulaciones de la línea de costa que presentan alguna obra artificial o accidente en sus proximidades alcanzando el 78% de las ondulaciones

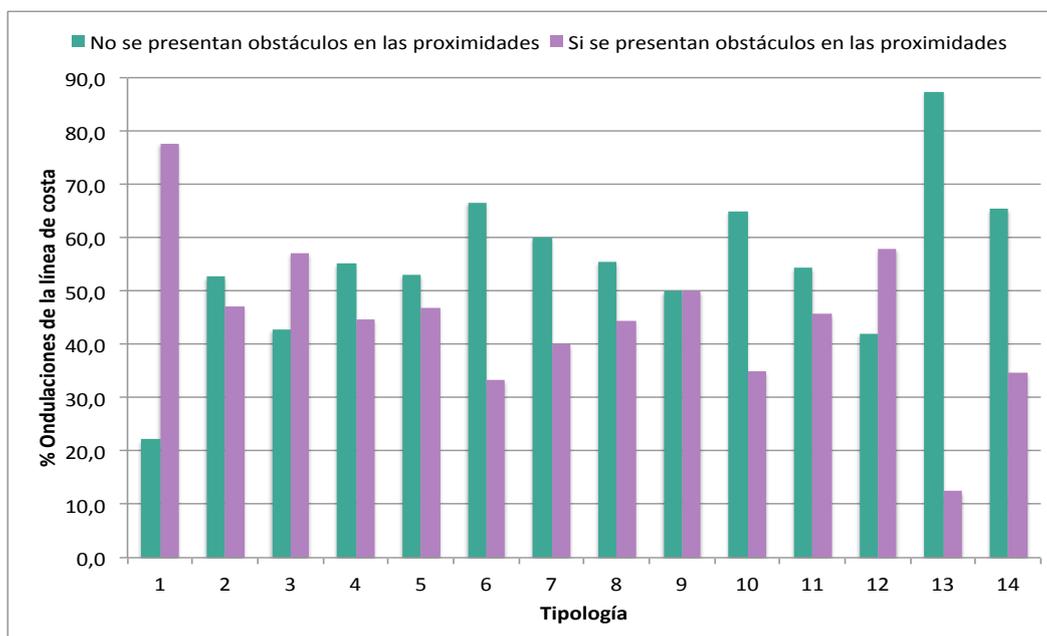


Figura 6.5: Porcentaje de ondulaciones de la línea de costa según la tipología y la presencia de obstáculos.

identificadas en esta tipología. En las tipologías 3 y 12 también predominan las ondulaciones que presentan obstáculos. En las tipologías 2, 4–8, 10–11 y 13–14 predominan las ondulaciones que no presentan ningún tipo de obstáculo en sus proximidades. Se destaca la tipología 6 donde el porcentaje de ondulaciones sin obstáculos alcanza el 67%, la tipología 10 con el 65%, la 13 con el 88% y la 14 con el 65% de las ondulaciones identificadas en cada tipología.

Estudiando solamente aquellas ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades, se clasifican según el tipo de obra artificial o accidente.

Obstáculo \ Tipo	Tipo														Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Encauzamiento	14.3	17.6	25	38.5	17.4	-	-	25	-	-	28.6	-	-	11.1	17.8
Espigón	28.6	41.2	25	23.1	52.2	-	-	-	50	-	19	36.4	100	22.2	28.9
Muelle	-	-	-	-	4.3	-	50	12.5	-	14.3	14.3	9.1	-	11.1	6.7
Puerto	14.3	11.8	-	15.4	21.7	100	50	50	-	42.9	9.5	27.3	-	22.2	21.5
Rocas	42.9	29.4	50	23.1	4.3	-	-	12.5	50	42.9	28.6	27.3	-	33.3	25.2

Tabla 6.4: Porcentaje de ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades clasificadas según tipologías y tipo de obstáculo.

Se observa en la tabla 6.4 que en la tipología 4 predominan aquellas ondulaciones que presentan un encauzamiento en sus proximidades. En el caso de las tipologías 2, 5, 12 y 13 predominan las ondulaciones que presentan espigones en las proximidades de la línea de costa. En las tipologías 6 y 8 predomina la presencia de puertos. En el caso de las tipologías 1, 3 y 14 predomina la presencia de rocas. En las tipologías 7, 9–11 no predomina ningún tipo específico de obstáculo.

Se presenta el porcentaje de las ondulaciones de la línea de costa pertenecientes a cada tipología clasificadas según la distancia d al obstáculo.

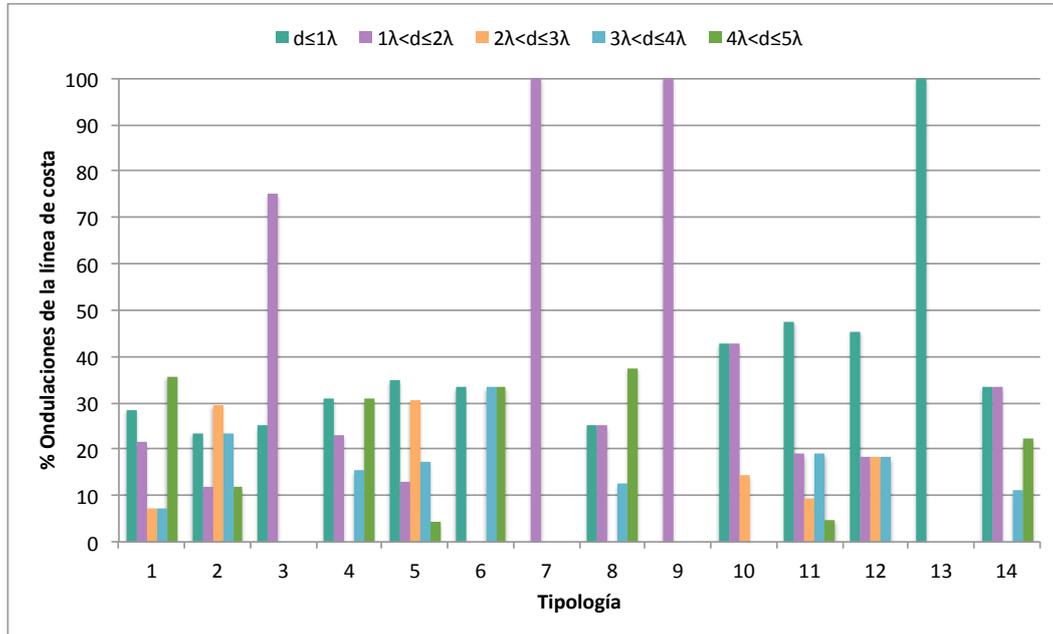


Figura 6.6: Porcentaje de ondulaciones que presentan obstáculos en sus proximidades clasificadas según tipología y distancia d a obstáculo.

6.5.1. Estudio de rangos de distancia

Se observa en la figura 6.6 que en las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 11–14 (ondulaciones unitarias) y que presentan algún obstáculo en sus proximidades, predomina que éste se presente a una distancia $d \leq 1\lambda$. El intervalo de distancia $d \leq 1\lambda$ también predomina en las tipologías 4–6 y 10. Estas Las tipologías tienen en común el criterio $A_c = A_s$. El intervalo de distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$ es predominante en el caso de las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 3, 7, 9 y 10. Las tipologías 3, 7 y 9 presentan el criterio $A_c \neq A_s$. El intervalo de distancia $4\lambda < d \leq 5\lambda$ predomina en las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 1, 4, 6 y 8 aunque en el caso de las tipologías 4 y 6 hay más de un intervalo predominante. Las tipologías 1, 4 y 8 tienen en común los criterios de simetría $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$. Las tipologías 1, 6 y 8 tienen en común los criterios Igual H y $A_c = A_s$.

6.5.2. Estudio de criterios de simetría

Igual λ e Igual H

Estos criterios están presentes en las tipologías 1, 3 y 6. De las ondulaciones de las tipologías 1 y 3 que presentan un obstáculo en sus proximidades, aproximadamente el 50% presentan rocas. Las ondulaciones de la tipología 6 que presentan un obstáculo, este es un puerto en todos los casos. En la figura 6.6 se observa que en el caso de las ondulaciones de tipo 1, el 35% de los obstáculos se presentan a una distancia $4\lambda < d \leq 5\lambda$. En la tipología 3 predomina la distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$. En el caso de la tipología 6, los puertos se encuentran igualmente repartidos a las distancias $d \leq 1\lambda$, $3\lambda < d \leq 4\lambda$ y $4\lambda < d \leq 5\lambda$ de las ondulaciones de la línea de costa.

Distinta λ y Distinta H

Las tipologías 2, 4, 5 y 7 presentan estos criterios. En el caso de las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 2 y 5, aproximadamente el 50 % de los casos presentan espigones. En la tipología 4, el 39 % de los casos presentan encauzamientos y el 23 % presenta espigones. Si se estudia la distancia de la ondulación al obstáculo, se tiene que en las tipologías 4 y 5 predomina el rango $d \leq 1\lambda$ y en la tipología 2 predomina el rango $2\lambda < d \leq 3\lambda$. En el caso de las ondulaciones de la tipología 7 que presentan un obstáculo en sus proximidades, el 50 % presentan muelles y el otro 50 % presenta puertos. En el 100 % de los casos, el obstáculo se presenta a una distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$.

Distinta λ e Igual H

Estos criterios los presentan las tipologías 8, 9 y 10. En el caso de las ondulaciones de la tipología 8 que presentan algún tipo de obstáculo, el 50 % de los casos presentan un puerto y el 38 % de los obstáculos están a una distancia $4\lambda < d \leq 5\lambda$ de la ubicación de la ondulación. En el caso de las ondulaciones de la tipología 9, en el 50 % de las que presentan un obstáculo este es un muelle y el otro 50 % se trata de un puerto. En el 100 % de los casos, el muelle o puerto se encuentra a una distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$ de la ondulación de la línea de costa. En el caso de las ondulaciones de la tipología 10 que presenta un obstáculo en sus proximidades, el 43 % presenta rocas a una distancia $d \leq 1\lambda$.

 $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$

Las tipologías 1, 4, 8 y 11 presentan estos criterios de simetría. En las ondulaciones de tipo 1, el 35 % de los obstáculos se presentan a una distancia $4\lambda < d \leq 5\lambda$. En el caso de las ondulaciones de tipo 8 es el 38 %. En el caso de las ondulaciones de tipo 4, un 31 % se presenta a distancia $d \leq 1\lambda$ y otro 31 % a una distancia $4\lambda < d \leq 5\lambda$. En las ondulaciones pertenecientes a la tipología 11 predomina la distancia $d \leq 1\lambda$.

Las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ y que presentan una obra artificial o accidente en sus proximidades, lo presentan en su mayoría a una distancia $d \leq 1\lambda$ o $4\lambda < d \leq 5\lambda$.

 $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$

Al estudiar las ondulaciones unitarias, las tipologías 2, 3, 9 y 12 mostraban estas características. En el caso de las ondulaciones pertenecientes a la tipología 2 el 30 % de las que presentan algún obstáculo lo hacen a una distancia $2\lambda < d \leq 3\lambda$. En la tipología 3, más del 70 % de las ondulaciones que presentan un obstáculo lo hacen a una distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$; en el caso de la tipología 9 se trata del 100 %. En la tipología 12, el 45 % de los casos que presentan una obra artificial o accidente lo hacen a una distancia $d \leq 1\lambda$ de la ondulación de la línea de costa.

Las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$ y que presentan una obra artificial o accidente en sus proximidades, lo presentan en su mayoría a una distancia $d \leq 3\lambda$.

 $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$

Las tipologías 5, 6, 10 y 14 presentan estos criterios de simetría. En el caso de la tipología 5, el 35 % de las ondulaciones que presentan un obstáculo lo hacen a una distancia

$d \leq 1\lambda$. En el caso de la tipología 6, los puertos se encuentran igualmente repartidos a las distancias $d \leq 1\lambda$, $3\lambda < d \leq 4\lambda$ y $4\lambda < d \leq 5\lambda$ de las ondulaciones de la línea de costa. En el caso de las ondulaciones de la tipología 10 que presenta un obstáculo en sus proximidades, el 43 % lo presentan a una distancia $d \leq 1\lambda$ y otro 43 % a una distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$. En el caso de las ondulaciones de tipología 14 se trata de un 33 %.

$\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$

Las tipologías 7 y 13 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. En las ondulaciones pertenecientes a la tipología 7 que presentan un obstáculo en sus proximidades, el 100 % de los casos lo presenta a una distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$. En la tipología 13 se trata de una distancia de $d \leq 1\lambda$. Las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$ y que presentan una obra artificial o accidente en sus proximidades, lo presentan a una distancia $d \leq 2\lambda$.

6.6. Análisis según topografía y batimetría

Se observa en la figura 6.7 que la costa andaluza del Mar Mediterráneo presenta las mayores pendientes de la zona de estudio y bastantes acantilados. En esta zona se presentan en un 32 % ondulaciones de tipo 5. Si consideramos todas las tipologías que presentan los criterios *distinta λ* y *distinta H* (tipologías 2, 4, 5 y 7) tenemos un 64 % de las ondulaciones identificadas en esta zona.

La costa italiana presenta también pendientes mayores que las otras zonas de estudio. Respecto a la topografía, presenta más llanura que Andalucía. En esta zona predominan las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 4, 11 y 5. Si consideramos todas las tipologías que presentan el criterio $A_c = A_s$ (tipologías 1, 4–6, 8, 10–11 y 14) se tiene un 86 % de las ondulaciones identificadas en la costa italiana. Respecto a la costa portuguesa, presenta pendientes y relieve parecidos a la costa italiana. En este caso predominan las ondulaciones pertenecientes a la tipología 2 con un 33 % de las ondulaciones identificadas en Portugal. Considerando las tipologías que presentan los criterios *distinta λ* y *distinta H* se tiene un 62 % de las ondulaciones en Portugal.

En el Golfo de Vizcaya, se presentan playas con pendientes mucho menores. En el caso de las ondulaciones en España, ambas pertenecen a la tipología 14 la cual presenta los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$. En el caso de las ondulaciones en Francia, predominan las tipologías 2, 5 y 11. Las tipologías 2 y 5 presentan los criterios *distinta λ* y *distinta H* y juntas representan el 38 % de las ondulaciones identificadas en la costa francesa del Golfo de Vizcaya.

La zona del Mar de Irlanda presenta muy poca pendiente y bastantes acantilados. En esta zona predominan las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 2 y 12 representando el 82 % de las ondulaciones identificadas en el Mar de Irlanda. Estas dos tipologías presentan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$.

La zona de los estrechos Skagerrak, Kattegat y Mar Báltico es una zona muy llana y las playas son de muy poca pendiente. En el Kattegat predominan las ondulaciones de tipo 11 seguidas de las tipo 14. En el Mar Báltico predominan las ondulaciones de tipo 5. Estas tipologías tienen en común el criterio $A_c = A_s$. Si consideramos todas las tipologías que presentan este criterio se tiene un 94 % de las ondas identificadas en los estrechos Skagerrak, Kattegat y Mar Báltico.

