

# Estudio de las solicitaciones producidas por el oleaje en buques-tanque de gas licuado (última parte)

## Resumen

Hemos estudiado las solicitaciones producidas en las paredes de los piletos que se utilizaron para simular las condiciones del proceso de carga y descarga de los buques tanque para el transporte de gas natural comprimido, utilizando herramientas de cálculo basadas en el Algoritmo de Lucas Kanade.

Los datos fueron provistos en las filmaciones de alta velocidad que nos ha aportado el Dr. Leo González (docente investigador de UPM) de las investigaciones que se han realizado en España, a quien agradecemos su cooperación. Los valores obtenidos se diferenciaron de los que se obtienen con métodos tradicionales y se ha realizado un análisis de los que se obtuvieron por el análisis de imágenes y presentamos ahora.

*Palabras clave.* Gas Licuado, Oleaje, Curva de Solicitaciones.

## Abstract

*We have studied the stresses produced in the walls of the pools that were used to simulate the conditions of loading and unloading the tank for transportation of compressed natural gas vessels using computational tools based on the Lucas Kanade algorithm.*

*The data provided in high-speed filming has brought us Dr. Leo González (UPM teaching and research) of the research that has been conducted in Spain, whom we thank for their cooperation.*

*The values obtained differed from those obtained with traditional methods and performed an analysis of those obtained by image analysis and submit now.*

*Key words:* Liquefied gas, Wave in liquid, Curve Solicitations.

## 1. Introducción

El objetivo de este trabajo fue la revisión de resultados obtenidos y observar las diferencias que se han presentado con el método tradicional.

Se utilizó para el cálculo de los resultados un software desarrollado por el equipo de investigación de UdeMM (según literatura [3]), el cual implementa entre otros, al algoritmo de Lucas Kanade para la obtención del flujo óptico. El software utilizado optimiza al algoritmo mencionado en lo referente complejidad computacional.

## 2. Desarrollo

Todo el proceso fue filmado con equipos de alta velocidad (900 fps). Estas filmaciones fueron enviadas al equipo de investigación de la Universidad de la Marina Mercante (UdeMM) para que se estudiara la posibilidad de utilizarlas con métodos de estudio de imágenes y poder ver si los resultados obtenidos por esta vía podían aportar mayor información que el método de las mediciones con sensores.

Se procesaron todos los fotogramas obtenidos a partir de la filmación aportada por UPM, obteniéndose el registro completo del flujo del líquido en todo su recorrido y para todo el frente de onda.

Se reprocesaron en particular los frames correspondientes al impacto del fluido contra la pared del contenedor. Se calculó la presión ejercida utilizando Navier Stokes.

Se volvieron a observar las mismas diferencias que en los resultados anteriores, ese hecho llevo a realizar una revisión de los cálculos que hace el SW y no se observaron anomalías.

Finalmente se optó por representar las matrices de resultado en fotogramas y observar a cada uno de ellos.

### 3. Algoritmo de Lucas Kanade

El método fue propuesto en el año 1981 y resuelve el campo de velocidades entre dos imágenes sucesivas, más abajo mostramos brevemente las ecuaciones.

Se parte de la hipótesis que la luminancia entre dos cuadros consecutivos de imagen, permanece constante, y si hay algún cambio, este se debe al movimiento de los objetos filmados.

Formalmente si  $I(x, y, t)$  es la función de la intensidad de la imagen, entonces:

$$I(x, y, t) \approx I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $(\delta x, \delta y)$  corresponde al desplazamiento de la región en  $(x, y, t)$ , después de un tiempo  $\delta t$ . Si se realizara un desarrollo en serie de Taylor de la ecuación anterior, conduciría a:

$$I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t) = I(x, y, t) + \nabla I \cdot (\delta x, \delta y) + \delta t I_t + R^n \quad \text{Ecuación 2}$$

