

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



Tesis:

SIMULACIÓN DEL OLEAJE EN LA BAHÍA DE PUERTO ÁNGEL, OAXACA, EMPLEANDO EL MODELO NUMÉRICO SWAN.

Que para obtener el Título Profesional de Licenciado en
Oceanología

Presenta:

Miguel Ángel Figueroa Alavez

Director de Tesis:

Dr. Jorge Castro López.

Puerto Ángel Oaxaca

2016

Dedicatoria

*Si he visto más lejos
es porque estoy sentado
sobre los hombros de gigantes.*

Isaac Newton.

A mi familia...

Porque como las ramas de un árbol, crecemos en distintas direcciones pero nuestra raíz continúa siendo la misma. Así la vida de cada uno de nosotros será parte fundamental, una de la otra.

Porque los padres que aman a sus hijos se han convertido en papá y mamá.

Para mis hermanos, con quienes comparto memorias de infancia y sueños de adulto.

Para ustedes, quienes me ayudaron a sobrepasar las piedras del camino; quienes escucharon y sollozaron mis momentos más tristes y los más felices, quienes fueron, son y serán mi motivación y regocijo. A ustedes dedico este logro, porque más que mío, es un logro de todos.

Agradecimientos

Agradezco las enseñanzas de todos mis profesores a lo largo de mi estadía en esta Universidad. Ya que me han enseñado más que sólo lecciones teóricas durante esta travesía.

A Jorge Castro, quien compartió el interés y motivación durante el desarrollo de este último paso para completar esta etapa, y quien además, inspiró confianza tras conversaciones, consejos y chistes durante mucho tiempo.

Así también, aprecio el esfuerzo que realizaron los revisores de la tesis, por sus comentarios, puntos de vista y correcciones: M. en C. Ricardo R. Hernández H., M. en C. Bárbara Zavala T., Oc. Ángel Cuevas A., Dr. Angel Ronsón P.

De manera muy especial quiero agradecer a la congregación y combinación mas temible y divertida de la UMAR: al “Drink Team”, con quienes pasé los momentos de meditación más grande en esta historia, mis amigos, hermanos y compañeros: Alberto Piña Ortiz “Piña”, Juan Trujano “negro”, Luis Salgado “Luyo”, Alejandro Cruz “pochu”, el más amable y carismático Hugo Molina “gara”, José Ángel R. “Ronsón”, Cotsicayala “cotsi”, Francisco Muñoz, más conocido como “paquito”, Gabriela Sánchez “Sta. Patrona de las aguas locas”, Sabino Aguario “sabino”, Eduardo Calderon “Honda”, el “chino” y por último, pero no menos importantes Lenin M. Flores “oso” y David López García con quienes pasé muy buenos momentos de pláticas y consejos. Con ustedes que podría citar mil y una frases de batalla, por lo caídos, por lo que no se dan por vencidos, en fin, frases para toda ocasión.

Y para aguantar todo esto, no podría ser posible sin una buena alimentación, balanceada y rica en Omega3, para ello también agradezco las buenas comidas y guisos de Doña Mary, quien se esforzaba por prepararnos y deleitarnos con sus platillos, “y pobre de aquel que le hiciera caras a su comida”. Sus regaños insultos y consejos hacían de la hora de comida un buen desestrés.

No sin antes mencionara a las chicas mas guapas que hicieron más amena nuestras reuniones y salidas: Mildred A. Valdivia, Jeymi Santiago, Adriana E. Rodríguez, sin duda alguna, muy buena combinación para nuestros eventos.

A mis amigas y amigos de generación, Esmeralda Alonso, Maleni López, Margarita Mejía, Karen Ortega, Rubén “nuevo”, Emanuel “borre”, Nancy Pérez y Gaby Sánchez.

Finalmente, de manera más reciente a mis amigos y conocidos durante mi estadía en Huatulco: Arely, Alex, Jair, Mishell, Katy, Marbella, Juan Carlos, Pedro, Aranza, Julio, Gladys, Adri y mi mención especial; Marcecy, quien llenó de buenos y divertidos momentos con su singular alegría y bromas, quien repartió de grandes aventuras, comprensión, apoyo y consejos en este pequeño trayecto, esperando así, permanezca mucho tiempo a mi lado. . .

Índice general

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Lista de figuras	VII
Lista de tablas	XIV
1. Introducción	1
2. Antecedentes	6
3. Objetivos	12
3.1. Generales	12
3.2. Particulares	12
4. Descripción y funcionamiento del modelo	14
4.1. Ecuaciones Dictaminantes	16
4.1.1. Descripción espectral de ondas oceánicas	16
4.2. Propagación de la energía del Oleaje	18

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	V
4.2.1. Cinemática del oleaje	18
4.2.2. Ecuación de Balance de Acción Espectral	19
4.3. Fuentes y Sumideros	22
4.3.1. Conceptos Generales	22
4.3.2. Amortiguamiento del Oleaje debido a la Vegetación	25
4.4. Influencia de Corrientes sobre el Oleaje	27
4.5. Modelado de Obstáculos	27
4.5.1. Transmisión	28
4.5.2. Reflexión	28
4.5.3. Difracción	29
4.6. Oleaje Inducido por Set-Up	30
4.7. Aproximación Numérica	31
4.8. Método de Diferencias Finitas	32
4.8.1. Aproximación de la Primera Derivada	32
4.9. Método de Diferencias Finitas	34
4.10. Método de Crout	36
4.10.1. Algoritmo de Crout	37
4.11. Validación del modelo	38
5. Área de estudio	41
6. Metodología	45
7. Resultados	49