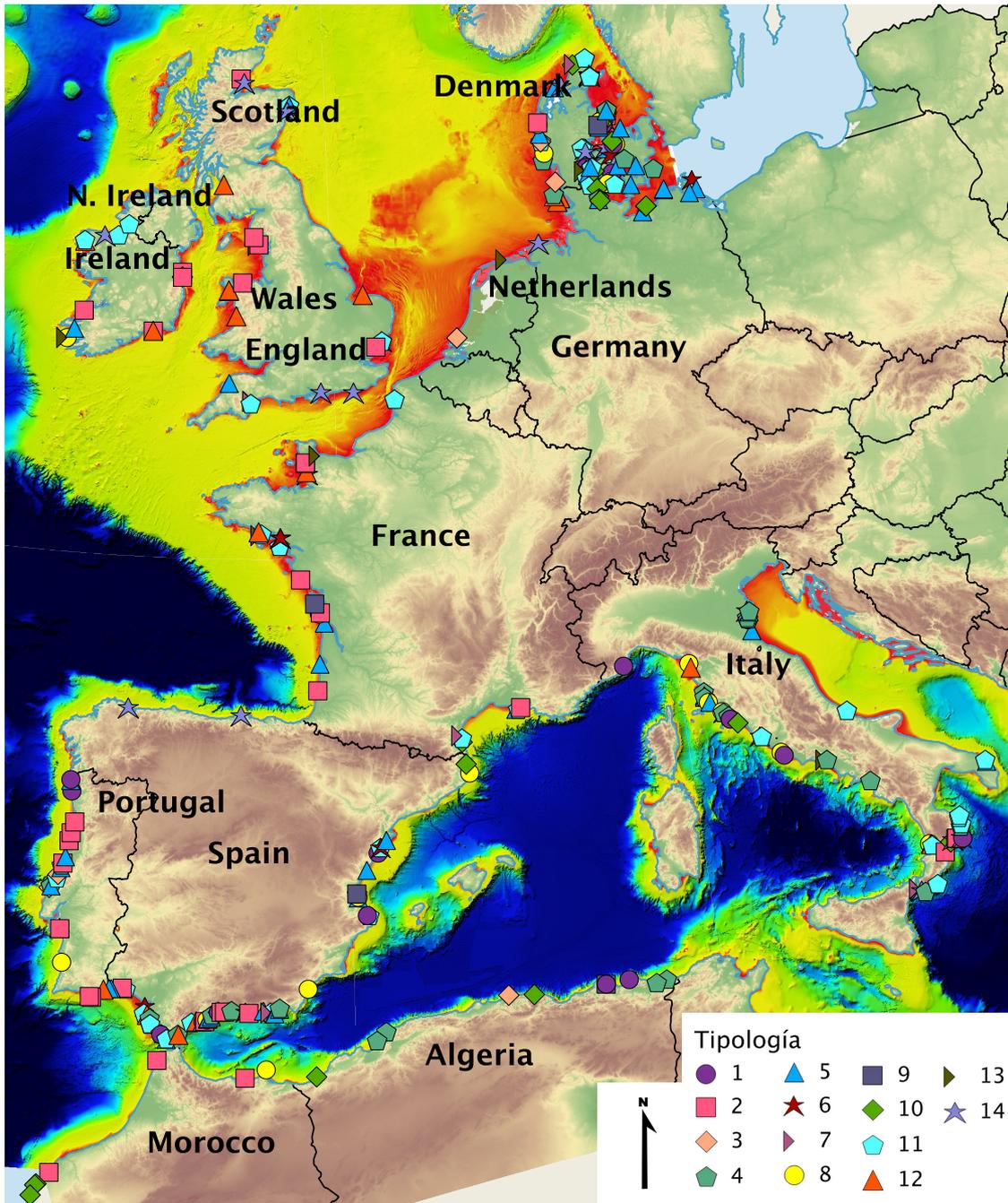


Figura 6.7: Batimetría y relieve de la zona de estudio. Ondulaciones de la línea de costa agrupadas según tipologías.

6.7. Análisis según oleaje y nivel del mar en España

Se presentan datos de oleaje y nivel del mar (Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E, 2013) para las ondulaciones de la línea de costa identificadas en España.

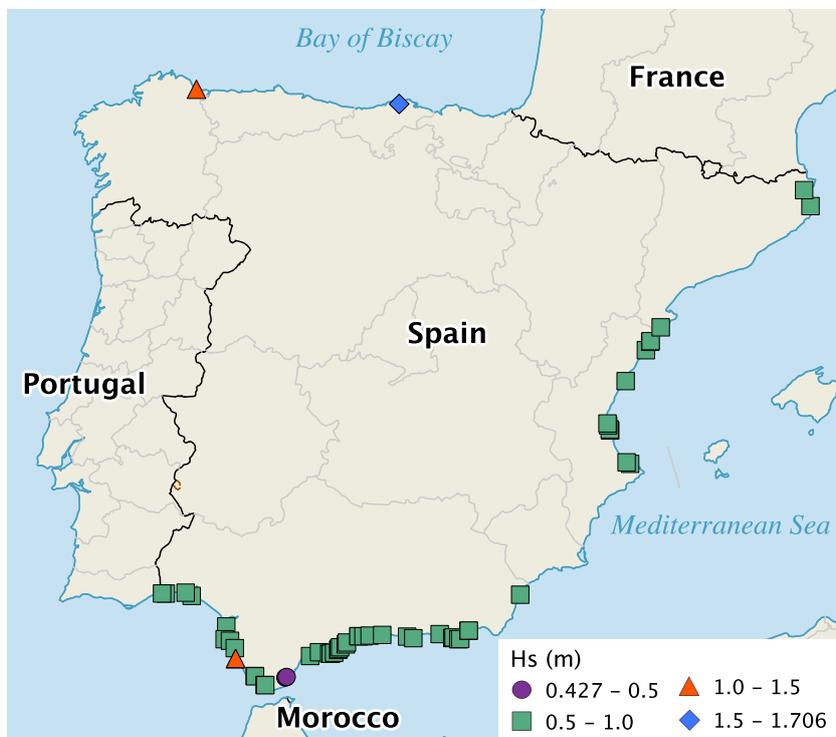


Figura 6.8: Datos de altura de ola significativa.

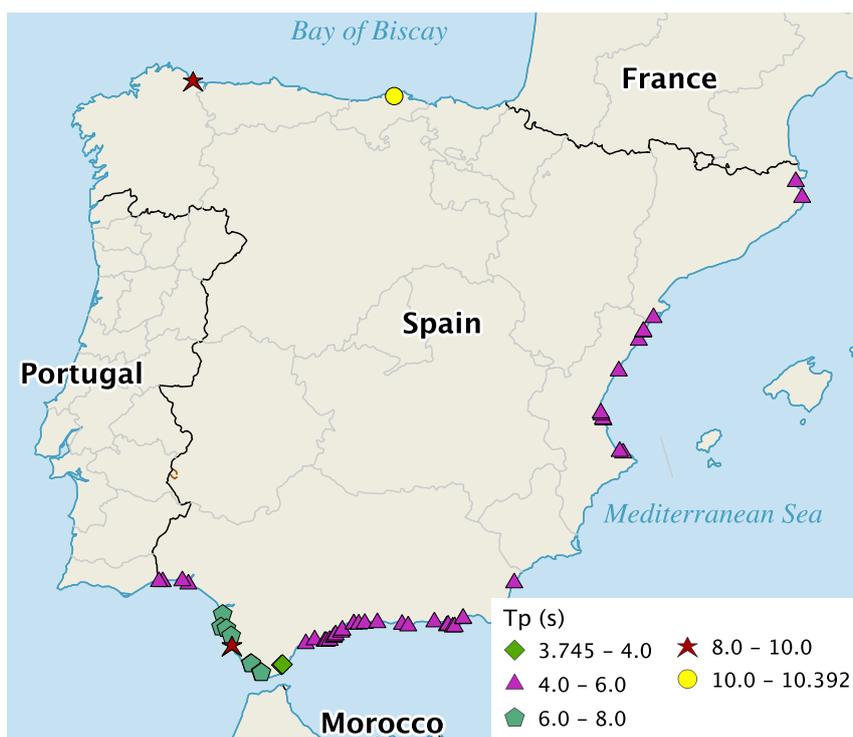


Figura 6.9: Datos de periodo pico.

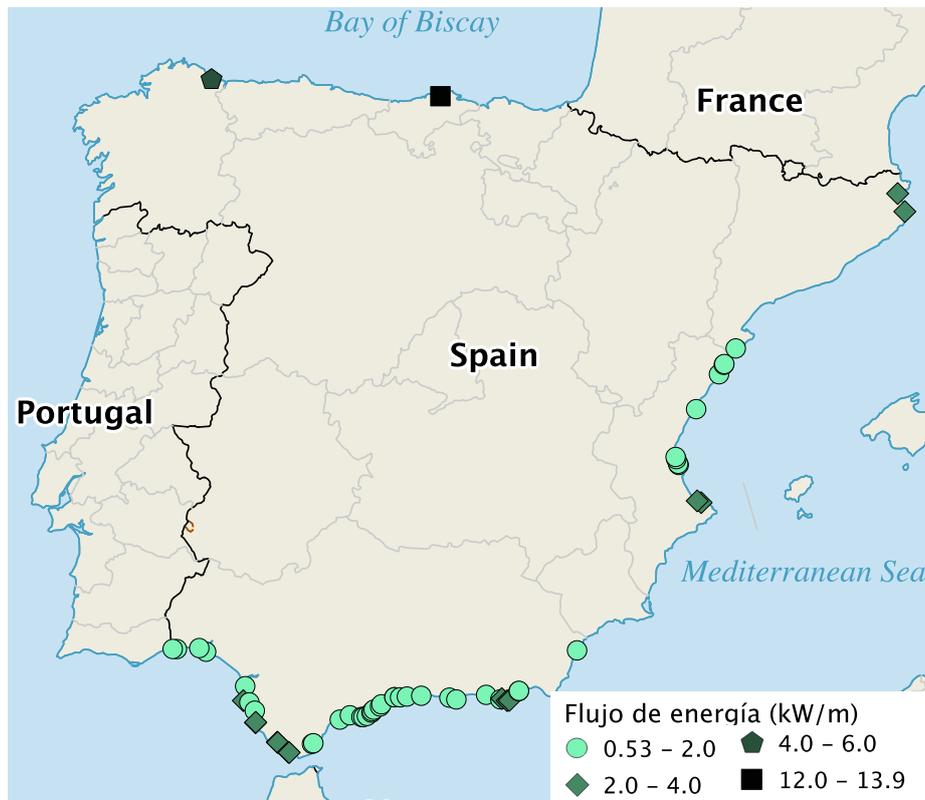


Figura 6.10: Datos de flujo medio de energía.

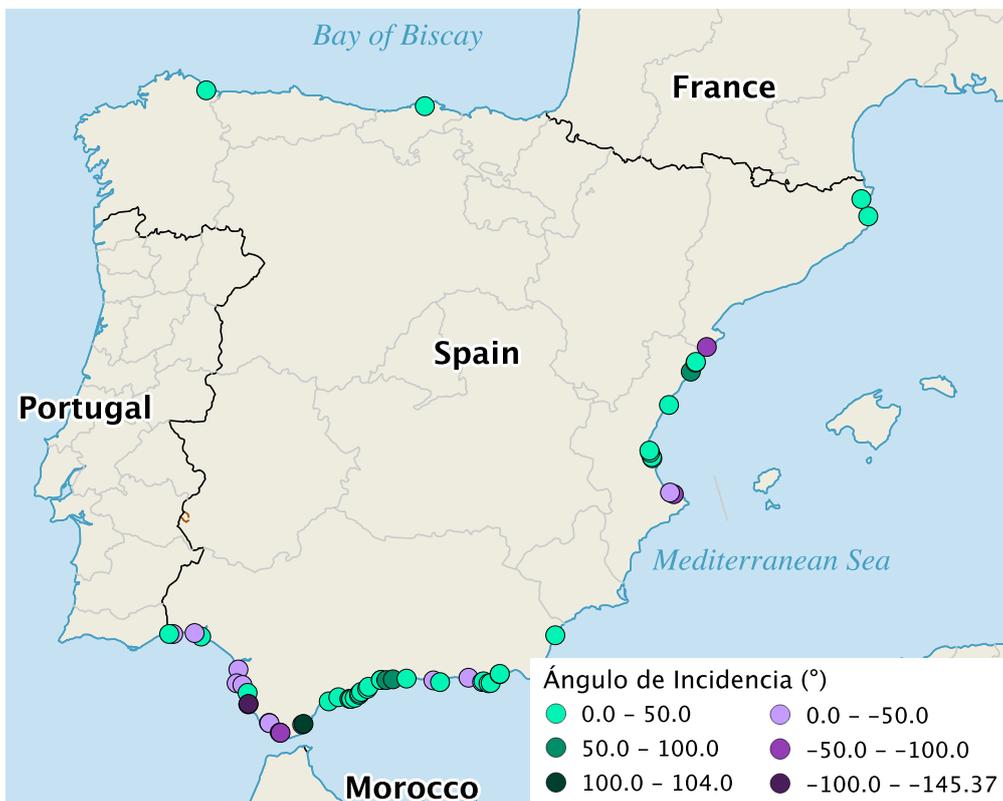


Figura 6.11: Datos de ángulo de incidencia del oleaje.

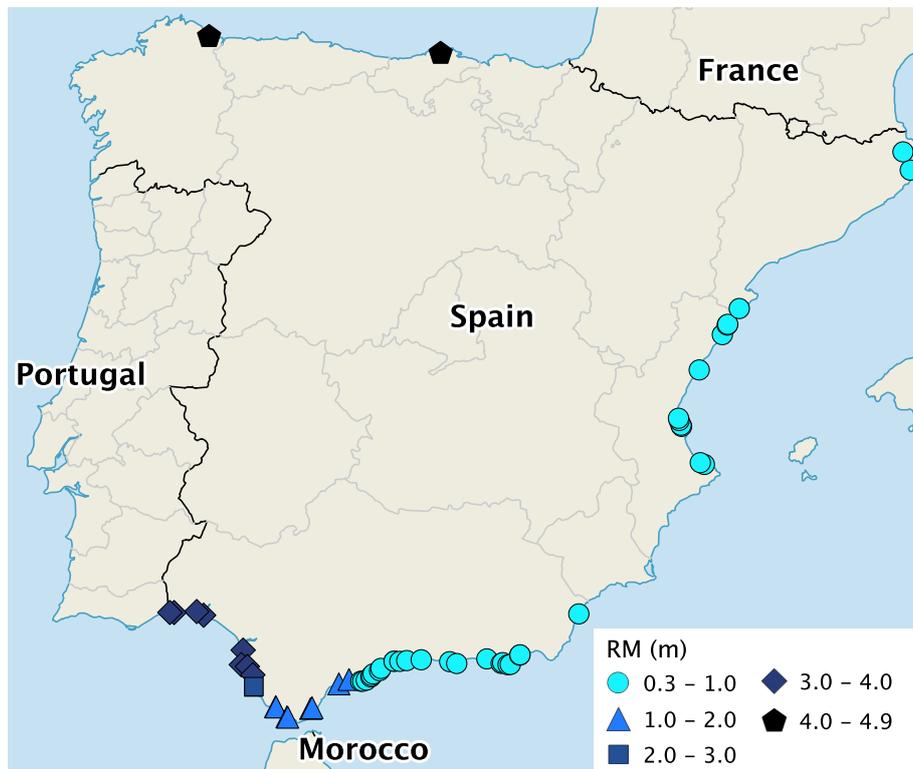


Figura 6.12: Datos de rango de marea.

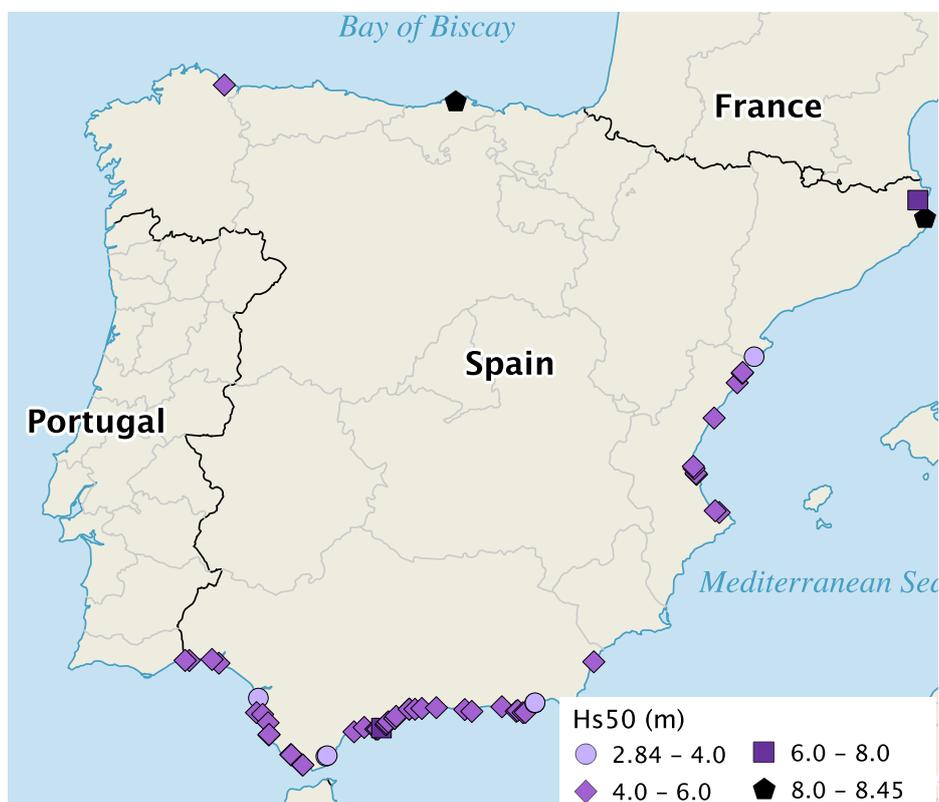


Figura 6.13: Datos de altura de ola significativa extremal de 50 años de periodo de retorno.

