

# Comparación de solitones en medios estacionarios y dinámicos

colegio@marymount.edu.mx

Diego Rincón, Fernando Lara, Daniel Barragán  
Colegio Marymount

## Resumen

Se analizaron solitones en dos medios, uno estacionario y uno dinámico. Para el medio estacionario se construyó un pequeño canal cilíndrico de 3.1 metros de largo por 4 pulgadas de diámetro usando un tubo de PVC partido a la mitad. Para el medio dinámico, acudimos al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde utilizamos un canal rectangular de 50 metros por 1 de ancho y uno de alto.

Se analizó la velocidad, el tiraje, y la amplitud (luego nos dimos cuenta que ninguna de estas propiedades nos fueron de utilidad) de cada una de las ondas. No se encontró relación entre éstas dado que la fuerza usada para crear el fenómeno no podía ser medida dentro del presupuesto del proyecto. Por lo tanto, se recurrió a una prueba aritmética que determinaría cuantitativamente si ambos fenómenos eran no lineales, por lo tanto probando que ambos eran solitones, teniendo las mismas propiedades.

La prueba indicaba que la onda en el medio estacionario era no lineal, por lo tanto un solitón. También decía que la del medio dinámico era lineal, por ende, no un solitón. Sin embargo, después de tomar en cuenta otras propiedades importantes de los solitones que sí se observaron en el medio dinámico, como el arrastre y la poca amplitud en gran profundidad, se pudo deducir que ambos eran no lineales, y por lo tanto, solitones.

**Introducción.** Un solitón es una onda solitaria que se propaga sin deformarse en un medio no lineal, es también la primera onda de un tren, o serie de ondas<sup>1</sup>. La amplitud de una onda es el valor máximo que puede alcanzar una magnitud oscilante en un periodo de tiempo<sup>2</sup>. El tiraje de un canal es el nivel de agua que contiene previo a cualquier experimento o fenómeno. La velocidad de cualquier objeto o fenómeno es la distancia que recorre en un tiempo dado. Un medio estacionario es el que no tiene movimiento previo al fenómeno, en este caso, algún tipo de corriente antes de que se genere el solitón. Un medio dinámico es aquel que tiene movimiento previo al fenómeno, en este caso corriente antes de que se genere el solitón. Su más importante propiedad es que no presenta superposición- es decir, que si chocan dos olas del mismo tamaño no se suman las amplitudes y siguen su camino como las otras olas, simplemente se “destruyen” y luego siguen su camino más adelante. Un ejemplo típico, y que se puede ver fácilmente, es el Tsunami que ocurrió hace un par de años en Indonesia. Debido a la destrucción que ha sido causada en tantas ocasiones por estos fenómenos, es de vital

importancia comprender todas las propiedades que estos contienen y cómo es que se comportan. La característica más importante que los difiere de las ondas lineales es la falta de superposición. La superposición es un fenómeno que sólo se presenta en ondas lineales. Consiste en que cuando dos ondas chocan, se suman las amplitudes y luego siguen su camino. La elongación resultante de la interacción de dos ondas es la suma algebraica de las elongaciones correspondientes a las ondas individuales. Con los solitones sucede lo opuesto, cuando dos solitones chocan, las ondas “se destruyen”, la amplitud reduciéndose a 0 y después es que ambas ondas siguen su camino<sup>3</sup>. Los solitones, aún cuando también son ondas, no se comportan de igual manera que las otras, siendo la anterior diferencia la más importante. Debido a esto, son un buen objeto de estudio. Todavía no se sabe mucho de los solitones, y su definición, aún cuando marca las diferencias entre estos y el resto de las ondas, sigue siendo un tanto vaga. Sin embargo, los solitones pueden ser creados en 2 medios, sistemas dinámicos, con movimiento, o estacionarios, sin movimiento.

