

UN MÉTODO DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE EN UNA EMBARCACIÓN FLUVIAL

MAURICIO PARDO GONZÁLEZ

Ingeniero Electrónico Universidad del Norte. Integrante del Grupo de Telecomunicaciones y Señales, profesor catedrático del Departamento del Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Norte.
mpardo@uninorte.edu.co

VÍCTOR MANOTAS ANGULO

Ingeniero Electrónico Universidad del Norte. Integrante Grupo de Telecomunicaciones y Señales, Universidad del Norte.
vmanotas@hotmail.com

JAVIER PÁEZ SAAVEDRA

Ingeniero Mecánico y MBA Universidad del Norte. Decano División de Ingeniería.
jpaez@uninorte.edu.co

HUMBERTO CAMPANELLA

Ingeniero Electrónico Pontificia Universidad Javeriana, Master en Sistemas y Redes de Comunicaciones Universidad Politécnica de Madrid. Integrante del Grupo de Telecomunicaciones y Señales de la Universidad del Norte. Profesor tiempo completo del Departamento del Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Norte.
Correo electrónico: hcampane@uninorte.edu.co

Fecha de recepción: agosto 29 de 2003

Tipo de artículo: Investigación
Fecha de aceptación: diciembre 04 de 2003

Palabras clave: Medición de niveles, centroide, gaussiana, punto de sondeo, sensores de presión

Keywords: Fuel measurement, centroid, gaussian, integration procedures, pressure transducers and sensors

Resumen

Este artículo desarrolla una forma de medir el nivel de combustible en una embarcación fluvial, específicamente un remolcador; su marco de referencia es la estrategia utilizada para establecer la cantidad de volumen de combustible presente en los tanques de la embarcación. El

método que hasta el momento se había venido utilizando producía un error muy grande, influenciado por factores de perturbación como la inclinación y la forma de llenado de combustible del remolcador. Se buscó entonces desarrollar un método alternativo que redujera el error entre el combustible entregado y el medi-

do en el remolcador; el nuevo método logró ser lo más independiente posible de la inclinación de la embarcación, sin necesidad de utilizar un inclinómetro o instrumento de medida de ángulos, reduciendo de esta manera costos de instalación.

Abstract

This article presents a method to measure fuel level in a vessel, specifically a tugboat. The scope of this paper is to describe the strategy used to determine the volume of fuel contained into the tugboat's tanks. A traditional, manual, method is influenced by perturbation factors, such as inclination of the boat and fuel filling procedures, conducting to inaccurate measurements. Hence, this research was aimed to develop an alternative method in order to reduce the relative error between the dumped fuel into the tanks and the current level measured in them. Such an error was reduced to 2.65 %, in preliminary trials. The new method was designed to achieve the measurements to be independent on the inclination of the tugboat, then reducing the installation costs due to sensor devices.

1. Introducción

El marco de trabajo en el cual surge este método de medida de combustible es el desarrollo de un proyecto bajo la modalidad Universidad - Empresa, denominado “*Sistema de Telemetría para Remolcadores*”, el cual involucra una empresa del sector carbonero de la región caribe colombiana, y a la Universidad del Norte como Centro de Desarrollo Tecnológico¹. El proyecto comprende la construcción de un sistema de adquisición de señales, el desarrollo de un sistema de posicionamiento de la nave y la creación de un sistema de gestión de operaciones del remolcador.

Una de las señales de interés más importantes para el desarrollo del proyecto es la cantidad de galones de combustible presentes en el remolcador en instantes de tiempo preestablecidos. El proyecto, concebido para el desarrollo de un prototipo, involucra un remolcador de seis tanques de combustible repartidos uniformemente, es decir, tres a cada lado de la embarcación. Si bien los tanques son iguales con respecto a su contraparte del otro lado, los tanques de un flanco del remolcador son diferentes entre sí y además no son prismas rectangulares rectos. De esta forma, se desarrolló un método de medición independiente al máximo de la forma de los tanques de la nave. Básicamente fue necesario decidir qué tipo de método de medición era el más conveniente, entre presión, capacitancia, inductancia y resistencia, entre otros. Para este caso, de acuerdo con los trabajos por departamentos de la Universidad del Norte, se seleccionó un método basado en la medida de la presión ejercida por el líquido como el sistema más adecuado.