Se observa en las figuras que 6.8 y 6.9 que predomina el oleaje con $H_s=0.5-1$ m y $T_p=4-6$ segundos. De las 56 ondulaciones de la línea de costa identificadas en España, al 89.3% le llega un oleaje con $H_s=0.5-1$ m y el 75% presenta periodos picos $T_p=4-6$ segundos. El 25% de las ondulaciones pertenecen a la tipología 5 y el 18% pertenecen a la tipología 11. Se procede a estudiar las distintas tipologías según los criterios de simetría y asimetría que tienen en común.

6.7.1. Estudio de criterios de simetría

Igual λ e Igual H

Estos criterios están presentes en las tipologías 1, 3 y 6. En la costa española se identifican 9 ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios de simetría, representando el 16% de las ondulaciones identificadas en España. De estas 9 ondulaciones, el 77.8% se ubica en el Mar Mediterráneo y el 22.2% en el Golfo de Cádiz.

En el 100% de las ondulaciones pertenecientes a estas tipologías, el oleaje incidente presenta $H_s=0.5-1$ m. Respecto al periodo pico, en un 77.8% (las ubicadas en el Mediterráneo) el oleaje presenta $T_p=4-6$ s y en un 22.2% (las ubicadas en el Golfo de Cádiz) presenta $T_p=6-8$ s. Respecto al flujo medio de energía, el 77.8% de las ondulaciones recibe flujos de 0.53-2 kW/m y el 22.2% de 2-4 kW/m.

De las ondulaciones ubicadas en el Mar Mediterraneo, las cuales reciben oleaje con $H_s=0.5-1$ m y $T_p=4-6$ s:

- El 85.7% presenta FE=0.53-2 kW/m y las ondulaciones tienen longitudes de onda menores a 650 m. El oleaje incide en su mayoría formando ángulos de 35-70°.
- El 14.3% presenta FE=2-4 kW/m incidiendo con un ángulo de -5° y se tienen longitudes de onda menores a 200 metros.

De las dos ondulaciones ubicadas en el Golfo de Cádiz, las cuales reciben oleaje con $H_s=0.5-1$ m y $T_p=6-8$ s, una de ellas presenta FE=0.53-2 kW/m y la otra presenta FE=2-4 kW/m.

- La ondulación que recibe FE=0.53-2 kW/m con un ángulo de -47°, tiene una longitud de onda de 1800 m.
- La ondulación que recibe FE=2-4 kW/m con un ángulo de -12° tiene una longitud de onda de 200 m.

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *igual λ e igual H* , el 66.7% recibe oleaje con $H_s=0.5-1$ m, $T_p=4-6$ s, FE=0.53-2 kW/m y formando ángulos de 35-70° con la línea de costa.

Distinta λ y Distinta H

Las tipologías 2, 4, 5 y 7 tienen estos criterios de simetría. En la costa española se identifican 26 ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios de simetría, representando el 46.4% de las ondulaciones identificadas en España. De estas 26 ondulaciones, el 76.9% se ubica en el Mar Mediterráneo y el 23.1% en el Golfo de Cádiz.

En el 100% de las ondulaciones pertenecientes a estas tipologías, el oleaje incidente presenta $H_s=0.4-1$ m. Respecto al periodo pico, en un 92.3% el oleaje presenta $T_p=3.75-6$

s y en un 7.7 % presenta $T_p=6-8$ s. Respecto al flujo medio de energía, el 84.6 % de las ondulaciones recibe flujos de 0.53–2 kW/m y el 15.4 % de 2–4 kW/m.

De las ondulaciones que reciben oleaje con $H_s=0.4-1$ m y $T_p=3.75-6$ s (92.3 % de las ondulaciones de estas tipologías):

- El 87.5 % presenta $FE=0.53-2$ kW/m; de estas, el 76.2 % presenta longitudes de onda menores a 500 m, el 9.5 % tiene λ 500–1000 m y el 14.3 % presenta $\lambda > 1000$ m. El oleaje incide en su mayoría formando ángulos de 0–10°.
- El 12.5 % presenta $FE=2-4$ kW/m; de estas, el 66.7 % presenta longitudes de onda menores a 500 m y el 33.3 % tiene λ 750–1000 m. El oleaje incide con ángulos de 10–25°.

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *distinta λ y distinta H* , el 53.8 % recibe oleaje con $H_s=0.4-1$ m, $T_p=3.75-6$ s, $FE=0.53-2$ kW/m y formando ángulos de -30–30° con la línea de costa.

Distinta λ e Igual H

Estos criterios los presentan las tipologías 8, 9 y 10. En la costa española se identifican 6 ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios de simetría, representando el 10.7 % de las ondulaciones identificadas en España. Estas 6 ondulaciones se ubica en el Mar Mediterráneo.

En el 100 % de las ondulaciones pertenecientes a estas tipologías, el oleaje incidente presenta $H_s=0.5-1$ m y $T_p=4-6$ s.

- El 66.7 % presenta $FE=0.53-2$ kW/m, tiene $\lambda \leq 200$ m y el oleaje incide formando ángulos de 0–20°.
- El 33.3 % presenta $FE=2-4$ kW/m, longitudes de onda menores a 450 m y el oleaje incide con ángulos de 20–35°.

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *distinta λ e igual H* , el 66.7 % presenta $FE=0.53-2$ kW/m, tiene $\lambda \leq 200$ m y el oleaje incide formando ángulos de 0–20°.

$\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$

Las tipologías 1, 4, 8 y 11 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. En la costa española se identifican 25 ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios de simetría, representando el 44.6 % de las ondulaciones identificadas en España. De estas 25 ondulaciones, el 64 % se ubica en el Mar Mediterráneo y el 36 % en el Golfo de Cádiz.

En el 92 % de las ondulaciones pertenecientes a estas tipologías, el oleaje incidente presenta $H_s=0.4-1$ m y en el 8 % presenta $H_s=1-1.5$ m. Respecto al periodo pico, en un 72 % el oleaje presenta $T_p=3.75-6$ s, en un 20 % presenta $T_p=6-8$ s y en un 8 % presenta $T_p=8-10$ s. Respecto al flujo medio de energía, el 64 % de las ondulaciones recibe flujos de 0.53–2 kW/m y el 36 % de 2–4 kW/m.

De las ondulaciones que reciben oleaje con $H_s=0.4-1$ m y $T_p=3.75-6$ s (72 % de las ondulaciones de estas tipologías):

- El 83.3 % presenta $FE=0.53-2$ kW/m; de estas, el 86.7 % presenta longitudes de onda menores a 250 m. El oleaje incide en su mayoría formando ángulos de 0–25°.

- El 16.7 % presenta FE=2–4 kW/m, longitudes de onda menores a 300 m. El oleaje incide con ángulos de 30 – -60°.

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$, el 52 % recibe oleaje con $H_s=0.4-1$ m, $T_p=3.75-6$ s, FE=0.53–2 kW/m y formando ángulos de 0–70° con la línea de costa.

$\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$

Al estudiar las ondulaciones unitarias, las tipologías 2, 3, 9 y 12 mostraban estas características. En la costa española se identifican 10 ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios de simetría, representando el 17.9 % de las ondulaciones identificadas en España. De estas 10 ondulaciones, el 70 % se ubica en el Mar Mediterráneo y el 30 % en el Golfo de Cádiz.

En el 100 % de las ondulaciones pertenecientes a estas tipologías, el oleaje incidente presenta $H_s=0.4-1$ m. Respecto al periodo pico, en un 90 % el oleaje presenta $T_p=3.75-6$ s y en un 10 % presenta $T_p=6-8$ s. Respecto al flujo medio de energía, el 100 % de las ondulaciones recibe flujos de 0.53–2 kW/m. De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$, el 60 % recibe oleaje con $H_s=0.4-1$ m, $T_p=3.75-6$ s, FE=0.53–2 kW/m y formando ángulos de 30–55° con la línea de costa.

$\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$

Las tipologías 5, 6, 10 y 14 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. En la costa española se identifican 20 ondulaciones de la línea de costa que presentan estos criterios de simetría, representando el 35.7 % de las ondulaciones identificadas en España. De estas 20 ondulaciones, el 70 % se ubica en el Mar Mediterráneo, el 20 % en el Golfo de Cádiz y el 10 % en el Golfo de Vizcaya.

En el 90 % de las ondulaciones pertenecientes a estas tipologías, el oleaje incidente presenta $H_s=0.5-1$ m y en el 10 % presenta $H_s=1-1.7$ m. Respecto al periodo pico, en un 80 % el oleaje presenta $T_p=4-6$ s, en un 10 % presenta $T_p=6-8$ s y en un 10 % presenta $T_p=8-10.4$ s. Respecto al flujo medio de energía, el 70 % de las ondulaciones recibe flujos de 0.53–2 kW/m, el 20 % de 2–4 kW/m, el 5 % de 4–6 kW/m y el 5 % de 12–13.9 kW/m.

De las ondulaciones que reciben oleaje con $H_s=0.5-1$ m y $T_p=4-6$ s (80 % de las ondulaciones de estas tipologías):

- El 81.25 % presenta FE=0.53–2 kW/m; de estas, el 84.6 % presenta longitudes de onda menores a 500 m. El oleaje incide en su mayoría formando ángulos de 0–45°.
- El 18.75 % presenta FE=2–4 kW/m, longitudes de onda menores a 500 m en su mayoría. El oleaje incide con ángulos de 10–30°.

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$, el 40 % recibe oleaje con $H_s=0.5-1$ m, $T_p=4-6$ s, FE=0.53–2 kW/m y formando ángulos de 0–45° con la línea de costa.

$\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$

Las tipologías 7 y 13 presentan estos criterios de simetría de la ondulación unitaria. No se identifican ondulaciones pertenecientes a la tipología 13 en la costa española. De la tipología 7 se identifica 1 ondulaciones con longitud de onda de 450 m. El oleaje incide con $H_s=0.5-1$ m, $T_p=4-6$ s, FE=2–4 kW/m y formando ángulos de 25° con la línea de costa.

Capítulo 7

Conclusiones y futuras líneas de trabajo

7.1. Conclusiones

En este Proyecto Fin de Carrera se han identificado un total de 294 lugares a lo largo de cerca de 50.000 km de costa de 15 países que presentan ondulaciones de corta y media escala, definidas como *ondulaciones en la línea de costa*. Para la identificación y caracterización de las ondulaciones se ha usado la herramienta **Google Earth**, la cual permite visualizar imágenes de todo el planeta, combinando imágenes de satélite, fotografías aéreas y GIS 3D globe. En la zona de estudio, Google Earth presenta una resolución de <1 metro/pixel, llegando en algunos casos a tener resolución centimétrica.

Estas ondulaciones han sido caracterizadas a través de los siguientes parámetros principales: ubicación (ciudad/pueblo, región, país, océano/mar), año de la imagen, número de sucesiones que componen la ondulación, longitud de onda λ , amplitud A , tipo de tramo de costa, tipo de obra artificial o accidente, distancia de la ondulación al obstáculo y tipología. En el caso de las ondulaciones de la línea de costa española se incluyen además los parámetros altura de ola significativa, altura de ola significativa que es superada el 95 % del tiempo, periodo pico, flujo de energía, dirección del flujo de energía, altura de ola significativa extremal de 50 años de periodo de retorno, rango de marea, nivel medio del mar, marea meteorológica que es superada el 95 % del tiempo y número de Iribarren.

A continuación se presentan las principales conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados.

7.1.1. Análisis de ondulaciones de la línea de costa

Análisis según las longitudes de onda

El intervalo de longitud de onda más frecuente es el de 30–200 metros con 112 ondulaciones, representando el 38 % de las ondulaciones identificadas; este intervalo corresponde a la definición de ondulaciones cortas, como ondulaciones que presentan longitudes de onda de varias decenas a varios cientos de metros (Idier et al., 2011), por lo que se puede concluir que son más frecuentes las ondulaciones cortas que las largas.

La mayor parte de las 294 ondulaciones identificadas en este proyecto, en concreto, el 38 % presentan longitudes de onda de 30–200 metros y amplitudes de 1–25 metros.

Análisis según regiones costeras

De las ondulaciones de la línea de costa identificadas en el Mar Mediterráneo, el 78 % presentan longitudes de onda menores a 350 metros y solamente el 1.9 % de las ondulaciones presenta longitudes de onda mayores a 1000 metros.

En el Océano Atlántico los intervalos de longitud de onda con mayor número de ondulaciones son los de [30 , 200) y [350 , 500) metros con el 21.8 % y 30.9 % de las ondulaciones respectivamente. El 14.5 % de las ondulaciones superan los 1000 metros de longitud de onda. En el Mar del Norte se obtiene que el intervalo [200 , 350) presenta el 28 % de las ondulaciones, seguido por varios intervalos de λ menores a 1000 m con el 12 % cada uno. El 20 % de las ondulaciones identificadas en el Mar del Norte superan los 1000 metros de longitud de onda. En el Canal de la Mancha los intervalos de longitud de onda con mayor número de ondulaciones son los de [200 , 350), [500 , 650) y [1000 , 1300) metros con el 27 % de las ondulaciones cada uno. El 36 % de las ondulaciones en el Canal de la Mancha superan los 1000 metros de longitud de onda.

En el caso de los estrechos Skagerrak, Kattegat y Már Báltico predominan las ondulaciones con longitudes menores a 350 metros. En el Kattegat, el 78 % de las ondulaciones identificadas pertenecen al intervalo 30–200 m, en el Mar Báltico es el 56 % y el 44 % es de ondulaciones con longitudes de 200–350 m.

Análisis según el número de sucesiones

Predominan las ondulaciones unitarias y aquellas que están compuestas por dos sucesiones de ondas. Aproximadamente, el 34 % de las 294 ondulaciones de la línea de costa identificadas son ondulaciones unitarias y el 28 % están compuestas por 2 sucesiones. El 50 % de las ondulaciones con longitud de onda mayor a 1000 metros son ondulaciones unitarias.

Análisis según el tipo de tramo

El 63 % de las ondulaciones de la línea de costa identificadas se localizan en tramos de costa que presentan cierto grado de curvatura. En los tres tipos de tramo de costa estudiados (tramo recto, curvo y desembocaduras) predominan las ondulaciones con longitudes de onda pequeñas; las ondulaciones con λ 30–200 m representan del 35–40 % de las ondulaciones en cada tipo de tramo. Las ondulaciones con mayor longitud de onda y las unitarias se ubican en desembocaduras o tramos curvos. Las ondulaciones compuestas por varias sucesiones de ondas se presentan en tramos rectos.

Análisis según obras artificiales o accidentes

El 45.9 % de las ondulaciones de la línea de costa identificadas presentan algún tipo de obra artificial o accidente en sus proximidades, siendo la obra más frecuente los espigones. Predominan los casos en los que el obstáculo se encuentra a una distancia menor a una vez la longitud de onda en la mayoría de los casos.