donde  $\nabla I = (I_x, I_y)$  e  $I_t$  son las derivadas parciales de primer orden y  $R^n$  los términos de segundo orden y superiores, que se suponen despreciables. Si se opera en la ecuación anterior, se obtiene:

$$(I_x, I_y) \cdot (u, v) + I_t = 0 \quad \text{Ecuación 3}$$

Por tratarse de imágenes que son un conjunto de píxeles de valores discretos se aplica de manera iterativa a cada píxel de la imagen la ecuación 4, el resultado es el campo vectorial de velocidades asociado a cada punto de información de la imagen.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{x \in B} \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right) & \sum_{x \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial Y} \\ \sum_{x \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial Y} & \sum_{x \in B} \left( \frac{\partial I}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial I}{\partial y} \right) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} - \sum_{x \in B} \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial I}{\partial t} \right) \\ - \sum_{x \in B} \left( \frac{\partial I}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial I}{\partial t} \right) \end{bmatrix}$$

Ecuación 4

### 4. Evolución del trabajo

Las imágenes recibidas desde la UPM en formato .JPEG y un tamaño de 532 KB con una resolución de 900 cuadros por segundo (900 fps) se pasaron a formato BMP a fin de evitar la descompresión de los cuadros en el proceso de cálculo.

De la seguidilla de imágenes que se han procesado, son las de mayor interés las que muestran desde el comienzo del impacto de la ola en la superficie del contenedor, hasta que se completa el proceso.

El software va realizando el cálculo del campo de velocidades cuadro a cuadro obteniendo de los “n” cuadros “n-1” matrices de velocidad (componentes de la velocidad en el eje x e y).

Finalmente se aplican las ecuaciones de Navier Stokes, las cuales vinculan el desplazamiento de un fluido con la presión (literatura [4]). Estas se aplican a las “n-1” matrices de velocidad y como resultado obtenemos las matrices de presiones, estas son instantáneas para cada tiempo “t” considerado y aplicadas a un píxel en particular, dicho de otra forma son las presiones distribuidas por unidad de tiempo, para este caso la unidad de tiempo considerada fue de 0,0033 segundos.

Teniendo en cuenta que una imagen es una representación en el plano de un objeto tridimensional, cabe aclarar que estas presiones corresponden al plano de imagen, para nuestro caso con las consideraciones comentadas anteriormente se aplica a cada elemento de la matriz del campo de velocidad la ecuación 5.

$$P \approx \rho \cdot v^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

A continuación mostramos algunos de los fotogramas obtenidos de las filmaciones anteriormente mencionadas. En la imagen 1 se observa el frente de onda aproximándose a la pared del tanque contenedor, mientras que en la imagen 2 se observa el instante en que la masa de líquido choca contra la pared del contenedor y la dispersión del líquido en el interior del tanque instantes después de haber chocado.