En la Sección 2 se presenta la configuración de los tanques del remolcador que funcionó como prototipo, sus formas, método de medida empleado hasta entonces y problemas asociados con esta forma de medición. En la Sección 3 se presentan los fundamentos matemáticos que permitieron la búsqueda y desarrollo de un método alternativo, así como la elección de un método de sensado apropiado para el caso particular de esta embarcación fluvial. En la Sección 4 se presenta un resumen del desarrollo de la estrategia, con base en lo expuesto en la Sección 3. Finalmente, en la Sección 5 se muestran los resultados de las pruebas desarrolladas y en la Sección 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones generadas del proyecto.

¹ El proyecto se encuentra financiado por Colciencias - Flota Fluvial Carbonera Ltda., según contrato 265-2002, Programa de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática (ETI).

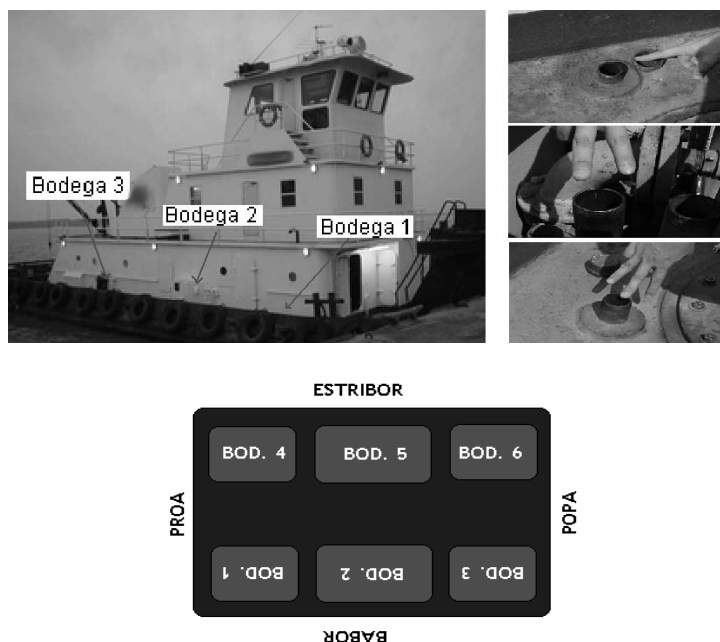


Figura 1. Ubicación e identificación de las bodegas de combustible del remolcador

2. Antecedentes. Tanques, propiedades y método de medida anterior

El remolcador utilizado para el desarrollo del sistema prototipo cuenta con seis tanques de almacenamiento de combustible denominados *bodegas*, repartidas así: tres para el motor de estribor y tres para el de babor, como se muestra en la Figura 1.

En este remolcador en particular las bodegas 1 y 4 son simétricas, al igual que la 2 y 5 y la 3 y 6. El método de medición anterior se basaba en la medida de los niveles de combustible por medio de una varilla aforada, y la altura encontrada se comparaba con una tabla. Un detalle del procedimiento se muestra en la Figura 2.

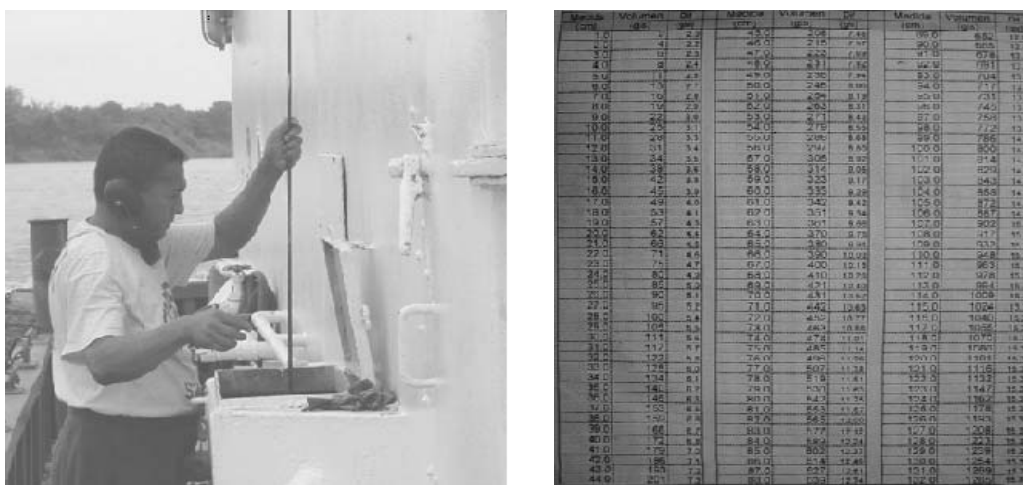


Figura 2. Método de Medición anterior de la cantidad de combustible en los tanques