**Antecedentes.** Los solitones fueron descritos por primera vez por el científico americano John Russell que lo observó inicialmente en un canal de agua. Lo hizo al observar un barco jalado por caballos que frenaba súbitamente (ver Figura 0.1). Un barco empezaba a avanzar, siendo jalado por caballos a lo largo del canal y se detuvo súbitamente. John Russell observó que se formaba una onda solitaria que mantenía su forma. Decidió recrear lo que vio y lo persiguió “1 o 2 millas”, cosa que lo llevó a fabricar un tanque en su casa, una especie de canal miniatura, y continuar los estudios<sup>4</sup>. Los solitones también han sido utilizados para la transmisión de datos. El primer uso de solitones fue propuesto en 1973 por Akira Hasegawa para mejorar la transferencia de datos en las redes ópticas de telecomunicaciones<sup>5</sup>. En 1988 Linn Mollenauer y su equipo transmitieron solitones a más de 4.000 km. En 1991 un equipo de investigadores transmitió solitones a más de 14.000 km. En 1998 Thierry Georges y su equipo en el centro de investigación y desarrollo de France Télécom lograron transmitir datos a una velocidad de un terabit por segundo, una velocidad impresionante mediante el uso de solitones. Finalmente, los solitones en el 2001 también se utilizaron para transporte de tráfico real de señales sobre una red comercial<sup>1</sup>.



Figura 0.1

Recreación del experimento de John Russell en el mismo acueducto donde John Russell realizó sus experimentos con solitones.

**Hipótesis.** Los solitones creados en medios estacionarios tienen las mismas propiedades que los que son creados en medios dinámicos.

### **Objetivos.**

- Observar y analizar solitones creados en medios dinámicos y solitones creados en medios estacionarios.
- Crear un solitón utilizando un tubo de PVC.
- Observar el solitón creado en un medio dinámico en el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) y analizar la relación de la amplitud de la onda con la velocidad de ésta, la relación entre la amplitud de onda y el tiraje del medio y las gráficas altura - tiempo.
- Observar el solitón creado en el sistema estacionario y analizar los mismos datos que en el inciso anterior.
- Comparar ambos análisis y determinar si la hipótesis es verdadera o falsa.
- Hacer chocar dos solitones del mismo tamaño en el medio estacionario para demostrar la falta de superposición.

**Materiales.** Un medio tubo de PVC de 3 metros de largo por 4 pulgadas de diámetro (figura 2.1), dos botes hechos a partir de segmentos de la otra mitad del tubo cortados para fácil encaje en dicho tubo (figura 2.2), tapas de acrílico para el canal y los botes, silicón, sellador para ventanas, regla, cámara de video, reglas, colorante vegetal, plastilina (figuras 2.2-2.5), el canal grande del IMTA (figura 1.5).

**Metodología.** Acudimos al IMTA donde se encuentra un sistema dinámico para reproducir solitones. El sistema dinámico era un canal de aproximadamente 50 metros de largo, por uno de ancho y uno de altura (figura 1.5). Se dejó caer abruptamente una compuerta situada en el



Figura 1.3 Compuerta del canal

final del canal por medio de una grúa, y se alzó inmediatamente (figura 1.3). Esto creó el solitón a analizar. Ahí, con la ayuda del personal, analizamos las propiedades propuestas en los objetivos (figura 1.4). Se filmó un segmento del canal donde se veía una regla y mediante el uso de las computadoras se pudieron analizar las propiedades antes mencionadas (figura 1.2). Se obtuvieron los resultados de la figura

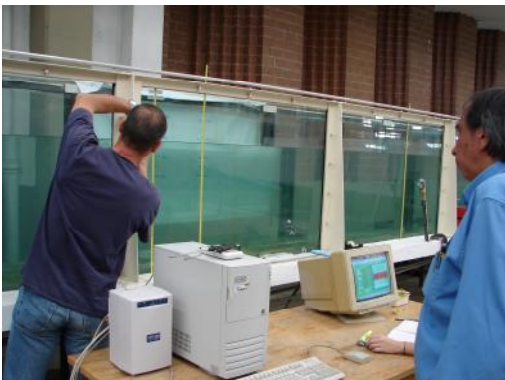


Figura 1.4 Equipo para realizar las mediciones

1.1. Después se construyó un sistema estacionario a partir de un canal de PVC (figuras 2.2 y 2.3). Se cortó un tubo de PVC de 10 cm. de diámetro y de 3 metros de largo a la mitad para usar como canal (figura 2.2). Se tapó en ambos lados con tapas de acrílico, para que estuviera cerrado el sistema y se usó un par de “barquitos”, hechos de un segmento