En el caso de las ondulaciones de la línea de costa con λ 30–1000 metros, aproximadamente el 45 % presentan algún tipo de obstáculo y predominan los intervalos de distancia $d \leq 1\lambda$ y $1\lambda < d \leq 2\lambda$. En el caso de las ondulaciones con λ 1000–1500, es el 64 % de las ondulaciones las que presentan algún obstáculo y de estas, más del 70 % lo presentan a una distancia $d \leq 1\lambda$.

7.1.2. Comparativa de Tipologías

Análisis según las longitudes de onda

Al estudiar la simetría en λ y H se observa que las tipologías que presentan mayor cantidad de ondulaciones son aquellas con los criterios *distinta λ* y *distinta H* . Estos criterios los presentan las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 2, 4, 5 y 7 y representan el 40.5 % de las ondulaciones o el 61.1 % considerando solamente las ondulaciones con 2 o más sucesiones.

Los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ están presentes en las tipologías 1, 4, 8 y 11. En estas tipologías el intervalo predominante es el de 30–200 metros y representan el 37.8 % de la totalidad de las ondulaciones identificadas. Los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$ están presentes en las tipologías 5, 6, 10 y 14 las cuales representan el 35.4 % de las ondulaciones identificadas. Se concluye que el 73.2 % de las ondulaciones presentan el criterio $A_c = A_s$.

En el intervalo de longitud de onda 30–200 m predominan las ondulaciones con características de simetría de $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ en sus respectivas ondulaciones unitarias. El 76 % de las ondulaciones presenta el criterio $A_c = A_s$. En el intervalo de longitud de onda 200–350 m el 50 % de las ondulaciones presentan los criterios *distinta λ* y *distinta H* . El 78 % de las ondulaciones pertenecientes al intervalo 200–350 m presentan el criterio $A_c = A_s$. El 45 % de las ondulaciones en el intervalo 350–500 m presentan los criterios de simetría de *distinta λ* , *distinta H* y $\lambda_c \neq \lambda_s$.

El 48 % de las ondulaciones en el intervalo 500–650 m presentan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$. El 92 % de las ondulaciones identificadas en el intervalo 650–850 presentan el criterio $\lambda_c \neq \lambda_s$. El 73 % de las ondulaciones identificadas en el intervalo 850–1000 presentan los criterios de simetría $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$.

El 50 % de las ondulaciones de la línea de costa con λ mayores a 1000 metros se agrupan en las tipologías 11–14 (ondulaciones unitarias), predominando la tipología 12 con un 23 %. Las tipologías 2, 3, 9 y 12 presentan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$ y representan el 46 % de las ondulaciones con longitudes de onda mayores a 1000 metros.

Análisis según la relación A/λ

Los ajustes de regresión lineal de las ondulaciones de la línea de costa clasificadas según tipologías presentan buenos valores de los coeficientes de determinación lineal. Se tiene un mínimo de $R^2=0.55$ (tipología 1) y un máximo de $R^2=0.97$ (tipología 6).

Para ondulaciones con longitudes de onda menores a 300 metros, la tipología 3 presenta la relación menor siendo $A \approx 0,05\lambda - 3,18$ y la mayor la presenta la tipología 12 con $A \approx 0,05\lambda + 9,11$. En el caso de ondulaciones con longitudes de onda entre 300–450 metros, la tipología 10 presenta la relación menor siendo $A \approx 0,04\lambda + 1,98$ y la mayor la presenta la tipología 12 con $A \approx 0,05\lambda + 9,11$ al igual que en el caso anterior.

En el caso de ondulaciones con longitudes de onda entre 500–1000 metros, la tipología 10 presenta la relación menor siendo $A \approx 0,04\lambda + 1,98$ y la mayor la presenta la tipología 6 con $A \approx 0,08\lambda - 6,58$. Para ondulaciones con longitudes de onda mayores a 1000 metros, la tipología 8 presenta la relación menor siendo $A \approx 0,03\lambda + 4,17$ y la mayor la presenta la tipología 6 con $A \approx 0,08\lambda - 6,58$.

Análisis según número de sucesiones

En la mayoría de las tipologías predominan las ondulaciones compuestas por 2 sucesiones de ondas, salvo en la tipología 5 donde predominan ondulaciones compuestas por 3 sucesiones. Lo más frecuente son los criterios de simetría *distinta λ y distinta H* . Estudiando la simetría en la ondulación unitaria se tiene que en el caso de las ondulaciones con pocas sucesiones predominan los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$ mientras que en las ondulaciones con un alto número de sucesiones predominan $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$.

Análisis según tipo de tramo

En desembocaduras predominan las tipologías 11–14, es decir las tipologías correspondientes a ondulaciones unitarias; en concreto, predomina la tipología 11 con un 23 % de las ondulaciones, la cual presenta los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$. Considerando todas las tipologías que presentan estos dos criterios (tipologías 1, 4, 8 y 11) se tiene un 37.8 % de las ondulaciones identificadas en desembocaduras.

En tramos curvos el 38.7 % de las ondulaciones presenta los criterios *distinta λ y distinta H* (tipologías 2, 4, 5 y 7). Este porcentaje pasa a ser 56 % si se consideran solamente aquellas compuestas por 2 o más sucesiones. Estudiando los criterios de simetría en las ondulaciones unitarias, el 33.3 % de las ondulaciones presenta los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$ y el 40.5 % presenta los criterios $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$.

En tramos rectos el 52.3 % de las ondulaciones presenta los criterios *distinta λ y distinta H* (tipologías 2, 4, 5 y 7). Este porcentaje pasa a ser 64 % si se consideran solamente aquellas compuestas por 2 o más sucesiones. Estudiando los criterios de simetría en las ondulaciones unitarias, el 42.2 % de las ondulaciones en tramos rectos presenta los criterios $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$.

Análisis según obras artificiales o accidentes

El 78 % de las ondulaciones de la tipología 1 presentan alguna obra artificial o accidente en sus proximidades. En las tipologías 3 y 12 también predominan las ondulaciones que presentan obstáculos. En las tipologías 2, 4–8, 10–11 y 13–14 predominan las ondulaciones que no presentan ningún tipo de obstáculo en sus proximidades. En la tipología 6, el porcentaje de ondulaciones sin obstáculos en sus proximidades es del 67 %, en la tipología 10 del 65 %, en la 13 del 88 % y en la 14 del 65 %.

En las ondulaciones unitarias que presentan algún obstáculo en sus proximidades, predomina que este se presente a una distancia $d \leq 1\lambda$. Este rango de distancia también predomina en las tipologías 4–6 y 10. Las tipologías 4–6 y 10 tienen en común que presentan el criterio $A_c = A_s$. El rango de distancia $1\lambda < d \leq 2\lambda$ es predominante en el caso de las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 3, 7, 9 y 10. Las tipologías 3, 7 y 9 presentan el criterio $A_c \neq A_s$. El intervalo de distancia $4\lambda < d \leq 5\lambda$ predomina en las ondulaciones pertenecientes a las tipologías 1, 4, 6 y 8 aunque en el caso de las tipologías 4 y 6 hay más de un intervalo predominante. Las tipologías 1, 4 y 8 tienen en común los criterios de simetría $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$. Las tipologías 1, 6 y 8 tienen en común los criterios igual H y $A_c = A_s$.

Análisis según oleaje y nivel del mar

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *igual λ e igual H* , el 66.7 % recibe oleaje con $H_s=0.5-1$ m, $T_p=4-6$ s, $FE=0.53-2$ kW/m y formando ángulos de 35–

70° con la línea de costa. De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *distinta* λ y *distinta* H , el 53.8% recibe oleaje con $H_s=0.4-1$ m, $T_p=3.75-6$ s, $FE=0.53-2$ kW/m y formando ángulos de $-30-30^\circ$ con la línea de costa. De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría *distinta* λ e *igual* H , el 66.7% presenta $FE=0.53-2$ kW/m, tiene $\lambda \leq 200$ m y el oleaje incide formando ángulos de $0-20^\circ$.

De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c = \lambda_s$ y $A_c = A_s$, el 52% recibe oleaje con $H_s=0.4-1$ m, $T_p=3.75-6$ s, $FE=0.53-2$ kW/m y formando ángulos de $0-70^\circ$ con la línea de costa. De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c \neq A_s$, el 60% recibe oleaje con $H_s=0.4-1$ m, $T_p=3.75-6$ s, $FE=0.53-2$ kW/m y formando ángulos de $30-55^\circ$ con la línea de costa. De las ondulaciones que presentan los criterios de simetría $\lambda_c \neq \lambda_s$ y $A_c = A_s$, el 40% recibe oleaje con $H_s=0.5-1$ m, $T_p=4-6$ s, $FE=0.53-2$ kW/m y formando ángulos de $0-45^\circ$ con la línea de costa.

7.2. Futuras líneas de trabajo

Gracias a los datos obtenidos a lo largo de este proyecto, se están empezando a aplicar diferentes técnicas de *data mining* para tratar de encontrar relaciones entre los mismos. El *data mining* es un campo dentro de las ciencias de la computación que intenta encontrar patrones en conjuntos de datos. Dicha línea de trabajo permitiría extraer conocimiento relevante implícito en los datos que podría ayudar a interpretar algunas de las conclusiones obtenidas en el proyecto, o incluso obtener nuevas. Para ello no hace uso únicamente de métodos estadísticos, sino que también utiliza técnicas de inteligencia artificial, como el aprendizaje automático. Consiste principalmente en tres etapas: el preprocesamiento de los datos, el propio proceso de *data mining*, y la validación de los resultados.

La etapa de preprocesamiento consiste en transformar los datos en una estructura comprensible por el ordenador. Dicha estructura debe mantener los patrones que existiesen en los datos originales, pero de la manera más concisa posible para realizar un procesamiento eficiente. Por tanto, en dicha etapa se deben filtrar las observaciones incompletas o que generen ruido.

La etapa de *data mining* puede incluir diferentes técnicas: generación de resúmenes, clasificación, detección de anomalías, etc. Para los datos del presente proyecto creemos que las más interesantes serían el agrupamiento o *clustering* y la generación de reglas de asociación. La primera consiste en agrupar los datos atendiendo a diversas medidas de similitud en estructuras llamadas *clusters*. Los distintos *clusters* comparten criterios comunes. El conocimiento de los clusters permite una descripción sintética de un conjunto de datos multidimensional completo (figura 7.1). Las reglas de asociación, por su parte, tratan de buscar relaciones entre las variables identificando valores frecuentes. A partir de estos vínculos, un experto puede utilizar su conocimiento para interpretar estas concurrencias (figura 7.2).

La etapa de validación consiste en verificar los patrones obtenidos. Para ello, se deben obtener nuevos datos y comprobar que presentan los patrones encontrados. En muchas ocasiones, los datos iniciales son divididos en dos grupos, utilizándose el primero para la extracción de patrones y el segundo para la validación. Si la validación de resultados no satisface el nivel deseado, se debe reevaluar tanto el proceso de *data mining* como de preprocesamiento de los datos.

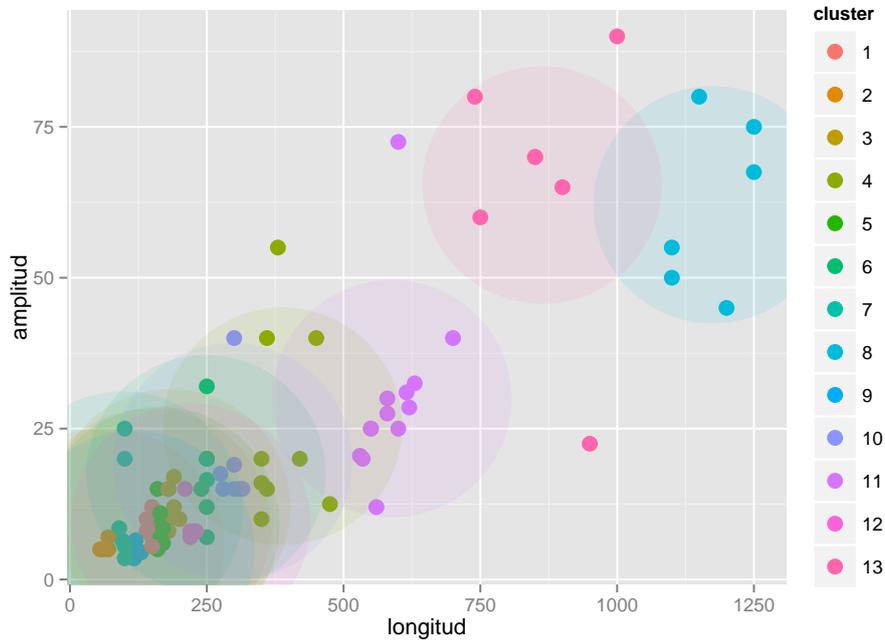


Figura 7.1: *Clustering* preliminar tratando de identificar relaciones entre longitudes y amplitudes medias

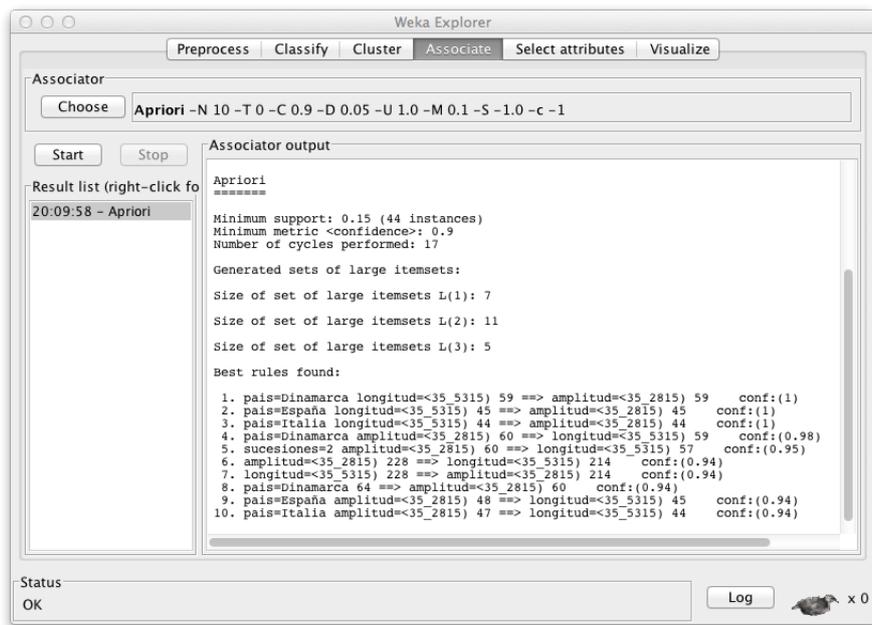


Figura 7.2: Análisis preliminar de reglas de asociación aplicando el algoritmo *apriori* con el software Weka

Apéndice A

Lista de ondulaciones de la línea de costa

Tabla A.1: Ondulaciones de la línea de costa.