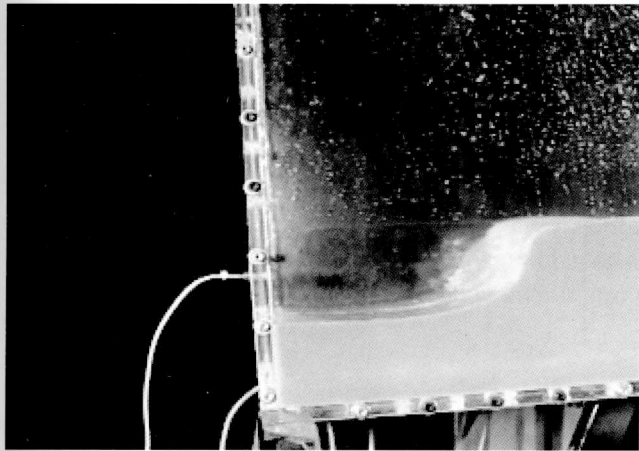


Imagen 1

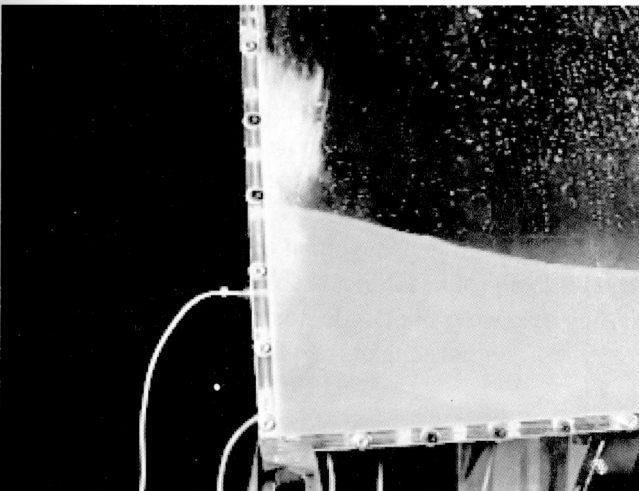


Imagen 2

Entre dos cuadros consecutivos. A continuación de esta, se muestran dos gráficos. El primero de ellos corresponde al campo de velocidades y el segundo corresponde al campo de presiones para la imagen que representa a la velocidad en ese instante.

La imagen 3 junto al gráfico 1 y el gráfico 2 corresponden a los resultados obtenidos de procesar las imágenes previas al impacto contra la pared del contenedor, mientras que la imagen 4 junto a los gráficos 3 y 4 corresponden a los resultados obtenidos de procesar las imágenes en el momento del impacto y posterior a él.

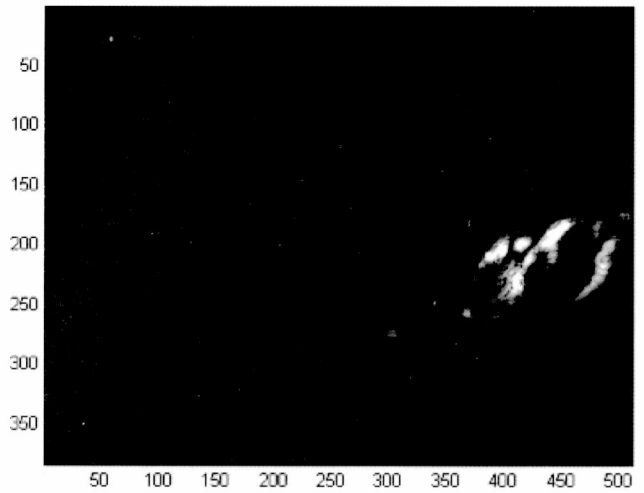


Imagen 3

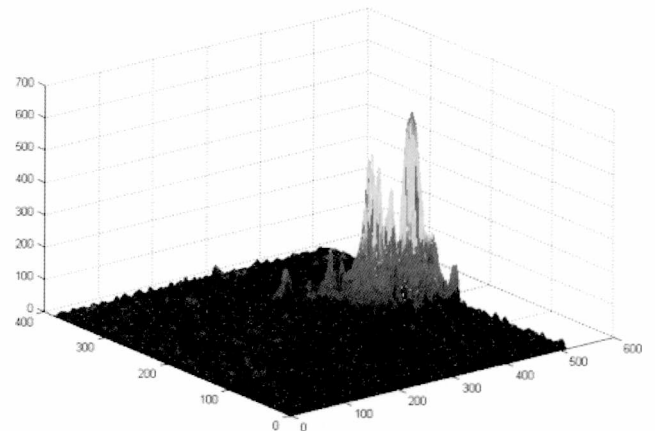


Gráfico 1 (Campo de Velocidades obtenido al procesar las imágenes del frente de onda previo al impacto contra la pared)

El depósito de simulación está construido en metacrilato con un espesor de 10 mm. En las imágenes mostradas más arriba pueden observarse algunos cables, estos pertenecen a los sensores de presión ya mencionados con anterioridad.

## 5. Resultados

Más abajo podemos observar una serie de gráficos e imágenes que muestran los resultados obtenidos.