UN MÉTODO DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE EN UNA EMBARCACIÓN FLUVIAL

Mauricio Pardo González - Víctor Manotas Angulo
Javier Páez Saavedra - Humberto Campanella

En operación normal, las bodegas de la embarcación usadas para consumo de combustible por parte de la maquinaria son la 2 y la 5 (bodegas denominadas *tanques de diario*); los tanques restantes se mantienen como reserva de combustible. Cuando se requiere, se realizan traslados de combustible hacia los tanques de diario, procedimiento que se denomina *trasiego*. El nivel de combustible se maneja en galones; además, no se dispone de ningún tipo de sensor.

En la situación anterior, el problema principal que se presentaba con este método de medición era la gran diferencia entre el combustible entregado por el distribuidor de combustibles y lo que los operarios de la embarcación estimaban que había sido entregado a los tanques. Adicionalmente, durante los viajes desarrollados por el remolcador se

veía que los galones que inicialmente faltaban al momento del llenado del tanque iban “apareciendo” gradualmente.

Analizando las causas de la discrepancia se anotaron dos principales: la inclinación del remolcador con base en la cantidad de combustible que en determinado momento se encontraba a bordo y la posición inconveniente de los puntos por donde se desarrollaba la medida del combustible, es decir, los orificios por los cuales se introducía la varilla aforada. En la Figura 3 se observa la *inclinación Proa - Popa*. Aunque solo se consuma combustible del Tanque 1, por ejemplo, la medida del Tanque 3 variará. De otra parte, en la Figura 4 se muestra la *inclinación estribor - babor*, la cual introduce poco error sobre la medida.