Figura 2.2 Las pruebas en el canal estacionario

de PVC del mismo diámetro del canal pero cortado un poco y tapado con plastilina y acrílico (figura 2.5), para crear las olas mediante arrastrando el barquito, jalando agua y luego frenándolo súbitamente. Se coloreó el agua con colorantes de todo tipo para crear el color negro para poder filmar y ver el tiraje a través del PVC (figura 2.4). Se filmó usando la misma técnica para analizar las propiedades del

medio estacionario. Las velocidades de ambos tipos de solitones se midieron mediante el análisis de los videos por computadora, midiendo el cambio de posición respecto cambio de tiempo (figuras 1.2 y 2.4). Se hizo la prueba analítica para determinar si eran lineales o no (figura 3,2). La prueba consistía en comparar la tangente



Figura 2.3 El barquito en el canal visto desde arriba

del ángulo de la onda contra el mismo ángulo de la onda, pero en radianes. Esta propiedad es vital para la ecuación de ondas que sólo aplica a las ondas lineales, por lo tanto, si difieren en 5% o más, se le puede considerar no lineal.

**Resultados.** No se encontró relación alguna entre el tiraje, la amplitud y la velocidad dado

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Altura Máxima   | 77cm     |
| Altura Inicial  | 68cm     |
| Duración        | 2.4 secs |
| Velocidad Aprox | 12.7 m/s |

que la fuerza utilizada para crear los solitones en el medio dinámico y en el estacionario eran significativamente distintas. Se hizo la prueba analítica y el del medio estacionario tenía una diferencia de 5%, siendo claramente no lineal.

Fig 2.1 Datos del solitón en el medio dinámico

|                |                  |
|----------------|------------------|
| Altura Máxima  | 5cms             |
| Altura Inicial | 3.2cms           |
| Velocidad      | 28 centímetros/s |
| Duración       | 10 segundos      |

Sin embargo, el del medio dinámico tenía una diferencia de tan sólo 0.01%, claramente indicando que era lineal (figura 3.2).

Fig 1.1 Datos del solitón en el medio estacionario

Sin embargo, recordamos otra importante característica de los solitones, presente en los tsunamis (figura 3.1). Tienen una longitud de onda extremadamente grande (llegan a medir 150 KM) y una amplitud muy pequeña a comparación (1 metro en este caso). Sin embargo, cuando hay poca profundidad, la parte delantera de la onda reduce su velocidad, la trasera la alcanza y se “achata”, aumentando enormemente su amplitud. Si se les comparara, el ángulo de la onda sería tan pequeño que no habría mucha diferencia entre el ángulo en radianes y su tangente. Sin embargo, lo más importante fue que en el medio dinámico hubo arrastre, queriendo decir que la onda no era simplemente superficial, sino que arrastraba toda el agua, incluyendo la parte del fondo. Esta característica es también vital en los solitones. En el dinámico pudimos hacer chocar 2 del mismo tamaño (Figura 3.3), y presentaron la falta de superposición que tanto los caracteriza. Por lo tanto, tenemos pruebas para demostrar que ambos son solitones, y por lo tanto, tienen las mismas propiedades.

**Conclusiones.** Ambas ondas son no lineales, solitones, y por lo tanto tienen las mismas propiedades y se comprueba la hipótesis.

## **Bibliografía.**

- <sup>1</sup> <http://www.ma.hw.ac.uk/solitons/index.html> La universidad de Heriot Watt en Edimburgo, información sobre los solitones. Consultado el 24/05/2006
- <sup>2</sup> <http://www.wordreference.com/definicion/amplitud> Sitio del Diccionario de la lengua española, definición de amplitud. Consultado el 24/05/2006
- <sup>3</sup> <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sup.html> Escuela Universitaria de Música Universidad de la República Uruguay “Superposición de ondas” definición y principios de la superposición de ondas. Consultado el 24/05/2006
- <sup>4</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Soliton> Enciclopedia “Wikipedia”, artículo sobre los solitones. Consultado el 24/05/2006
- <sup>5</sup> Enciclopedia Encarta 2006- “Millones de conversaciones en una fibra óptica, de Emmanuel Desurvire y José Chesnoy.” Artículo sobre el uso de solitones en la transmisión de datos. Consultado el 24/05/2006