Para mejor comprensión se ha optado por mostrar la imagen que vincula el campo de velocidades como fotograma. Esta imagen es el resultado de la velocidad calculada

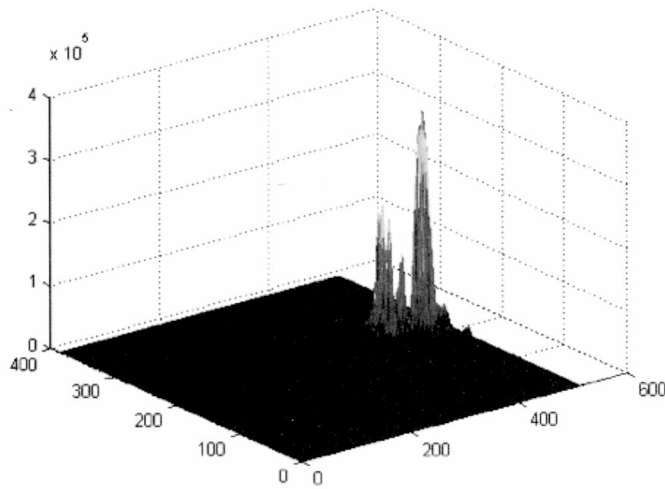


Gráfico 2 (Campo de Presiones obtenido al procesar las imágenes del frente de onda previo al impacto contra la pared)

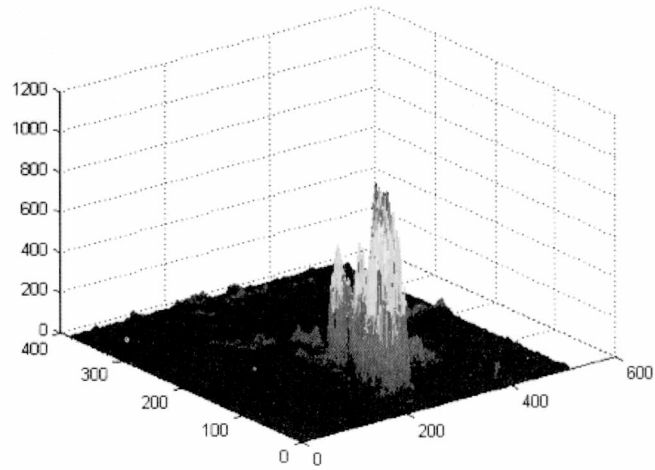


Gráfico 3 (Campo de Velocidades obtenido al procesar las imágenes en el impacto)