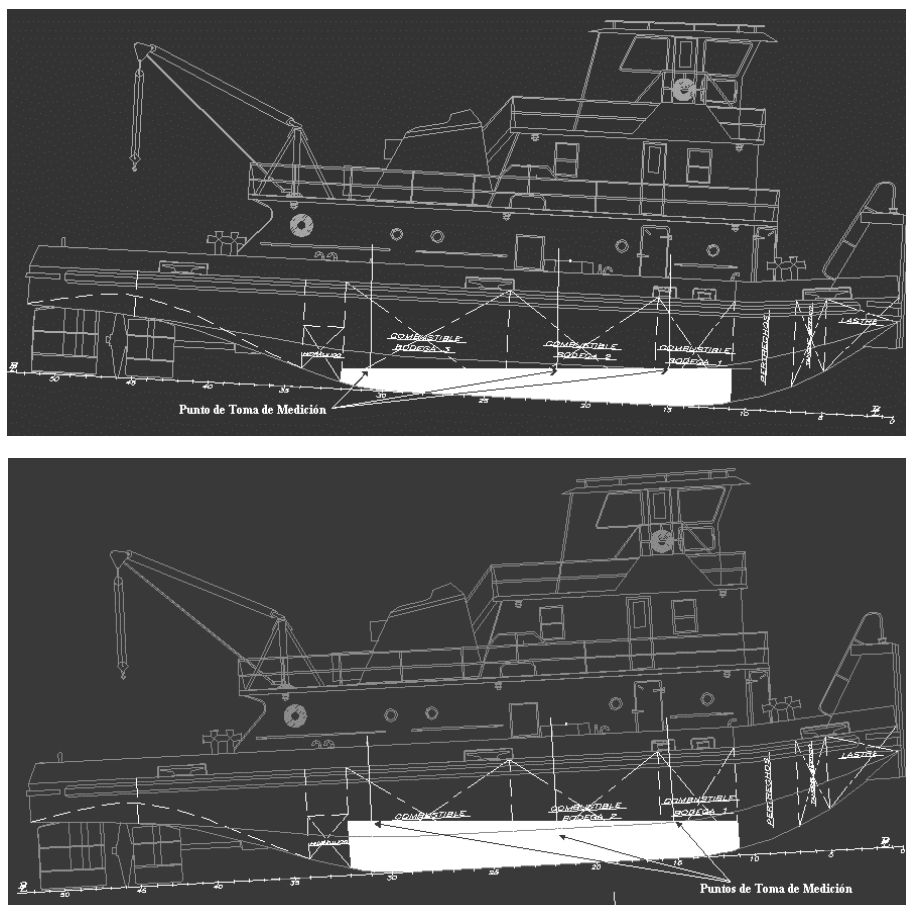


Figura 3. Perturbación en la medida debido a inclinación Proa – Popa

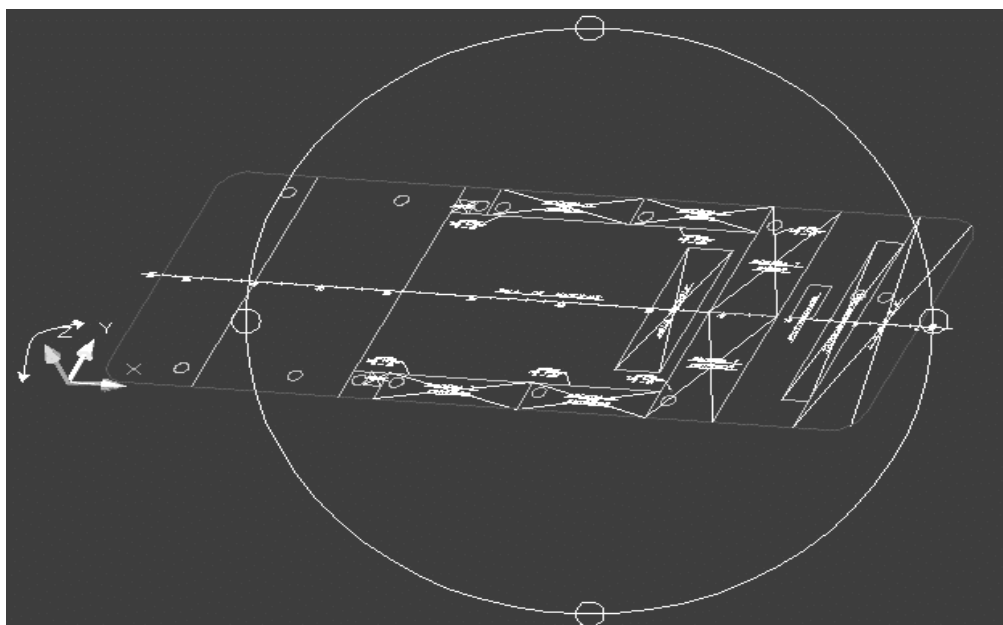


Figura 4. Perturbación en la medida debido a inclinación Estribor - Babor

3. Los fundamentos teóricos del método alternativo

La idea básica para la telemetría del nivel de combustible es su medición por medio de un transductor que determine el nivel dentro del tanque y con esto se calcule el volumen contenido dentro de él. El cálculo del volumen debe ser tal que puedan minimizarse los efectos de inclinación. La idea matemática para desarro-

llar el modelo requerido es tomar la forma real del tanque y rebanar el sólido equivalente en tajadas de espesor infinitesimal, de modo que puedan considerarse como planos, y de esta forma tomar la altura en la recta o curva (dependiendo de la forma del tanque) que interseque los centroides correspondientes a estas áreas infinitesimales; de esta forma se elimina la dependencia de la medida de nivel de ángulos de inclinación (ver Figura 5).

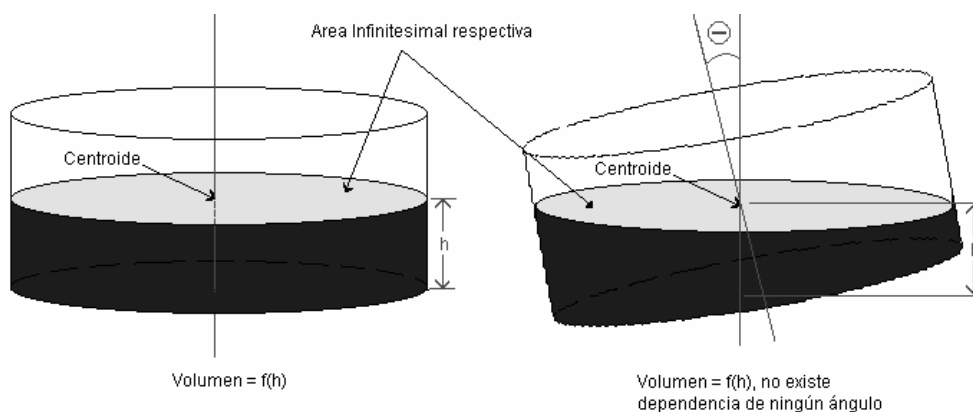


Figura 5. Eliminación de la dependencia del ángulo en el cálculo del volumen por medio del método de los centroides de áreas infinitesimales

Si el tanque es un prisma como el de la Figura 5, la intersección de los centroides es una recta; si el área infinitesimal es un polígono regular puede decirse que el centroide de cada área se ubica en su centro.