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	VI
7.1. Simulación 1	50
7.2. Simulación 2	54
7.3. Simulación 3	57
7.4. Simulación 4	60
7.5. Simulación 5	63
7.6. Simulación 6	66
7.7. Simulación 7	69
7.8. Simulación 8	72
7.9. Simulación 9	75
7.10. Simulación 10	78
7.11. Simulación 11	81
7.12. Simulación 12	84
7.13. Simulación 13	87
7.14. Simulación 14	90
7.15. Simulación 15	93
8. Discusiones	96
8.1. Predicción del campo de oleaje	98
8.2. Espectros de frecuencia y direccionales	100
9. Conclusiones	103
Bibliografía	104

Índice de figuras

4.1. Ejercicio de refracción para validar el modelo numérico, con un ángulo de incidencia de 120° , un metro de altura y un periodo de 10 s.	40
4.2. Ejercicio propuesto en un complejo costero del mar del Norte	40
5.1. Área de estudio: Bahía de Puerto Ángel, Oaxaca, donde se realizaron las simulaciones correspondientes a los escenarios propuestos.	42
7.1. Batimetría de la Bahía de Puerto Ángel, datos obtenidos del Laboratorio de Dinámica de Procesos Costeros de la Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Las curvas de nivel en blanco con sus respectivos valores en negro y escala de color en metros. Los recuadros en blanco representan los puntos establecidos para extraer información puntual y los números en rojo corresponden a la secuencia de los mismos.	50
7.2. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 1.	52
7.3. Espectro direccional del oleaje para la simulación 1, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Noroeste predominante.	52

7.4. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 1. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 53

7.5. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 2. 55

7.6. Espectro direccional del oleaje para la simulación 2, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Noreste predominante. 55

7.7. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 2. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 56

7.8. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 3. 58

7.9. Espectro direccional del oleaje para la simulación 3, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Norte predominante. 58

7.10. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 3. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 59

7.11. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 4 61

7.12. Espectro direccional del oleaje para la simulación 4, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Noroeste y Noreste. 61

7.13. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 4. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 62

7.14. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 5. 64

7.15. Espectro direccional del oleaje para la simulación 5, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Noreste predominante. 64

7.16. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 5. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 65

7.17. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 6. 67

7.18. Espectro direccional del oleaje para la simulación 6, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Noreste predominante. 67

7.19. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 6. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 68

7.20. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 7. 70

7.21. Espectro direccional del oleaje para la simulación 7, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección hacia el Noroeste y Noreste. 70

7.22. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 7. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 71

7.23. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 8. 73

7.24. Espectro direccional del oleaje para la simulación 8, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Noreste. 73

7.25. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 8. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 74

7.26. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 9. 76

7.27. Espectro direccional del oleaje para la simulación 9, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia Noreste. 76

7.28. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 9. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 77

7.29. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 10 79

7.30. Espectro direccional del oleaje para la simulación 10, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Noreste y Noroeste. 79

7.31. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 10. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 80

7.32. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 11. 82

7.33. Espectro direccional del oleaje para la simulación 11, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Noreste. 82

7.34. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 11. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 83

7.35. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 12. 85

7.36. Espectro direccional del oleaje para la simulación 12, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Noreste. 85

7.37. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 12. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 86

7.38. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 13. 88

7.39. Espectro direccional del oleaje para la simulación 13, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Oeste y Noroeste. 88

7.40. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 13. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 89

7.41. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 14. 91

7.42. Espectro direccional del oleaje para la simulación 14, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Noreste. 91

7.43. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 14. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 92

7.44. Dirección media del oleaje representada por los vectores. Altura significativa representada por el mapa de colores y su escala en metros, con las condiciones iniciales escritas en la parte superior derecha para la simulación 15. 94

7.45. Espectro direccional del oleaje para la simulación 15, con valores predominantes en frecuencias bajas y con dirección predominante hacia el Noreste. 94

7.46. Espectro de densidad de energía del oleaje para cada una de los puntos establecidos en la simulación 15. Las frecuencias representadas en el eje x, y la densidad (m^2/Hz) en el eje y. 95

Índice de tablas

6.1. Escenarios para realizar las simulaciones dentro de la Bahía de Puerto Ángel, con las condiciones de frontera propuestas.	47
7.1. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 1	53
7.2. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 2.	56
7.3. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 3.	59
7.4. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 4.	62
7.5. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 5.	65
7.6. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 6.	68
7.7. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 7	71
7.8. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 8.	74

7.9. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 9. 77

7.10. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 10. 80

7.11. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 11. 83

7.12. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 12. 86

7.13. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 13. 89

7.14. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 14 92

7.15. Resultados puntuales para cada uno de los nodos en los que se extrajo información del oleaje correspondiente a la simulación 15. 95