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año imagen	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150-300 m [,)	Amplitud A (m)	Interv. A 25-50 m [,)	Océano/Mar	Tipo tramo de costa	Tipo obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
1	Desembocadura del Guadalquivir	Huelva	Andalucía	España	2012	2	1800	1500-2000	1800-2000	150	150	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
2	Punta Umbría	Huelva	Andalucía	España	2007	1	1100	1000-1500	1000-1300	50	50-75	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	500	Muro en borde opuesto desemboc.
3	El Rompido	Huelva	Andalucía	España	2011	2	1500-2400	1500-2000	1800-2000	80-140	100-150	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	8000	-
4	Isla del Moral	Huelva	Andalucía	España	2007	2	1000-1800	1000-1500	1000-1300	40-50	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	1000	-
5	Ayamonte	Huelva	Andalucía	España	2012	2	1000-1300	1000-1500	1000-1300	80-100	75-100	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	500	Muro en borde opuesto desemboc.
6	Calcela Velha	Faro	Algarve	Portugal	2012	1	300	30-500	200-350	30-50	25-50	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
7	Faro	Faro	Algarve	Portugal	2011	4	220-550	30-500	350-500	15-30	1-25	Atlántico	Tramo Curvo	Encauzamiento	1600	-
8	Faro2	Faro	Algarve	Portugal	2012	3	200-280	30-500	200-350	10-25	1-25	Atlántico	Tramo Recto	-	-	-
9	Odemira	Beja	Alentejo	Portugal	2012	2	125-180	30-500	30-200	10-12	1-25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
10	Alcácer	Setúbal	Alentejo	Portugal	2012	1	600	500-1000	500-650	45-100	50-75	Atlántico	Desembocadura	Puerto	100	-
11	Alcácer2	Setúbal	Alentejo	Portugal	2012	3	2000-2700	2000-2500	2000-2300	70-120	75-100	Atlántico	Tramo Curvo	-	-	-
12	Playa del Rey	Leiria	Centro	Portugal	2012	2	750	500-1000	650-850	15-35	1-25	Atlántico	Tramo Recto	-	-	-
13	Óbidos	Leiria	Centro	Portugal	2006	2	280-500	30-500	350-500	20-40	25-50	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
14	Óbidos2	Leiria	Centro	Portugal	2012	2	400-600	500-1000	500-650	15-30	1-25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
15	Nazaré	Leiria	Centro	Portugal	2012	1	350	30-500	350-500	16	1-25	Atlántico	Tramo Curvo	Rocas	700	Rocas a 700 m y puerto a 1.5 km
16	Paredes	Leiria	Centro	Portugal	2012	2	420	30-500	350-500	10-20	1-25	Atlántico	Tramo Curvo	Rocas	500	-
17	Marinha	Leiria	Centro	Portugal	2012	5	250-800	500-1000	650-850	15-50	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	2200	-
18	Pedrogao	Leiria	Centro	Portugal	2012	3	300-550	30-500	350-500	20-35	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	2500	-
19	Coimbrao	Leiria	Centro	Portugal	2012	7	500-1000	500-1000	500-650	15-50	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Rocas	4000	-
20	Lavos	Coimbra	Centro	Portugal	2011	5	250-500	30-500	350-500	15-40	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Espigón	1000	Tramo entre dos espigones
21	Mira	Coimbra	Centro	Portugal	2010	2	900-1150	500-1000	850-1000	50-70	50-75	Atlántico	Tramo Recto	Espigón	500	-
22	Jacinto	Aveiro	Centro	Portugal	2010	9	330-450	30-500	350-500	15-50	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	1800	-
23	Arada	Aveiro	Centro	Portugal	2010	7	300-700	500-1000	500-650	15-50	25-50	Atlántico	Tramo Recto	Espigón	1000	Tramo entre dos espigones
24	Viana do Castelo	Viana do Castelo	Norte	Portugal	2012	2	170-190	30-500	30-200	10-15	1-25	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	200	-
25	Moledo	Viana Castelo	Norte	Portugal	2012	2	400-500	30-500	350-500	25-35	25-50	Atlántico	Tramo Curvo	-	-	-
26	Caminha	Viana Castelo	Norte	Portugal	2012	2	140	30-500	30-200	10	1-25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
27	Foz	Lugo	Galicia	España	2012	1	550	500-1000	500-650	25	25-50	Golfo Vizcaya	Desembocadura	Rocas	700	-
28	Pedreña	Cantabria	Cantabria	España	2012	1	475	30-500	350-500	10-15	1-25	Golfo Vizcaya	Desembocadura	Rocas	2000	-
29	Lit	Landes	Aquitania	Francia	2009	5	450-850	500-1000	650-850	30-60	25-50	Golfo Vizcaya	Tramo Recto	-	-	-
30	Arcachon	Arcachon	Aquitania	Francia	2009	3	680-715	500-1000	650-850	20-40	25-50	Golfo Vizcaya	Tramo Recto	-	-	-
31	Verdon-Sur-Mer	Lesparre-Médoc	Aquitania	Francia	2012	2	1000-1500	1000-1500	1000-1300	35-130	50-75	Golfo Vizcaya	Desembocadura	-	-	-
32	Tremblade	Rochefort	Poitou-Charentes	Francia	2006	2	1400-1800	1500-2000	1500-1800	50-60	50-75	Golfo Vizcaya	Tramo Recto	-	-	-
33	Tremblade2	Rochefort	Poitou-Charentes	Francia	2006	2	1300-1900	1500-2000	1500-1800	100-200	100-150	Golfo Vizcaya	Desembocadura	-	-	-
34	Ile d'Oléron	Rochefort	Poitou-Charentes	Francia	2012	3	450-630	500-1000	500-650	15-30	1-25	Golfo Vizcaya	Tramo Curvo	-	-	-
35	Olonne	Sables-d'Olonne	Países del Loira	Francia	2006	3	170-280	30-500	200-350	5-20	1-25	Golfo Vizcaya	Tramo Recto	-	-	-
36	Croisic	Saint-Nazaire	Países del Loira	Francia	2012	1	240	30-500	200-350	15	1-25	Golfo Vizcaya	Desembocadura	Espigón	50	-

Tabla A.1 – Continuación

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año imagen	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150–300 m [,)	Amplitud A (m)	Interv. A 25–50 m [,)	Océano/Mar	Tipo tramo de costa	Tipo obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
37	Pénestin	Vannes	Bretaña	Francia	2012	1	360	30–500	350–500	40	25–50	Golfo Vizcaya	Desembocadura	-	-	-
38	Pénestin2	Vannes	Bretaña	Francia	2012	2	260	30–500	200–350	5–15	1–25	Golfo Vizcaya	Desembocadura	-	-	-
39	Penthievre	Lorient	Bretaña	Francia	2012	1	150	30–500	30–200	12	1–25	Golfo Vizcaya	Desembocadura	-	-	Se encuentra en una bahía
40	Penthievre2	Lorient	Bretaña	Francia	2012	1	315	30–500	200–350	10–20	1–25	Golfo Vizcaya	Desembocadura	-	-	Se encuentra en una bahía
41	Étel	Lorient	Bretaña	Francia	2012	1	1100	1000–1500	1000–1300	45–65	50–75	Golfo Vizcaya	Desembocadura	Rocas	2000	-
42	Lingreville	Coutances	Baja Normandía	Francia	2012	1	740	500–1000	650–850	75–85	75–100	Canal Mancha	Desembocadura	-	-	-
43	Regnéville	Coutances	Baja Normandía	Francia	2007	1	1000	1000–1500	1000–1300	50–130	50–75	Canal Mancha	Desembocadura	Espigón	4000	-
44	Créances	Coutances	Baja Normandía	Francia	2012	5	180–250	30–500	200–350	10–30	1–25	Canal Mancha	Tramo Recto	-	-	-
45	Créances2	Coutances	Baja Normandía	Francia	2012	2	400–750	500–1000	500–650	10–40	25–50	Canal Mancha	Desembocadura	-	-	-
46	Géfosse	Bayeux	Baja Normandía	Francia	2012	1	535	500–1000	500–650	15–25	1–25	Canal Mancha	Desembocadura	-	-	-
47	Camiers	Montreuil	Norte	Francia	2012	1	2300	2000–2500	2300–2500]	200	200–250	Canal Mancha	Desembocadura	-	-	-
48	Oudorp	Alkmaar	Holanda Septentrional	Holanda	2012	2	5000	5000	5000	200–300	200–250	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
49	Schier	Schiermonnikoog	Frisia	Holanda	2012	1	2000	2000–2500	2000–2300	120–140	100–150	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
50	Abbotsham	Devor	Sudoeste	Inglaterra	2012	3	200–400	30–500	350–500	5–10	1–25	Atlántico	Tramo Curvo	-	-	-
51	Aberdovey	Aberdovey	Gwynedd	Gales	2006	1	1200	1000–1500	1000–1300	40–50	50–75	Mar Irlanda	Desembocadura	Muelle	400	-
52	Caernarfon	Caernarfon	Gwynedd	Gales	2006	1	950	500–1000	850–1000	15–30	1–25	Mar Irlanda	Desembocadura	Espigón	3000	-
53	Caernarfon2	Caernarfon	Gwynedd	Gales	2006	1	2400	2000–2500	2300–2500]	87–130	100–150	Mar Irlanda	Desembocadura	Rocas	4000	-
54	Deganwy	Conwy	Conwy	Gales	2012	2	600–1000	500–1000	850–1000	50–100	50–75	Mar Irlanda	Desembocadura	Espigón	500	-
55	Dalton	Cumbria	Noroeste	Inglaterra	2012	1	900	500–1000	850–1000	50–80	50–75	Mar Irlanda	Desembocadura	-	-	-
56	Dalton2	Cumbria	Noroeste	Inglaterra	2012	4	250–550	30–500	350–500	15–40	25–50	Mar Irlanda	Tramo Curvo	Espigón	2500	-
57	Ravenglass	Cumbria	Noroeste	Inglaterra	2012	2	300–600	30–500	350–500	15–50	25–50	Mar Irlanda	Desembocadura	-	-	-
58	Monkton	Monkton	South Ayrshire	Escocia	2012	1	150	30–500	30–200	5–15	1–25	Mar Irlanda	Desembocadura	-	-	-
59	Embo	Embo	Highland	Escocia	2007	2	300–500	30–500	350–500	10–30	1–25	Mar Norte	Desembocadura	Espigón	2500	-
60	Tarrel	Tarrel	Highland	Escocia	2012	1	750	500–1000	650–850	60	50–75	Mar Norte	Desembocadura	Rocas	700	-
61	Newburgh	Newburgh	Aberdeenshire	Escocia	2012	1	210	30–500	200–350	15	1–25	Mar Norte	Desembocadura	-	-	-
62	Newburgh2	Newburgh	Aberdeenshire	Escocia	2012	2	300–350	30–500	200–350	25–30	25–50	Mar Norte	Desembocadura	-	-	-
63	Newburgh3	Newburgh	Aberdeenshire	Escocia	2006	5	30–55	30–500	30–200	2–6	1–25	Mar Norte	Desembocadura	-	-	-
64	Aberdeen	Aberdeen	Ciudad de Aberdeen	Escocia	2012	1	150	30–500	30–200	10	1–25	Mar Norte	Desembocadura	-	-	-
65	Burnham	Brancaaster	Este	Inglaterra	2007	1	850	500–1000	850–1000	65–75	50–75	Mar Norte	Desembocadura	-	-	-
66	Harwich	Harwich	Este	Inglaterra	2012	1	560	500–1000	500–650	12	1–25	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
67	Harwich2	Harwich	Este	Inglaterra	2012	1	250	30–500	200–350	10–14	1–25	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
68	Point Clear	Point Clear	Este	Inglaterra	2012	3	350–800	500–1000	500–650	20–40	25–50	Mar Norte	Desembocadura	Espigones	3000	-
69	Seven Sisters	Seaford	Sudeste	Inglaterra	2012	1	530	500–1000	500–650	19–22	1–25	Canal Mancha	Tramo Curvo	Encauzamiento	40	-
70	Mengham	Isla Hayling	Sudeste	Inglaterra	2012	1	1250	1000–1500	1000–1300	65–70	50–75	Canal Mancha	Tramo Curvo	-	-	-
71	Exmouth	Exmouth	Sudoeste	Inglaterra	2012	1	1150	1000–1500	1000–1300	75–85	75–100	Canal Mancha	Desembocadura	Espigón	1000	-
72	Exmouth2	Exmouth	Sudoeste	Inglaterra	2007	2	250–300	30–500	200–350	10–30	1–25	Canal Mancha	Desembocadura	-	-	-
73	Teign	Teignmouth	Sudoeste	Inglaterra	2006	1	250	30–500	200–350	20	1–25	Canal Mancha	Desembocadura	Muelle	400	-
74	Waterville	Waterville	Kerry	Irlanda	2009	2	120–180	30–500	30–200	10	1–25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
75	Waterville2	Waterville	Kerry	Irlanda	2009	1	450	30–500	350–500	30–50	25–50	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
76	Glen	Glenbeigh	Kerry	Irlanda	2010	3	250–580	30–500	350–500	20–30	1–25	Atlántico	Tramo Curvo	-	-	-
77	Ballybunnion	Ballybunnion	Kerry	Irlanda	2012	3	520–600	500–1000	500–650	20–40	25–50	Atlántico	Tramo Curvo	Rocas	300	-
78	Tulla	Tulla	Mayo	Irlanda	2012	1	630	500–1000	500–650	25–40	25–50	Atlántico	Desembocadura	Rocas	1300	-
79	Tulla2	Tulla	Mayo	Irlanda	2012	1	250	30–500	200–350	32	25–50	Atlántico	Desembocadura	Rocas	800	-
80	Inishcrone	Inishcrone	Sligo	Irlanda	2012	1	2500	2500	2300–2500]	92–97	75–100	Atlántico	Tramo Curvo	-	-	-
81	Strandhill	Strandhill	Sligo	Irlanda	2012	1	380	30–500	350–500	55	50–75	Atlántico	Desembocadura	Rocas	1000	-
82	Balllure	Balllure	Antrim	Irlanda del Norte	2010	1	160	30–500	30–200	10	1–25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
83	Portrane	Portrane	Dublin	Irlanda	2005	2	400–600	500–1000	500–650	30–100	50–75	Mar Irlanda	Desembocadura	-	-	-
84	Baldoyle	Dublin	Dublin	Irlanda	2006	2	300–400	30–500	350–500	10–20	1–25	Mar Irlanda	Tramo Curvo	-	-	-
85	Baldoyle2	Dublin	Dublin	Irlanda	2005	3	300–750	500–1000	500–650	20–50	25–50	Mar Irlanda	Tramo Curvo	Puerto	2000	-
86	Tramore	Tramore	Waterford	Irlanda	2012	2	250–600	30–500	350–500	20–50	25–50	Atlántico	Desembocadura	Rocas	1000	-
87	Tramore2	Tramore	Waterford	Irlanda	2012	1	360	30–500	350–500	10–20	1–25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
88	Baltrum	Baltrum	Baja Sajonia	Alemania	2012	1	2500	2500	2300–2500]	100–105	100–150	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
89	Nieblum	Förh	Schleswig-Holstein	Alemania	2008	1	350	30–500	350–500	5–15	1–25	Mar Norte	Tramo Curvo	Espigón	900	-
90	Nebel	Amrum	Schleswig-Holstein	Alemania	2012	1	1750	1500–2000	1500–1800	100–150	100–150	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-