La forma de los tanques del remolcador no es un prisma rectangular recto, sino que siguen la forma del casco de la embarcación. Por ejemplo, la forma del tanque 2 es como la de una cuña; en este caso la recta que intersecaría los centroides sería una línea quebrada. Considerando que cualquier intento de instalación de un sensor se dificulta, la única posibilidad es minimizar, mas no evitar, el error por inclinación. Matemáticamente es posible tomar los centroides de las áreas infinitesimales como muestras de una distribución gaussiana y escoger una recta (correspondiente a la media) como lugar de instalación del sensor. Este enfoque es el que menor perturbación sufrirá; el esquema que se plantea es el mostrado en la Figura 6.

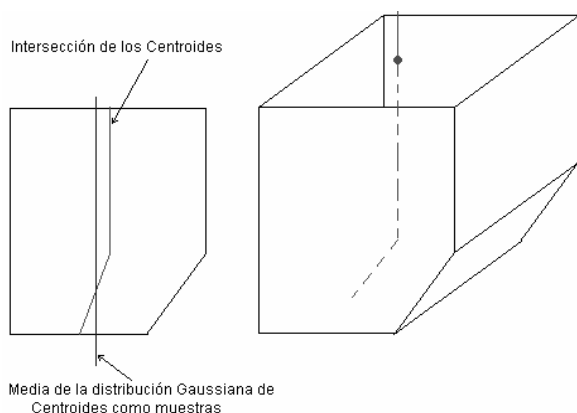


Figura 6. Modelo de ubicación de un sensor para medir la altura de combustible minimizando los efectos por inclinación

Analizando los métodos de medición de combustible existentes se concluyó que el mejor consiste en determinar el nivel (altura) de una columna de combustible con base en la presión ejercida. Un transductor que tome como parámetro la densidad del combustible objeto de medida es el más adecuado en este caso, pues

con este tipo de sensado por presión puede observarse, por ejemplo, un pequeño oleaje dentro del tanque.

4. Proceso de desarrollo del método alternativo

Una vez se determina una recta de la medida del nivel de combustible, el siguiente paso es hallar una función de volumen cuya variable sea el nivel. Para el desarrollo de las fórmulas matemáticas correspondientes se toman las dimensiones de los tanques; estas medidas se extraen de planos del remolcador.

- *Cálculo del volumen del Tanque 2.* Los cálculos matemáticos se inician con la determinación del volumen del tanque 2, el cual es el más regular de todos. Las vistas del tanque con el cual se trabajó se muestran en la figura 7.

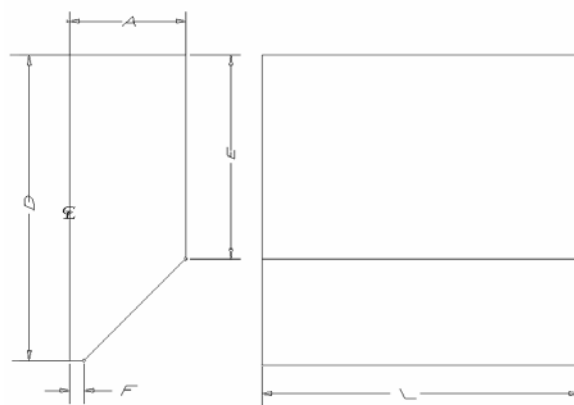


Figura 7. Vistas utilizadas del tanque 2.

Las medidas correspondientes se observan en la Tabla 1.

	A	D	E	F	L
En mm	1.209,6	3.200,4	2.133,6	152,4	4.419,6

Tabla 1. Dimensiones para el cálculo del área para el caso del tanque 2

Debido a la regularidad del tanque se define que el volumen puede obtenerse hallando el área de

la vista con forma de “cuña” multiplicada por 4.419,6 mm. El volumen resultante se obtiene en mm^3 , por lo que el producto debe ser convertido en galones, que es la unidad utilizada por convención. La altura del combustible se tomará en cuenta para el cálculo del área de la vista con forma de “cuña”, pues la longitud de 4.419,6 mm, para el caso del tanque 2, siempre es constante.