**Agradecimientos.** Al Dr. Luis Benet, al Ing. Alberto Castro y al Dr. Ariosto Aguilar, y al Dr. Enrique Galindo.

## Anexo 1 (Medio Dinámico)

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Altura Máxima   | 77cm     |
| Altura Inicial  | 68cm     |
| Duración        | 2.4 secs |
| Velocidad Aprox | 12.7 m/s |

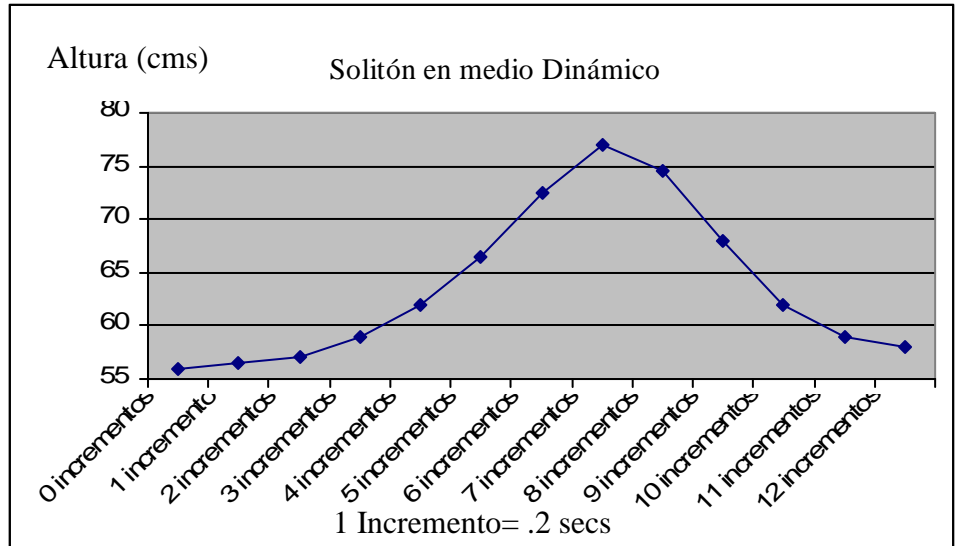


Figura 1.1 Solitón representativo

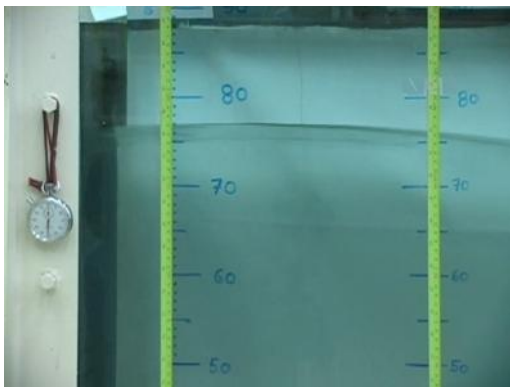


Figura 1.2



Figura 1.3

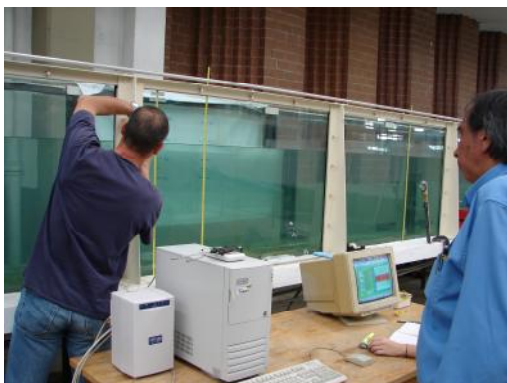


Figura 1.4



Figura 1.5

1.2-Fragmento del video para analizar las propiedades del solitón. 1.3-Compuerta del canal  
1.4-Equipo para realizar las mediciones 1.5-Foto del laboratorio y el canal grande del IMTA  
(al fondo)