Tabla A.1 – Continuación

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año imagen	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150–300 m [,)	Amplitud A (m)	Interv. A 25–50 m [,)	Océano/Mar	Tipo tramo de costa	Tipo obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
91	Hörnum	Hörnum	Schleswig-Holstein	Alemania	2012	1	1250	1000–1500	1000–1300	50–100	50–75	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
92	Hörnum2	Hörnum	Schleswig-Holstein	Alemania	2012	>15	150–350	30–500	200–350	5–20	1–25	Mar Norte	Tramo Recto	-	-	Tramo de 12 km
93	List	Sylt	Schleswig-Holstein	Alemania	2011	4	930–945	500–1000	850–1000	25–50	25–50	Mar Norte	Tramo Curvo	-	-	-
94	Blavand	Blavand	Syddanmark	Dinamarca	2005	2	500–600	500–1000	500–650	30–40	25–50	Mar Norte	Tramo Curvo	Espigón	3000	-
95	Henne	Henne	Syddanmark	Dinamarca	2005	6	120–200	30–500	30–200	9–12	1–25	Mar Norte	Tramo Recto	-	-	-
96	Hvide	Hvide Sande	Midtjylland	Dinamarca	2010	1	250	30–500	200–350	20	1–25	Mar Norte	Tramo Recto	Encauzamiento	600	-
97	Hvide2	Hvide Sande	Midtjylland	Dinamarca	2012	3	300	30–500	200–350	15–20	1–25	Mar Norte	Tramo Recto	Encauzamiento	500	-
98	Tim	Tim	Midtjylland	Dinamarca	2012	8	150–250	30–500	200–350	7–15	1–25	Mar Norte	Tramo Recto	-	-	Tramo de 10 km
99	Nees	Nees	Midtjylland	Dinamarca	2012	2	350–450	30–500	350–500	20	1–25	Mar Norte	Tramo Recto	Encauzamiento	2000	-
100	Bovlingbjerg	Bovlingbjerg	Midtjylland	Dinamarca	2012	3	700–1000	500–1000	850–1000	20–40	25–50	Mar Norte	Tramo Recto	Espigones	2600	-
101	Bulbjerg	Bulbjerg	Nordjylland	Dinamarca	2012	4	290–360	30–500	200–350	15–25	1–25	Skagerrak	Tramo Curvo	-	-	-
102	Hjortdal	Hjortdal	Nordjylland	Dinamarca	2012	1	420	30–500	350–500	20	1–25	Skagerrak	Tramo Curvo	-	-	-
103	Punta Candor	Cádiz	Andalucía	España	2012	1	190	30–500	30–200	17	1–25	Atlántico	Tramo Curvo	-	-	-
104	Rota	Cádiz	Andalucía	España	2012	1	300	30–500	200–350	10–20	1–25	Atlántico	Tramo Curvo	Puerto	250	-
105	Río San Pedro	Cádiz	Andalucía	España	2003	2	100–200	30–500	30–200	5–10	1–25	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	-	Muro en borde opuesto desemboc.
106	Barrosa	Cádiz	Andalucía	España	2003	1	220	30–500	200–350	6–8	1–25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
107	Barrosa2	Cádiz	Andalucía	España	2005	1	180	30–500	30–200	10	1–25	Atlántico	Desembocadura	-	-	-
108	Barbate	Cádiz	Andalucía	España	2004	1	150	30–500	30–200	8	1–25	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	-	Muro en borde opuesto desemboc.
109	Barbate2	Cádiz	Andalucía	España	2005	2	200	30–500	200–350	5–10	1–25	Atlántico	Tramo Recto	Encauzamiento	300	-
110	Bolonia	Cádiz	Andalucía	España	2012	2	200–500	30–500	350–500	10–30	1–25	Atlántico	Tramo Curvo	Rocas	1000	-
111	Bolonia2	Cádiz	Andalucía	España	2012	1	140	30–500	30–200	8	1–25	Atlántico	Tramo Curvo	Rocas	150	-
112	Palmones	Cádiz	Andalucía	España	2012	2	50–100	30–500	30–200	5–10	1–25	Atlántico	Desembocadura	Encauzamiento	-	Muro en borde opuesto desemboc..
113	Guadarranque	Cádiz	Andalucía	España	2004	1	100	30–500	30–200	15–25	1–25	Atlántico	Desembocadura	Puerto	-	En medio de diques
114	Villacana	Málaga	Andalucía	España	2012	1	600	500–1000	500–650	25	25–50	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
115	Marbella	Málaga	Andalucía	España	2012	1	310	30–500	200–350	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigón	120	Tramo entre dos espigones
116	Artola	Málaga	Andalucía	España	2011	4	180–320	30–500	200–350	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigón	1400	-
117	Cabo Pino	Málaga	Andalucía	España	2012	3	90	30–500	30–200	6	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	450	-
118	Cala de Mijas	Málaga	Andalucía	España	2012	3	150–300	30–500	200–350	12–30	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	700	Tramo entre rocas
119	Fuengirola	Málaga	Andalucía	España	2012	2	120–150	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	200	-
120	Los Boliches	Málaga	Andalucía	España	2012	>15	60–200	30–500	30–200	3–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigones	600	Tramo entre dos espigones
121	Carvajal	Málaga	Andalucía	España	2012	8	60–170	30–500	30–200	4–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigón	500	-
122	Torremolinos	Málaga	Andalucía	España	2012	10	100–250	30–500	200–350	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	400	-
123	Alamos	Málaga	Andalucía	España	2012	6	80–120	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 3 km
124	Cala del Moral	Málaga	Andalucía	España	2012	2	650	500–1000	650–850	30–50	25–50	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigon	400	Tramo entre espigón y rocas
125	Cala del Moral2	Málaga	Andalucía	España	2012	2	100–120	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigón	400	-
126	Rincón Victoria	Málaga	Andalucía	España	2008	>10	450–1000	500–1000	850–1000	15–30	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
127	Rincón Victoria2	Málaga	Andalucía	España	2012	>15	60–400	30–500	350–500	4–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
128	Torrox	Málaga	Andalucía	España	2012	7	80–150	30–500	30–200	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	500	-
129	Motril	Granada	Andalucía	España	2012	5	100–115	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	550	-
130	Carchuna	Granada	Andalucía	España	2012	4	400–750	500–1000	650–850	20–60	25–50	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	750	-
131	Adra	Almería	Andalucía	España	2012	6	100–300	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	1200	-
132	Guardias Viejas	Almería	Andalucía	España	2012	1	160	30–500	30–200	15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
133	Guardias Viejas2	Almería	Andalucía	España	2012	2	350–420	30–500	350–500	10–30	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
134	San Agustín	Almería	Andalucía	España	2012	8	170–350	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
135	San Agustín2	Almería	Andalucía	España	2012	3	750–1000	500–1000	850–1000	40–60	50–75	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
136	Los Bajos	Almería	Andalucía	España	2012	4	370–450	30–500	350–500	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
137	Los Bajos2	Almería	Andalucía	España	2012	5	100–250	30–500	30–200	7–16	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
138	Villaricos	Almería	Andalucía	España	2012	2	100–130	30–500	30–200	10–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	500	-
139	Almadrava	Alicante	Com. Valenciana	España	2012	1	130	30–500	30–200	3–6	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Encauzamiento	120	Encauz. a 120 m y espigón a 1 km
140	Devesa	Alicante	Com. Valenciana	España	2011	2	185–200	30–500	30–200	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
141	Perellonet	Valencia	Com. Valenciana	España	2005	10	120–175	30–500	30–200	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
142	Perellonet2	Valencia	Com. Valenciana	España	2005	5	60–130	30–500	30–200	6–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
143	Gavines	Valencia	Com. Valenciana	España	2011	5	75–180	30–500	30–200	8–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Encauzamiento	900	-
144	El Saler	Valencia	Com. Valenciana	España	2012	5	130–200	30–500	30–200	7–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
145	Mijares	Castellón	Com. Valenciana	España	2012	3	85–200	30–500	30–200	5–12	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Espigón	100	-
146	Sierra de Irta	Castellón	Com. Valenciana	España	2012	2	100	30–500	30–200	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	200	-

Tabla A.1 – Continuación

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año imagen	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150–300 m [,)	Amplitud A (m)	Interv. A 25–50 m [,)	Océano/Mar	Tipo tramo de costa	Tipo obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
147	Benicarló	Castellón	Com. Valenciana	España	2012	1	175	30–500	30–200	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
148	Benicarló2	Castellón	Com. Valenciana	España	2012	2	320	30–500	200–350	15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	1000	-
149	Delta Ebro	Tarragona	Cataluña	España	2012	2	250–350	30–500	200–350	15–25	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
150	Pals	Gerona	Cataluña	España	2012	4	200–300	30–500	200–350	10–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
151	Fluvia	Gerona	Cataluña	España	2008	4	300–450	30–500	350–500	8–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
152	Playa Brasilia	Perpignan	Languedoc-Roussillon	Francia	2004	3	250–290	30–500	200–350	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	350	-
153	Bacares	Perpignan	Languedoc-Roussillon	Francia	2012	1	180	30–500	30–200	15	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
154	Port Leucate	Narbonne	Languedoc-Roussillon	Francia	2008	6	200–350	30–500	200–350	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Muelle	400	-
155	Saint Louis	Arles	Provenza-Alpes-C. Azul	Francia	2012	3	420–560	30–500	350–500	10–25	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
156	Saint Louis2	Arles	Provenza-Alpes-C. Azul	Francia	2008	1	615	500–1000	500–650	30–32	25–50	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
157	Saint Louis3	Arles	Provenza-Alpes-C. Azul	Francia	2012	5	170–280	30–500	200–350	6–18	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
158	Albenga	Savona	Liguria	Italia	2006	2	30–40	30–500	30–200	3–4	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	Espigón	100	-
159	Tombolo	Lucca	Toscana	Italia	2003	10	150–220	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	1000	-
160	Vecchiano	Pisa	Toscana	Italia	2011	1	620	500–1000	500–650	25–32	25–50	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
161	Torinella	Livorno	Toscana	Italia	2006	>10	110–300	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 3 km
162	San Vincenzo	Livorno	Toscana	Italia	2012	9	170–350	30–500	200–350	10–25	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	1000	-
163	Etruschi	Livorno	Toscana	Italia	2012	7	160–350	30–500	200–350	10–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	1000	-
164	Campalto	Livorno	Toscana	Italia	2012	8	130–320	30–500	200–350	8–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
165	Sdriscia	Livorno	Toscana	Italia	2007	2	150–300	30–500	200–350	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Encauzamiento	600	-
166	Carbonifera	Livorno	Toscana	Italia	2007	2	175–275	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Encauzamiento	900	-
167	Principina	Grosseto	Toscana	Italia	2004	10	85–150	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	650	-
168	Ombrone	Grosseto	Toscana	Italia	2012	4	75–90	30–500	30–200	5–11	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
169	Ombrone2	Grosseto	Toscana	Italia	2003	2	50–130	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
170	Talamone	Grosseto	Toscana	Italia	2012	4	220–260	30–500	200–350	8–11	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigón	150	-
171	Albinia	Grosseto	Toscana	Italia	2004	3	30–45	30–500	30–200	4–6	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	Espigón	200	-
172	Selva Nera	Grosseto	Toscana	Italia	2004	4	90–125	30–500	30–200	7–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
173	Santa Severa	Roma	Lacio	Italia	2012	3	135	30–500	30–200	5–7	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
174	Cerveteri	Roma	Lacio	Italia	2012	1	180	30–500	30–200	7–9	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Espigón	50	-
175	San Lorenzo	Roma	Lacio	Italia	2009	2	140–230	30–500	200–350	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
176	Enea	Roma	Lacio	Italia	2012	2	270	30–500	200–350	10–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	1300	-
177	Minturno	Latina	Lacio	Italia	2012	1	100	30–500	30–200	20–30	25–50	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
178	Domiziana	Caserta	Campania	Italia	2012	10	100–180	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 1.5 km
179	Spineta	Salerno	Campania	Italia	2012	>15	90–250	30–500	200–350	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 1.5 km
180	Maiolino	Catanzaro	Calabria	Italia	2012	2	200–250	30–500	200–350	10–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
181	Mortilla	Catanzaro	Calabria	Italia	2012	6	200–350	30–500	200–350	5–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
182	Mortilla2	Catanzaro	Calabria	Italia	2012	1	850	500–1000	850–1000	60–80	50–75	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
183	Trigna	Catanzaro	Calabria	Italia	2010	1	180	30–500	30–200	10	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
184	Pellaro	Reggio Calabria	Calabria	Italia	2002	6	400–700	500–1000	650–850	12–30	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	Tramo de 4 km
185	Lazzaro	Reggio Calabria	Calabria	Italia	2012	1	280	30–500	200–350	15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
186	San Leonardo	Reggio Calabria	Calabria	Italia	2012	2	450–650	500–1000	500–650	15–30	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	3000	-
187	Canalello	Reggio Calabria	Calabria	Italia	2012	1	300	30–500	200–350	18–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	50	-
188	Soverato	Catanzaro	Calabria	Italia	2011	2	270–320	30–500	200–350	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
189	Grandine	Catanzaro	Calabria	Italia	2012	2	200–300	30–500	200–350	10–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
190	Carrao	Catanzaro	Calabria	Italia	2012	1	580	500–1000	500–650	25–30	25–50	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
191	Cutro	Crotone	Calabria	Italia	2008	9	200–520	30–500	350–500	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
192	Cutro2	Crotone	Calabria	Italia	2008	>15	40–200	30–500	30–200	4–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
193	Anastasi	Crotone	Calabria	Italia	2009	1	155	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	150	Puerto a 150 m y rocas a 750 m
194	Rizzuto	Crotone	Calabria	Italia	2012	3	160–170	30–500	30–200	7–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	50	Tramo entre rocas
195	Gabella	Crotone	Calabria	Italia	2012	>15	90–300	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 5 km
196	Fasana	Crotone	Calabria	Italia	2011	1	250	30–500	200–350	15–18	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
197	Posto	Crotone	Calabria	Italia	2012	1	580	500–1000	500–650	30	25–50	Mediterráneo	Tramo Curvo	Puerto	1000	-
198	Oliveto	Crotone	Calabria	Italia	2012	1	140	30–500	30–200	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-
199	Idrovore	Lecce	Apulia	Italia	2012	6	60–150	30–500	30–200	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Espigón	400	-
200	Frigole	Lecce	Apulia	Italia	2012	1	180	30–500	30–200	15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Encauzamiento	20	-
201	Termini	Chieti	Abruzos	Italia	2012	1	200	30–500	200–350	10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Encauzamiento	90	-
202	Ravenna	Rávena	Emilia-Romaña	Italia	2009	3	100–250	30–500	200–350	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	-