La construcción geométrica para el cálculo del área se muestra en la Figura 8.

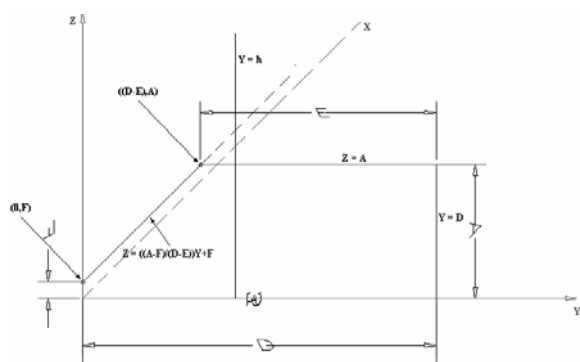


Figura 8. Construcción geométrica de la vista transversal del tanque 2

Dada la forma de “cuña” pueden tenerse dos casos:

- Cuando la altura del líquido sea menor o igual que la coordenada y del punto $(Y, Z) = ((D-E), A)$.* En este caso el área es igual a la región encerrada entre las funciones $Z = ((A-F)/(D-E))*Y + F$ y $Z = 0$. Se desarrolla entonces una integración desde $Y = 0$ hasta $Y = h$.
- Cuando la altura del líquido sea mayor que la coordenada y del punto $(Y, Z) = ((D-E), A)$.* En este caso el área es igual a la diferencia entre dos regiones: la encerrada por las funciones $Z = ((A-F)/(D-E))*Y + F$ y $Z = 0$, menos la encerrada por las funciones $Z = ((A-F)/(D-E))*Y + F$ y $Z = A$. Se desarrolla entonces una integración desde $Y = 0$ hasta $Y = h$, con el límite superior de integración $Y = D$.

Las unidades manejadas para el cálculo del área son las consignadas en la Tabla 1. El área calculada por integración se multiplica después por 4.419,6 mm, y el resultado se convierte a galones, lo cual se realiza dividiendo primero entre 1×10^6 y luego dividiendo entre 3,78541184.

- Diferencia del volumen ocupado por estructuras internas.* Utilizando los planos de los tanques de combustible, y de acuerdo con lo interpretado, fue calculado el volumen total de las estructuras internas correspondientes a *Baos, Varengas, L's y Cartelas* dentro del Tanque 2. Cuando el tanque se encuentra totalmente lleno, es decir, cuando la altura es igual a 3.200,4 mm, el volumen total por estructuras internas es igual a 29,5701 galones.

El tanque completamente lleno sin estructuras tiene un volumen total de 3.861,4 galones; dada la relación existente, para el cálculo del volumen neto de combustible del tanque 2 se toma el volumen total de las estructuras internas, se construye un cilindro con altura de 3.200,4 mm y se determina su radio, de forma que el volumen total sea 29,5701 galones. El radio hallado se mantiene constante, y para cualquier valor de h se tendrá un valor aproximado del volumen ocupado por la estructuras, el cual se resta al volumen bruto hallado por medio de integración.

- Cálculo de volumen del Tanque 3.* El tanque 3 posee una forma similar a la del tanque 2, solo que es este caso la vista longitudinal varía debido a que uno de los extremos conforma la cavidad de las propelas. La Figura 8 muestra los detalles requeridos.

Como puede observarse en la Figura 9, por medio de la división por cuadernas se definen cuatro regiones. La región 4 es igual a un tanque 2 recortado; por su parte, las regiones 1 hasta 3 muestran pequeñas pendientes. La vista transversal sigue siendo una cuña; sin embargo, de-

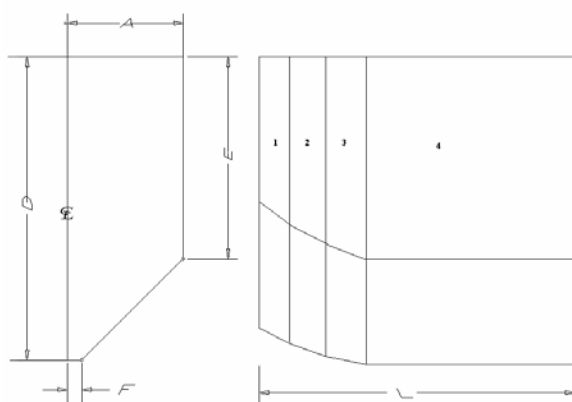


Figura 9. Vistas utilizadas del tanque 3

bido a que las pendientes superior e inferior de la vista longitudinal no son las mismas, la cuña se va haciendo menos inclinada a medida que nos acercamos al final de la embarcación.