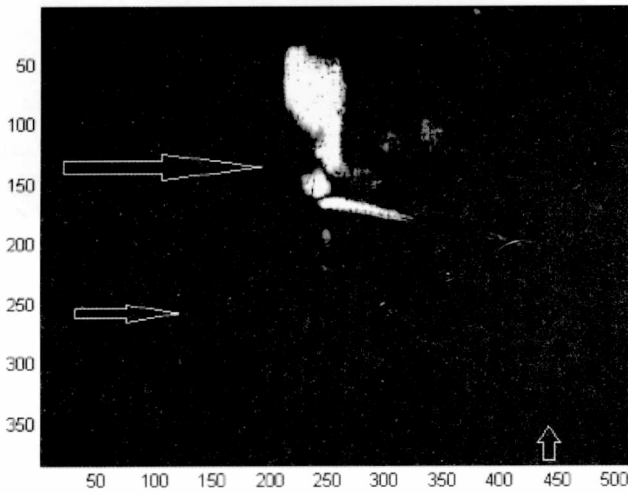


Imagen 4

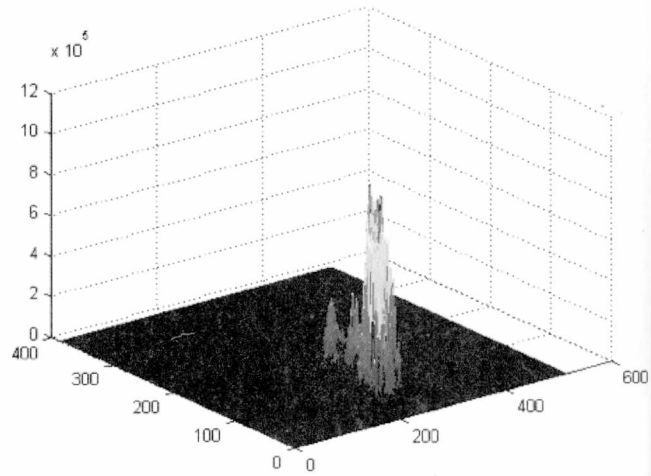


Gráfico 4 (Campo de Presiones obtenido de procesar las imágenes en el impacto).

Este procedimiento se realizó en el fotograma 54 de la filmación, obteniendo en total 53 campos de presiones (uno para cada instante del  $\Delta t$ ).

La obtención de las matrices de las presiones instantáneas, permiten saber con qué rapidez aumenta la presión sobre la pared del contenedor por unidad de superficie mejorando el criterio utilizado al momento de calcular las estructuras. A diferencia de las matrices que contienen la información del flujo, los fotogramas nos permiten de forma visual identificar de manera rápida e intuitiva los lugares en los cuales se ha registrado movimiento.

Hemos marcado con flechas en la imagen 4 estructuras que se asemejan al borde del piletón y las mangueras de conexionado de los sensores. Esto sucede pues las estructuras se han movido como resultado de la colisión del frente de la ola contra las paredes del contenedor, entregando parte de la energía que traía el frente de onda. Esa cantidad de energía que ha producido el impacto no será registrada por los sensores ubicados. En el gráfico 3 se puede visualizar esa información (gráfico correspondiente a los gradientes de velocidad), la ubicación de los valores correspondientes los podemos ubicar en la matriz de resultados,

pues en ella hay una correspondencia con la posición de los píxeles de la imagen utilizada. Para el gráfico 4, correspondiente al cálculo de presión ejercida, los valores que no contienen error son los que se corresponden al fotograma con los píxeles que quedan en el interior del contenedor; los relacionados al exterior son valores inválidos. Para obtener en dichos puntos algún dato significativo, habría que ir a la matriz del flujo y afectar dichos gradientes al cálculo la energía disipada en ellos involucrando la masa tota afectada.

## 7. Conclusiones

El método propuesto arroja una cantidad mayor de información que el método tradicional, ya que en el último mencionado, para valores existentes entre dos sensores se hace necesaria la introducción de interpolación de valores por algún método polinómico. Dependiendo de la elección del método a utilizar será el error inducido entre la curva interpolada y la curva dada por la función real, se observa en el gráfico 4 que la presión no es homogénea en todo el frente de onda que corresponde al contacto con el lateral del piletón.

Si el frente de onda no es homogéneo el método tradicional no puede calcular donde se producen los picos de presión, cosa que no ocurre con el método propuesto por las razones mencionadas en el párrafo anterior.

Hemos podido observar que parte de la energía que contiene el frente de onda se ha disipado como movimiento del piletón.

Tiene mayor sencillez desde su implementación hasta su utilización en la simulación realizada, los resultados arrojados son directos y no hay interpolación para levantar la curva.

Permite formular un modelo predictorio por la simple observación de la superficie del fluido antes de que el frente de onda haga impacto en la pared contenedora.

## Referencias

- Björn Johansson, (November 22, 2007), "Derivation of Lucas Kanade Tracker".
- B. Lucas, T. Kanade, (1981), From *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, pp. 121-130 "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision".
- E. Memin, C. Desmaras, O. Marcovecchio, L. González, (mayo, 2011) Congreso EPIO, "Estudio de Dinámica en Imágenes".
- L. Farras, <http://escuelas.fi.uba.ar/iis/NAVIER%20STOKES.pdf>, "La ecuación general de Navier Stokes en la enseñanza de la Hidráulica general".