Tabla A.1 – Continuación

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año imagen	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150–300 m [,)	Amplitud A (m)	Interv. A 25–50 m [,)	Océano/Mar	Tipo tramo de costa	Tipo obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
203	Bellocchio	Rávena	Emilia-Romaña	Italia	2010	2	40–50	30–500	30–200	4–7	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
204	Bellocchio2	Rávena	Emilia-Romaña	Italia	2010	1	70	30–500	30–200	5	1–25	Mediterráneo	Desembocadura	-	-	-
205	Spina	Ferrara	Emilia-Romaña	Italia	2012	6	70–170	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Encauzamiento	200	-
206	Volano	Ferrara	Emilia-Romaña	Italia	2004	1	350	30–500	350–500	20	25–50	Mediterráneo	Tramo Recto	Muelle	500	-
207	Volano2	Ferrara	Emilia-Romaña	Italia	2010	2	1800–2100	1500–2000	1800–2000	40–70	50–75	Mediterráneo	Tramo Recto	Espigón	1000	-
208	Volano3	Ferrara	Emilia-Romaña	Italia	2010	>10	70–170	30–500	30–200	4–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 5 km
209	Mellah	El Tarf	El Tarf	Argelia	2005	4	230–300	30–500	200–350	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	100	Tramo entre rocas
210	El Tarf	El Tarf	El Tarf	Argelia	2012	6	175–400	30–500	350–500	4–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	-	-	Tramo de 4 km
211	El Mersa	El Mersa	Skikda	Argelia	2012	2	100–120	30–500	30–200	4–6	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	100	Rocas a 100 m y puerto a 800 m
212	El Keria	El Keria	Skikda	Argelia	2003	4	240–500	30–500	350–500	10–30	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	600	Tramo entre rocas
213	El Keria2	El Keria	Skikda	Argelia	2003	7	80–100	30–500	30–200	4–7	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	500	Tramo entre rocas
214	Igujdal	Igujdal	Tizi Ouzou	Argelia	2012	3	95–120	30–500	30–200	5–9	1–25	Mediterráneo	Tramo Curvo	Rocas	50	Tramo entre rocas
215	Dellys	Dellys	Boumerdes	Argelia	2012	2	220	30–500	200–350	5–15	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	400	-
216	Lakhdar	Lakhdar	Mostaganem	Argelia	2008	2	300–380	30–500	350–500	10–20	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Puerto	400	-
217	Mosta	Mosta	Mostaganem	Argelia	2012	8	110–260	30–500	200–350	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	1000	-
218	Malous	Malous	Tlemecen	Argelia	2012	2	120–150	30–500	30–200	5–10	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	70	Tramo entre rocas
219	Tibouda	Tibouda	Oriental	Marruecos	2012	3	90–150	30–500	30–200	3–8	1–25	Mediterráneo	Tramo Recto	Rocas	50	Tramo entre rocas
220	Temsamane	Temsamane	Oriental	Marruecos	2012	2	1000–1100	1000–1500	1000–1300	35–50	25–50	Mediterráneo	Tramo Curvo	-	-	-
221	Asilah	Asilah	Tanger-Tetuan	Marruecos	2012	5	175–400	30–500	350–500	15–35	25–50	Atlántico	Tramo Recto	-	-	-
222	Ouled Salem	Ouled Salem	Dukala-Abda	Marruecos	2012	4	500–800	500–1000	650–850	15–40	25–50	Atlántico	Tramo Recto	-	-	-
223	Njajra	Njajra	Dukala-Abda	Marruecos	2012	2	750–850	500–1000	650–850	35	25–50	Atlántico	Tramo Recto	-	-	-
224	Baarane	Baarane	Dukala-Abda	Marruecos	2011	5	750–1000	500–1000	850–1000	25–35	25–50	Atlántico	Tramo Recto	-	-	-
225	Safi	Safi	Dukala-Abda	Marruecos	2004	3	300–500	30–500	350–500	15–25	1–25	Atlántico	Tramo Recto	Rocas	50	Tramo entre rocas
226	Diabat	Essaouira	Marrakech	Marruecos	2012	5	1350–1800	1500–2000	1500–1800	40–100	25–50	Atlántico	Tramo Recto	Puerto	5000	-
227	Hirtshals	Hirtshals	Nordjylland	Dinamarca	2005	2	175–275	30–500	200–350	15–20	1–25	Skagerrak	Tramo Recto	Puerto	800	-
228	Hirtshals2	Hirtshals	Nordjylland	Dinamarca	2011	2	2350–2500	2000–2500	2300–2500	75–150	75–100	Skagerrak	Tramo Curvo	Puerto	3000	-
229	Hulsig	Skagen	Nordjylland	Dinamarca	2006	1	60	30–500	30–200	5	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
230	Saeby	Saeby	Nordjylland	Dinamarca	2005	1	170	30–500	30–200	6	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
231	Lyngsa	Lyngsa	Nordjylland	Dinamarca	2012	1	250	30–500	200–350	7	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
232	Lyngsa2	Lyngsa	Nordjylland	Dinamarca	2012	1	230	30–500	200–350	7–9	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
233	Lyngsa3	Lyngsa	Nordjylland	Dinamarca	2009	1	160	30–500	30–200	5	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
234	Lyngsa4	Lyngsa	Nordjylland	Dinamarca	2005	1	150	30–500	30–200	6–8	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
235	Fuglsang	Fuglsang	Midtjylland	Dinamarca	2012	3	125–185	30–500	30–200	5–7	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
236	Alsrode	Alsrode	Midtjylland	Dinamarca	2012	1	170	30–500	30–200	7–10	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
237	Balle	Balle	Midtjylland	Dinamarca	2005	3	150–300	30–500	200–350	8–15	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
238	Holme	Holme	Midtjylland	Dinamarca	2012	1	110	30–500	30–200	5	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
239	Ebeltoft	Ebeltoft	Midtjylland	Dinamarca	2005	1	120	30–500	30–200	6–7	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
240	Oerne	Oerne	Midtjylland	Dinamarca	2012	1	117	30–500	30–200	3–4	1–25	Kattegat	Tramo Recto	Rocas	50	-
241	Oerne2	Oerne	Midtjylland	Dinamarca	2012	3	80–100	30–500	30–200	3–5	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Rocas	100	-
242	Ebeltoft2	Ebeltoft	Midtjylland	Dinamarca	2012	2	400–500	30–500	350–500	8–13	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Puerto	1000	-
243	Bogens	Bogens	Midtjylland	Dinamarca	2012	2	85–120	30–500	30–200	4–5	1–25	Kattegat	Tramo Recto	Muelle	50	Bahía con puerto (8 km)
244	Orby	Orby	Midtjylland	Dinamarca	2012	6	200–350	30–500	200–350	5–20	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
245	Stodov	Stodov	Midtjylland	Dinamarca	2012	2	210–275	30–500	200–350	8–20	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Espigones	400	-
246	Ahuse	Ahuse	Midtjylland	Dinamarca	2012	1	95	30–500	30–200	5–8	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Puerto	350	-
247	Grund	Grund	Midtjylland	Dinamarca	2005	1	115	30–500	30–200	4–7	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Muelle	450	-
248	Kellers	Brejning	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	55	30–500	30–200	5	1–25	Kattegat	Desembocadura	Muelle	300	-
249	Hyby	Hyby Lund	Syddanmark	Dinamarca	2007	1	220	30–500	200–350	7–9	1–25	Kattegat	Tramo Recto	Espigón	1000	-
250	Orby Hage	Orby Hage	Syddanmark	Dinamarca	2012	2	60–125	30–500	30–200	4–5	1–25	Kattegat	Desembocadura	-	-	-
251	Aarosund	Aarosund	Syddanmark	Dinamarca	2012	2	65–75	30–500	30–200	4–5	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Puerto	50	-
252	Medsted	Medsted	Syddanmark	Dinamarca	2012	2	175–195	30–500	30–200	6–9	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
253	Brunbjerg	Brunbjerg	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	550	500–1000	500–650	15–35	25–50	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
254	Blans	Blans	Syddanmark	Dinamarca	2005	1	90	30–500	30–200	7–10	1–25	Kattegat	Desembocadura	Espigón	300	Tramo entre espigones
255	Augustenhof	Augustenhof	Syddanmark	Dinamarca	2005	3	100–200	30–500	30–200	7–13	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Espigón	700	-
256	Ny Pol	Sydals	Syddanmark	Dinamarca	2012	3	120–170	30–500	30–200	4–10	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
257	Kegnaeshoj	Kegnaeshoj	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	70	30–500	30–200	6–8	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
258	Skelde	Skelde	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	100	30–500	30–200	5–6	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-

Tabla A.1 – Continuación

No.	Denominación	Ciudad/Pueblo	Región	País	Año imagen	No. de suces.	Longitud de onda λ (m)	Intervalo λ 500 m [,)	Intervalo λ 150–300 m [,)	Amplitud A (m)	Interv. A 25–50 m [,)	Océano/Mar	Tipo tramo de costa	Tipo obstáculo	Distancia aprox. a obra (m)	Observaciones
259	Otterup	Otterup	Syddanmark	Dinamarca	2005	1	700	500–1000	650–850	40	25–50	Kattegat	Desembocadura	-	-	-
260	Nordskov	Nordskov	Syddanmark	Dinamarca	2012	3	170–250	30–500	30–200	6–13	1–25	Kattegat	Desembocadura	-	-	-
261	Nordskov2	Nordskov	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	275	30–500	200–350	15–20	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
262	Sibirien	Sibirien	Syddanmark	Dinamarca	2005	2	130	30–500	30–200	5–8	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
263	Stensmark	Stensmark	Midtjylland	Dinamarca	2005	4	120–260	30–500	30–200	7–20	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	Sedimento muy grueso
264	Greena	Greena	Midtjylland	Dinamarca	2012	2	200–550	30–500	350–500	10–20	1–25	Kattegat	Tramo Recto	Puerto	200	Sedimento muy grueso
265	Hesselager	Hesselager	Syddanmark	Dinamarca	2005	1	165	30–500	30–200	6–8	1–25	Kattegat	Tramo Recto	Espigón	200	-
266	Troense	Troense	Syddanmark	Dinamarca	2012	2	65	30–500	30–200	3–5	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Espigón	300	-
267	Helnaes By	Helnaes By	Syddanmark	Dinamarca	2011	2	160–190	30–500	30–200	3–5	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
268	Saltofte	Saltofte	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	100	30–500	30–200	3–4	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
269	Toro	Toro Huse	Syddanmark	Dinamarca	2012	3	160–190	30–500	30–200	7–15	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
270	Kalvehave	Kalvehave	Syddanmark	Dinamarca	2012	1	190	30–500	30–200	12	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
271	Kalvehave2	Kalvehave	Syddanmark	Dinamarca	2005	4	100–200	30–500	30–200	5–9	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
272	Bagenkop	Bagenkop	Syddanmark	Dinamarca	2005	1	150	30–500	30–200	5–6	1–25	Báltico	Tramo Curvo	Puerto	500	-
273	Hov	Hov	Syddanmark	Dinamarca	2012	2	115–190	30–500	30–200	5–10	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Muelle	400	-
274	Svino	Svino	Sjaelland	Dinamarca	2012	2	80–155	30–500	30–200	3–8	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
275	Tranderup	Tranderup	Sjaelland	Dinamarca	2012	2	80–120	30–500	30–200	5–11	1–25	Kattegat	Tramo Recto	-	-	-
276	Ostrup	Ostrup	Sjaelland	Dinamarca	2012	3	90–120	30–500	30–200	3–11	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
277	Ostrup2	Ostrup	Sjaelland	Dinamarca	2012	2	135–150	30–500	30–200	5–7	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	-	-	-
278	Bjornstrup	Bjornstrup	Sjaelland	Dinamarca	2012	2	45–70	30–500	30–200	3–4	1–25	Kattegat	Tramo Curvo	Muelle	140	-
279	Odde	Sjaellands Odde	Sjaelland	Dinamarca	2012	4	90–200	30–500	30–200	5–15	1–25	Kattegat	Tramo Recto	Espigón	80	-
280	Hjelm	Hjelm	Sjaelland	Dinamarca	2012	3	70–160	30–500	30–200	3–10	1–25	Báltico	Tramo Recto	-	-	-
281	Gerringe	Gerringe	Sjaelland	Dinamarca	2012	3	130–165	30–500	30–200	5–13	1–25	Báltico	Tramo Recto	-	-	-
282	Kronsgaard	Kronsgaard	Schleswig-Holstein	Alemania	2010	3	50–95	30–500	30–200	3–5	1–25	Báltico	Tramo Recto	-	-	-
283	Langholz	Langholz	Schleswig-Holstein	Alemania	2006	1	165	30–500	30–200	10–12	1–25	Báltico	Tramo Curvo	Espigón	150	-
284	Aasee	Karlsmine	Schleswig-Holstein	Alemania	2006	3	65–185	30–500	30–200	3–10	1–25	Báltico	Tramo Curvo	Espigón	350	-
285	Aasee2	Karlsmine	Schleswig-Holstein	Alemania	2006	3	190–335	30–500	200–350	8–30	1–25	Báltico	Tramo Curvo	Espigón	150	-
286	Noer	Noer	Schleswig-Holstein	Alemania	2000	5	55–220	30–500	30–200	3–6	1–25	Báltico	Tramo Curvo	-	-	-
287	Rerik	Rerik	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	3	100–400	30–500	200–350	3–10	1–25	Báltico	Tramo Curvo	-	-	-
288	Kägsdorf	Kägsdorf	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	2	150–260	30–500	30–200	6–8	1–25	Báltico	Tramo Curvo	-	-	-
289	Kägsdorf2	Kägsdorf	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	2	185–385	30–500	200–350	10–15	1–25	Báltico	Tramo Curvo	-	-	-
290	Prerow	Prerow	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	3	215–175	30–500	200–350	5–13	1–25	Báltico	Tramo Recto	Espigones	150	-
291	Prerow2	Prerow	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	8	140–330	30–500	200–350	4–12	1–25	Báltico	Tramo Recto	Espigones	1200	-
292	Sagard	Sagard	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	2	330–345	30–500	200–350	12–16	1–25	Báltico	Tramo Curvo	Puerto	250	-
293	Thiessow	Thiessow	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	3	90–155	30–500	30–200	4–12	1–25	Báltico	Tramo Curvo	-	-	-
294	Zudar	Zudar	Mecklenburg-Vorpommern	Alemania	2012	3	240–320	30–500	200–350	5–15	1–25	Báltico	Tramo Curvo	-	-	-

La localización de las ondulaciones en Google Earth se puede obtener descargando el siguiente archivo .kmz: https://www.dropbox.com/s/8j59318errmgpxk/PFC_Ondulaciones.kmz

Bibliografía

- Beels, C., Henriques, J., Rouck, J. D., Pontes, M., Backer, G. D., and Verhaeghe, H. (2007). Wave energy resource in the North Sea. In *Proceedings of the 7th European Wave and Tidal Energy Conference*.
- Bird, E. C. F. (1 edition: 1985). *Coastline Changes: a Global Review*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Bird, E. C. F. (2010). *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*. Springer.
- Bird, E. C. F. (2011). *Coastal Geomorphology: An Introduction*. Wiley.
- Bruun, P. (1954). Migrating sand waves or sand humps, with special reference to investigations carried out on the Danish North Sea coast. In *Proceedings of the 5th International Conference on Coastal Engineering*, pages 269–295.
- Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E (2013). Acción estratégica de energía y cambio climático. <http://www.c3e.ihcantabria.com/>. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino.
- Coco, G. and Murray, A. B. (2007). Patterns in the sand: From forcing templates to self-organization. *Geomorphology*, 91:271–290.
- Davis, Jr., R. and Fitzgerald, D. (2004). *Beaches and Coasts*. Wiley-Blackwell.
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. (2001). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- EMODNet Hydrography portal (2013). European marine observation and data network (emodnet). <http://www.emodnet-hydrography.eu>.
- European Environment Agency (EEA) (2012). Elevation map of europe. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/digital-elevation-model-of-europe#tab-gis-data>.
- Falqués, A. (2006). Wave driven alongshore sediment transport and stability of the Dutch coastline. *Coastal Engineering*, 53:243–254.
- Idier, D., Falqués, A., Ruessink, B. G., and Garnier, R. (2011). Shoreline instability under low-angle wave incidence. *Journal of Geophysical Research*, 116.
- ISPRA - www.idromare.it (2013). Apat - servizio mareografico. http://www.idromare.it/analisi_dati.php. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

- Kaergaard, K., Fredsoe, J., and Knudsen, S. B. (2012). Coastline undulations on the West Coast of Denmark: Offshore extent, relation to breaker bars and transported sediment volume. *Coastal Engineering*, 60:109–122.
- Levoy, F., Anthony, E. J., Monfort, O., and Larssonneur, C. (2000). The morphodynamics of megatidal beaches in Normandy, France. *Marine Geology*, 171:39–59.
- López-Ruiz, A., Ortega-Sánchez, M., Baquerizo, A., and Losada, M. A. (2012). Short and medium-term evolution of shoreline undulations on curvilinear coasts. *Geomorphology*, 159-160:189–200.
- Medellín, G., Medina, R., Falqués, A., and González, M. (2008). Coastline sand waves on a low-energy beach at “El Puntal” spit, Spain. *Marine Geology*, 250(3-4):143–156.
- Ortega-Sánchez, M., Fachin, S., Sancho, F., and Losada, M. A. (2008). Relation between beachface morphology and wave climate at Trafalgar beach (Cádiz, Spain). *Geomorphology*, 99:171–185.
- Puertos del Estado (2013). Ministerio de fomento. http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/redes_de_medida/index.html. Gobierno de España.
- Schwartz, M. L., editor (2006). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer.
- Scott, T., Masselink, G., and Russell, P. (2011). Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales. *Marine Geology*, 286:1–20.
- Soomere, T., Weisse, R., and Behrens, A. (2012). Wave climate in the Arkona Basin, the Baltic Sea. *Ocean Sci.*, 8:287–300.
- Stewart, C. J. and Davidson-Arnott, R. G. (1988). Morphology, formation and migration of longshore sandwaves; Long Point, Lake Erie, Canada. *Marine Geology*, 81:63–77.
- The World Factbook (2009). Central intelligence agency. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>.
- Thevenot, M. M. and Kraus, N. C. (1995). Longshore sand waves at Southampton Beach, New York: observation and numerical simulation of their movement. *Marine Geology*, 126:249–269.
- van Enkevort, I. M. J., Ruessink, B. G., Coco, G., Suzuki, K., Turner, I. L., Plant, N. G., and Holman, R. A. (2004). Observations of nearshore crescentic sandbars. *Journal of Geophysical Research*, 109.
- Verhagen, H. J. (1989). Sand Waves along the Dutch Coast. *Coastal Engineering*, (13):129–147.
- Waters, R., Engström, J., Isberg, J., and Leijon, M. (2009). Wave climate off the Swedish west coast. *Renewable Energy*, 34(6):1600–1606.
- Windfinder.com (2013). Wind & weather statistics. <http://www.windfinder.com/forecasts#4/51.40/9.67>.
- Woodroffe, C. D. (2002). *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press.