El cálculo del volumen inicia nuevamente con la determinación del área de la región de la cuña, empleando un procedimiento similar al mostrado en la Figura 8. La diferencia es que la recta inclinada no puede hallarse con facilidad ya que su pendiente es variable a medida que existe un acercamiento a las propelas; por lo tanto debe hallarse una relación entre la pendiente de esta recta y la longitud del tanque. La Figura 10 muestra las pendientes que deben ser halladas.

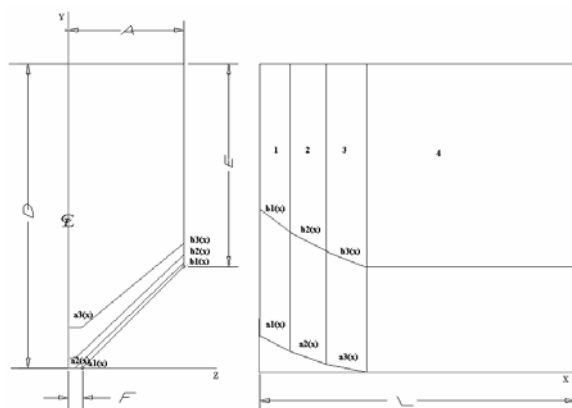


Figura 10. Pendientes por hallar para determinar límites de integración

Para el cálculo del volumen de la sección 4 se sigue un proceso idéntico al descrito para el tanque 2. Para el resto de secciones se sigue un procedimiento similar, solo que las rectas inclinadas tendrán la forma $Z = m(X) \cdot Y + \text{OFFSET}$. El término $m(X)$ será la pendiente correspondiente a los límites de cada zona teniendo en cuenta los valores de $a(x)$ y $b(x)$ en cada sección.

Cabe resaltar en este punto que, dependiendo del valor de h , un sector puede hacerse cero, o lo que es igual, no contribuir en el cálculo del volumen. A manera de ejemplo puede observarse la Figura 11; en este caso sólo los sectores 3 y 4 contribuirían en el volumen.

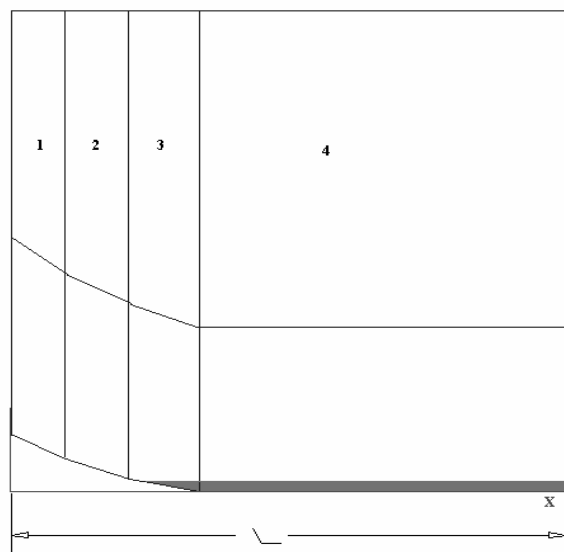


Figura 11. Ejemplo de contribución de los diferentes sectores, de acuerdo con el nivel de combustible

Para el caso de las estructuras se siguió un procedimiento similar al empleado para el tanque 2. Tomando como referencia el tanque 3 totalmente lleno se tiene que el volumen total que ocupan las estructuras es igual a 29,3695 galones, mientras que el volumen bruto es igual a 4.224,9 galones. Para obtener estos resultados se aplicó el enfoque del cilindro, teniendo en cuenta que la longitud del tanque 3 es de 4.876,8 mm.

- *Cálculo de volumen del Tanque 1.* El tanque 1 posee una forma similar a la del tanque 3, considerando las pendientes de su vista longitudinal; por lo tanto se aplica un procedimiento igual al empleado en el tanque 3, esto es, dividiendo por sectores y verificando la contribución de cada sector. El cambio significativo es la inclusión en las estructuras internas de *mamparos* de división.

El volumen total de las estructuras del tanque 1 suma 52,6428 galones y su capacidad bruta es de 8.850,8 galones, por lo cual se utilizó de igual forma el enfoque del cilindro equivalente de estructuras; asimismo, la longitud del tanque 1 es 2.286 mm.