## Anexo 2 (Medio Estacionario)

|                |                  |
|----------------|------------------|
| Altura Máxima  | 5cms             |
| Altura Inicial | 3.2cms           |
| Velocidad      | 28 centímetros/s |
| Duración       | 10 segundos      |

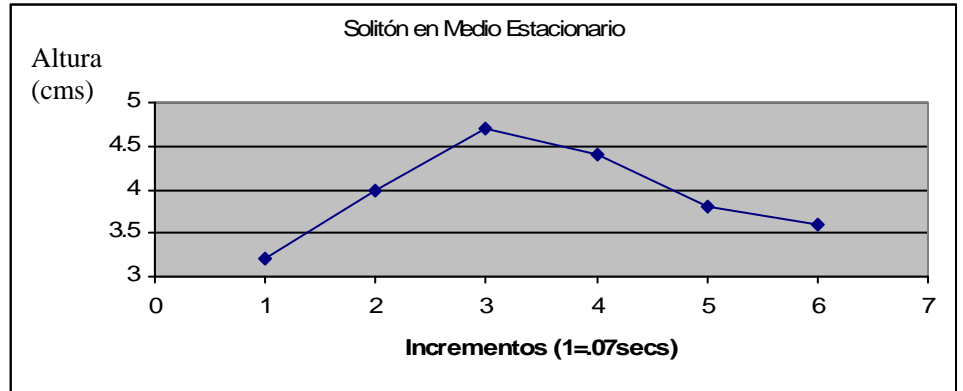


Figura 2.1 Solitón representativo (no había mucha diferencia entre uno y otro) y su tabla.



Figura 2.2



Figura 2.3



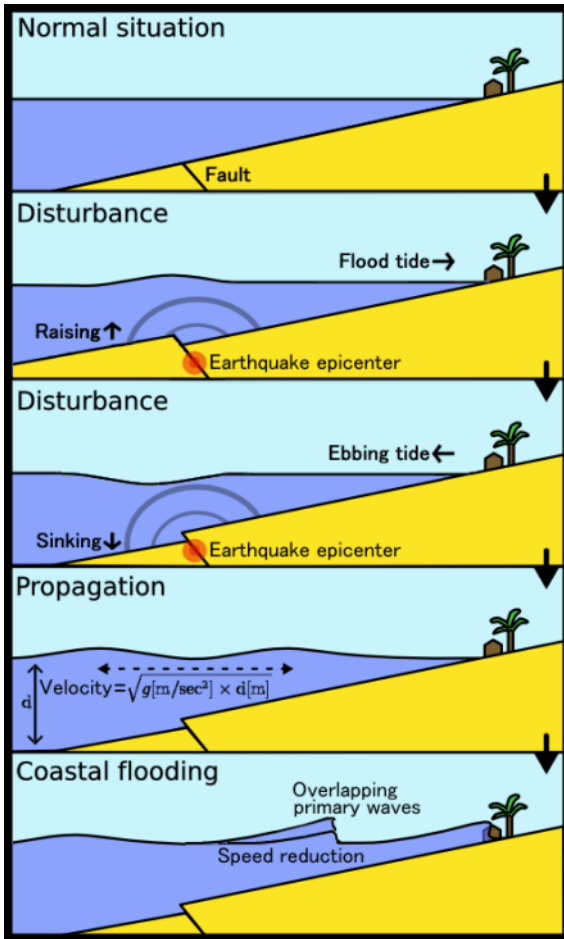
Figura 2.4



Figura 2.5

Figura 2.2-Haciendo pruebas en el canal. Figura 2.3- El barquito en el canal visto desde arriba  
Figura 2.4-Fragmento del video donde se analizaron las propiedades. Figura 2.5-Uno de los 2 barquitos

### Anexo 3 (Análisis analítico)



|            | Medio Dinámico | Medio Estacionario |
|------------|----------------|--------------------|
| Tanθ       | 0.3222         | 0.3024             |
| θ          | 0.3200         | 0.2872             |
| Diferencia | 0.01%          | 5%                 |

Tabla 3.2 Resultados del análisis analítico

Figura 3.1 Comportamiento de los tsunamis



Figura 3.2 Secuencia de fotos de los 2 solitones chocando