Anejo I

Borrador de artículo científico

Identification and classification of shoreline undulations patterns: a European database

A. Lira, A. López-Ruiz, P. Magaña, M. Ortega-Sánchez, M.A. Losada

Interuniversity Research Institute of the Earth System in Andalucía. University of Granada. CEAMA Building, Avda. del Mediterráneo, s/n. 18006 Granada, Spain

Abstract

Shoreline undulations are medium to large spatial scale shoreline features with longshore dimensions ranging from hundreds to thousands of meters and amplitudes from tens to hundreds of meters. This work presents a *database* with a total of 294 shoreline undulations series (SU) identified using Google Earth Imagery along 50.000 kms of the European and Northern Africa coast of 15 countries. The identification of the series of undulations was based on the values of their wavelengths and amplitudes. The database contains information of 17 fields that are available for the scientific community in combination with the global map with the location of the SU. Denmark is the country that exhibits more features (67) whereas only one was identified in Northern Ireland. Analysis of the results show that SU ranging from 50 to 100m in wavelength and below 25m in amplitude are predominant, whereas those being larger than 1000m in wavelength and 50m in amplitude are of minor importance. 223 (76%) of the identified SU are a series of one, two or three individual undulations, whereas the rest showed more than 3. A total of 14 typologies of SU were identified depending on the wavelength, amplitude, symmetry and number of undulations. Correlations between wavelength and amplitudes are significantly higher when those typologies are considered in the analysis. A total of 63% of the SU are located in shorelines with some curvature, indicating the importance of physical wave propagation processes in their evolution.

Keywords:

Shoreline undulations, database, Europe, morphology

1. Introduction

Coasts around the world develop a wide range of morphologies depending on many factors, such as the forcing conditions, the characteristic of the forming materials or the regional geology (Carter and Woodroffe, 1997; Woodroffe, 2002). In a recent extensive work, Bird (2010) published an update revision of the world-wide coastal morphologies. Similar studies have been done at lower spatial scales (i.e. individual countries). Those regional or global studies identified and analyzed the main characteristics of such coastal morphologies (i.e. cliff, beaches, estuaries, lagoons, etc.) but did not generally focus on the secondary lower-spatial scale morphologies superimposed on the global coastal morphology.

Among those global morphologies, beaches have been the most studied due to their social, economic and environmental interests (Davis and Fitzgerald, 2009). Although they are frequently found on rectilinear or slightly curved coasts, they can be found in other environments such as estuaries, deltas or river mouths (Bird, 2011). From a morphological point of view, beaches have been intensively analyzed, with special attention to both the plan form and beach profile (Dean and Dalrymple, 2001). Many studies also analyzed the generation, evolution and characteristics of secondary shoreline features. Those features can be parallel or perpendicular to the shoreline and may have different geometrical characteristics (Pethick, 1984).

*Corresponding author

Among those features, during last years increasing attention is being focused to shoreline undulations (hereinafter referred to as SU). They are generally classified under rhythmic coastline features, although some examples are neither periodic nor regularly spaced (López-Ruiz et al., 2012). They can be defined as medium to large spatial scale shoreline features with longshore dimensions ranging from hundreds to thousands of meters and amplitudes from tens to hundreds of meters. They are also frequently found associated to sudden changes in the orientation of the coast such as at spits (Kaergaard and Fredsoe, 2012) and near human infrastructures. Many authors named this type of features as shoreline sand waves, whereas the latter are generally considered rhythmically spaced and that migrate alongshore (Stewart and Davidson-Arnott, 1988; Davidson-Arnott and Van Heyningen, 2003). They can be found in many different environments (López-Ruiz et al., 2012).

The mechanism(s) behind the formation of the SU is still not well understood. The main working hypothesis followed during last years is that coastlines with a wave climate dominated by very oblique incidence instabilize and commonly feature large scale undulations, suggesting that this instability could be the main mechanism responsible for the formation of regularly spaced SU (Ashton et al., 2001; Ashton and Murray, 2006; Falqués, 2006a; Medellín et al., 2008). Recent advances reveal that the variation of the alongshore sediment transport with the angle formed by the wave crests and the coastline as well as the surf zone width play a major role in the development of SU (López-Ruiz et al., 2012).

In comparison with other general beach characteristics such as the morphological state (Scott et al., 2011a) or with other shoreline features such as beach cusps (Coco et al., 1999), a global compilation of sites showing SU and for scientific purposes is not available. The main objective of this work is to present a database with the SU (including shoreline sand waves) that have been identified and characterized (294 samples) after reviewing a total of 50.000 kms of coast in Europe and Northern Africa. This database will be public and available for the scientific community to gain deeper insight in coastal morphodynamics processes. This paper also provides some analysis and correlations of the different variables that have been used to characterized the undulations.

The paper is organized as follows. After the introduction of the region of study, the methodology that has been applied to identify, characterize and analyze the features is exposed. Results are shown subsequently, focusing on regional, geometrical and hydrodynamic basic statistics. Cluster analysis is then applied to identify possible typologies and the relative influence of the different variables.

2. Methodology

2.1. Region of study

A list of countries where information could be more easily gathered by the authors were selected for this work. Coastlines of Belgium, Denmark, France, Germany, Ireland, Italy, Netherlands, Portugal, Spain and United Kingdom in Europe and Argelia and Morroco in Northern Africa have been analyzed (Figure ??). Those last two countries were selected due to the proximity to Spain, being maritime information then available. A total of approximately 50.000 kms of coast were analyzed.

Images from Google Earth imagery database have been used for our analysis. Google Earth maps the Earth by the superimposition of images obtained from satellite imagery, aerial photography and GIS 3D globe. Resolution for the sites that have been analyzed in this work is <1 meters/pixel; for some cases resolution was in the order of cms/pixel. It worths mentioning that Google is actively replacing with higher resolution datasets, and are nowadays much better than the original resolutions of 15-30m/pixels. The ruler tool of Google Earth was used to measure the distances, and some other complementary tools of the software (i.e. timelapse or zoom) were used to help during the long time-consuming task of analyzing the images.

2.2. Identification and global information

Shorelines were visually analyzed and the undulations were mainly identified based on the ratio λ/A , where λ and A are the wavelength and amplitude of the undulations, respectively (Figure 2 - global geometry of the shoreline, figura 2.2. del proyecto). In this work any undulation with $\lambda/A \in (3 - 83)$ was considered as a SU (Table 1). For some cases only one undulation was present, whereas for many others series of

undulations characterized the shape of the shoreline. For each site where a SU was identified many data were gathered and included in a general table (Table 2). This information can be divided in four categories: (1) general information, (2) geometry, (3) constraints and (4) wave climate. Regarding the geometry, when the shape of the undulation was not symmetric information about the crest and sine of the undulation was distinguished in the table. Regarding the constraints, it was considered that they influence the undulations when they were closer than $\sim 5\lambda$. Open software based on GIS was used to depict the data and elaborate different types of maps.

Data for maritime climate included in the table 2 refers to mean or average values of the main characteristic variables. Wave date was obtained from: (1) Puertos del Estado (Spanish Ministry of Public works) for Spain and Northern African sites and from (Ortega-Sánchez et al., 2008); (2) From Levoy et al. (2000) for sites identified in the French coast close to the English Channel; (3) From Beels et al. (2007) and Falqués (2006b) for sites at the German and UK coasts close to the North Sea; (4) From Kaergaard et al. (2012) for sites at the Danish coast close to the North Sea; (5) From Scott et al. (2011b) for sites at the UK coast close to the Atlantic Ocean; (6) From Waters et al. (2009) and Soomere et al. (2012) for sites at the Danish and German coasts close to the Kattegat, Skagerrak and Baltic Sea and (7) From ISPRA - www.idromare.it (2013) for the Italian sites. For the wind data, Puertos del Estado (2013) and Windfinder.com (2013) were used. Tidal ranges for Spain were obtained from Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E (2013).
Nice

2.3. Analysis of the information

The information collected for the different sites was pre-processed using different software for data analysis. For subsequent analysis the following variables were analyzed:

- Country and ocean
- Length of the undulation/s
- Amplitude of the undulation/s
- Number of undulations at a given site
- Symmetry
- Type of coast
- Constraints
- Wave climate (only for some sites)
- Global bathymetry and topography

Basic statistical analysis has been done with the previous information using R free software environment. For some variables (λ , A and distance to the constraint) intervals were defined. Also, correlations between groups of two and three variables have been looked for, with special attention to λ/A , and results have been compared with others published in previous works. Finally, cluster analysis was conducted in order to find out similarities between data groups. Regarding the global bathymetry and topography, different characteristics of the sites with SU were plotted in global maps using data from XX and XX, respectively.

3. Results

3.1. General results

The global database is available in XX (kmz+excel) as supplementary material of this paper.

3.2. Regional analysis

Countries, Med vs Atla, etc.

3.3. Geometric analysis

λ vs A vs ...

3.4. Typologies

3.5. Climate

Waves, wind, tides

4. Conclusions

References

- Ashton, A., Murray, A.B., Arnault, O., 2001. Formation of coastline features by large-scale instabilities induced by high-angle waves. *Nature* 414, 296–300.
- Ashton, A.D., Murray, A.B., 2006. High-angle wave instability and emergent shoreline shapes: 1. Modeling of sand waves, flying spits, and capes. *Journal of Geophysical Research* 111, F04011, doi:10.1029/2005JF000422.
- Beels, C., Henriques, J., Rouck, J.D., Pontes, M., Backer, G.D., Verhaeghe, H., 2007. Wave energy resource in the North Sea, in: *Proceedings of the 7th European Wave and Tidal Energy Conference*.
- Bird, E., 2010. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*. Springer.
- Bird, E., 2011. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. Wiley.
- Bruun, P., 1954. Migrating sand waves or sand humps, with special reference to investigations carried out on the Danish North Sea coast, in: *Proceedings of the 5th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 269–295.
- Cambio Climático en la Costa Española: Visor C3E, 2013. Acción estratégica de energía y cambio climático. <http://www.c3e.ihcantabria.com/>. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino.
- Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D., 1997. *Coastal Evolution*. Cambridge University Press.
- Coco, G., O'Hare, T., Huntley, D., 1999. Beach cusps: A comparison of data and theories for their formation. *Journal of Coastal Research* 15, 741–749.
- Davidson-Arnott, R.G.D., Van Heyningen, A.G., 2003. Migration and sedimentology of longshore sandwaves, Long Point, Lake Erie, Canada. *Sedimentology* 50, 1123–1137.
- Davis, R.J., Fitzgerald, D., 2009. *Beaches and Coasts*. Wiley-Blackwell.
- Dean, R.G., Dalrymple, R.A., 2001. *Coastal processes with engineering applications*. Cambridge University Press.
- Falqués, A., 2006a. Wave driven alongshore sediment transport and stability of the Dutch coastline, in: *Coastal Engineering*, Tech Univ Catalonia, Dept Appl Phys, Catalonia, Spain. pp. 243–254.
- Falqués, A., 2006b. Wave driven alongshore sediment transport and stability of the Dutch coastline. *Coastal Engineering* 53, 243–254.
- ISPRA - www.idromare.it, 2013. Apat - servizio mareografico. <http://www.idromare.it>. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- Kaergaard, K., Fredsoe, J., 2012. Numerical modeling of shoreline undulations part 2: Varying wave climate and comparison with observations. *Coastal Engineering* , 1–14.
- Kaergaard, K., Fredsoe, J., Knudsen, S.B., 2012. Coastline undulations on the West Coast of Denmark: Offshore extent, relation to breaker bars and transported sediment volume. *Coastal Engineering* 60, 109–122.
- Levoy, F., Anthony, E.J., Monfort, O., Larssonneur, C., 2000. The morphodynamics of megatidal beaches in Normandy, France. *Marine Geology* 171, 39–59.
- López-Ruiz, A., Ortega-Sánchez, M., Baquerizo, A., Losada, M.A., 2012. Short and medium-term evolution of shoreline undulations on curvilinear coasts. *Geomorphology* 159–160, 189–200.
- Medellín, G., Medina, R., Falqués, A., González, M., 2008. Coastline sand waves on a low-energy beach at “El Puntal” spit, Spain. *Marine Geology* 250, 143–156.
- Ortega-Sánchez, M., Fachin, S., Sancho, F., Losada, M.A., 2008. Relation between beachface morphology and wave climate at Trafalgar beach (Cádiz, Spain). *Geomorphology* 99, 171–185.
- Pethick, J., 1984. *An introduction to coastal geomorphology*. Edward Arnold.
- Puertos del Estado, 2013. Ministerio de fomento. <http://www.puertos.es>. Gobierno de España.
- Schwartz, M.L. (Ed.), 2006. *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer.
- Scott, T., Masselink, G., Russell, P., 2011a. Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales. *Marine Geology* 286, 1–20.
- Scott, T., Masselink, G., Russell, P., 2011b. Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales. *Marine Geology* 286, 1–20.
- Soomere, T., Weisse, R., Behrens, A., 2012. Wave climate in the Arkona Basin, the Baltic Sea. *Ocean Sci.* 8, 287–300.
- Stewart, C.J., Davidson-Arnott, R.G.D., 1988. Morphology, Formation and Migration of Longshore Sandwaves - Long Point, Lake Erie, Canada. *Marine Geology* 81, 63–77.
- Thevenot, M.M., Kraus, N.C., 1995. Longshore sand waves at Southampton Beach, New York: observation and numerical simulation of their movement. *Marine Geology* 126, 249–269.
- Verhagen, H.J., 1989. Sand Waves along the Dutch Coast. *Coastal Engineering* , 129–147.
- Waters, R., Engstrom, J., Isberg, J., Leijon, M., 2009. Wave climate off the Swedish west coast. *Renewable Energy* 34, 1600–1606.
- Windfinder.com, 2013. Wind & weather statistics. <http://www.windfinder.com>.
- Woodroffe, C.D., 2002. *Coasts: Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press.

Reference	λ (m)	A (m)	λ/A
Bruun (1954)	300–2000	60–80	~ 5 -25
Verhagen (1989)	2500–22000	30–500	~ 83 -44
Thevenot and Kraus (1995)	750	40	~ 19
Schwartz (2006)	500–750	15–25	~ 30 -33
Medellín et al. (2008)	125–150	15	~ 8 -10
López-Ruiz et al. (2012)	500–2000	150	~ 3 -13

Table 1: Geometrical characteristics of shoreline undulations identified in the literature.

	Term	Units	Range
General information	Name (Id)	Nominal	-
	Location (city/village, region, country)	Nominal	-
	Ocean/sea	Nominal	-
	Year (of the images)	-	2000 to 2012
Geometry	Number of undulations	-	1 to >15
	Length	m	30 - 5000
	Amplitude (total)	m	6 - 500
	Length crest/sine	m	10 - 3000
	Amplitude crest/sine	m	2 - 300
Constraints	Type of coast	Nominal	-
	Obstacle (natural or artificial)	Nominal	-
	Distance to the obstacle	m	20 – 8000
Wave climate	Significant wave height (H_s)	m	0.43 – 1.71
	Peak period (T_p)	s	3.75 – 10.39
	Tidal range	m	0.31 – 4.90
	Wave energy flux (module)	kW/m	0.53 – 13.91
	Wave energy flux (direction)	($^\circ$)	-

Table 2: Main fields included in the general table that characterize the undulations. Wave climate data corresponds only to sites where information was available to the authors. Some of the expanded fields of the table are: (1) Ocean/Sea: Mediterranean Sea, Atlantic Ocean, Bay of Biscay, English Channel, Irish Sea, North Sea, Skagerrak, Kattegat and Baltic Sea; (2) Type of coast: rectilinear, curvilinear and mouth; (3) Obstacle: Channelized river mouth, Breakwater, Pier, Harbor and Rocks. An obstacle is considered as a constraint when it is located at a distance shorter than