- *Comparación de las tablas iniciales con las tablas generadas por el método matemático*

a. Tanque 1

ALTURA (mm)	Volumen de combustible en galones s/n tabla	Volumen de combustible en galones calculado matemáticamente
10	22	6,51
100	219	131,21
500	1.153	1.075,3
700	1.655	1.592,5
1.000	2.451	2.411,7
1.200	3.007	2.984,9
1.700	4.400	4.437,7
2.000	5.236	5.309,5
2.200	5.793	5.890,8
2.500	6.629	6.762,6
2.800	N.A.	7.634,5
2.950	N.A.	8.070,4
3.000	N.A.	8.215,7
3.100	N.A.	8.506,4
3.190	N.A.	8.767,9

Tabla 2. Un comparativo del volumen calculado para el Tanque 1

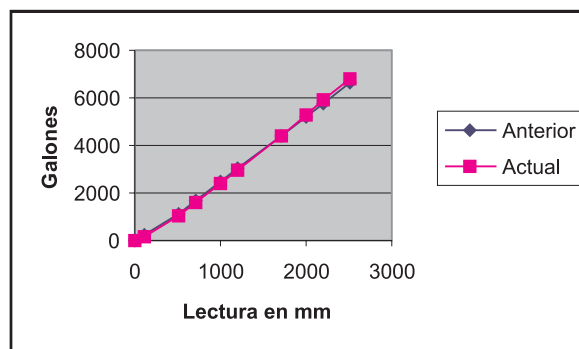


Figura 12. Relación gráfica funciones de volumen tanque 1

b. Tanque 2

ALTURA (mm)	Volumen de combustible en galones s/n tabla	Volumen de combustible en galones calculado matemáticamente
10	2	1,74
100	22	22,65
500	221	228,97
700	388	401,55
1.000	724	747,21
1.200	996	1.025,2
1.700	1.683	1.726,7
2.000	2.096	2.147,6
2.200	2.371	2.428,2
2.500	2.783	2.849,1
2.800	3.196	3.270,0
2.950	3.402	3.480,5
3.000	3.471	3.550,6
3.100	3.608	3.690,9
3.190	3.732	8.767,9

Tabla 3. Un comparativo de volumen de combustible calculado para el tanque 2

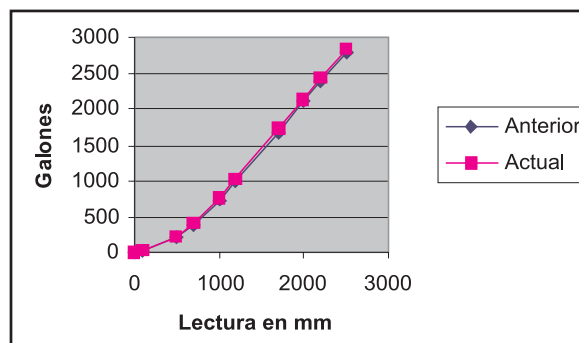


Figura 13. Relación gráfica funciones de volumen tanque 2

c. Tanque 3

ALTURA (mm)	Volumen de combustible en galones s/n tabla	Volumen de combustible en galones calculado matemáticamente
10	2	1,11
100	25	18,31
500	246	232,96
700	431	417,77
1.000	800	791,87
1.200	1.101	1.096,6
1.700	1.867	1.871,2
2.000	2.326	2.335,9
2.200	2.633	2.645,7
2.500	3.092	3.110,5
2.800	3.552	3.575,2
2.950	3.782	3.807,6
3.000	3.858	3.885,0
3.100	4.011	4.039,9
3.190	4.149	4.179,3

Tabla 3a. Un comparativo de volumen de combustible calculado para el tanque 3

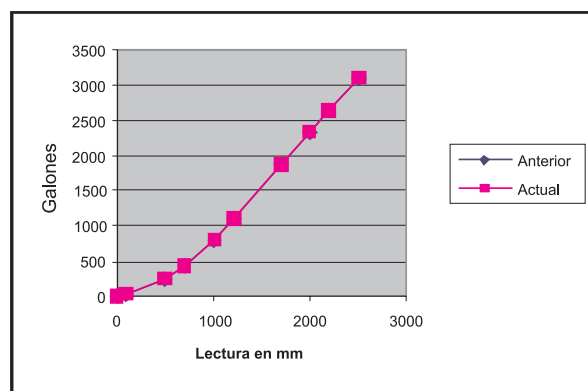


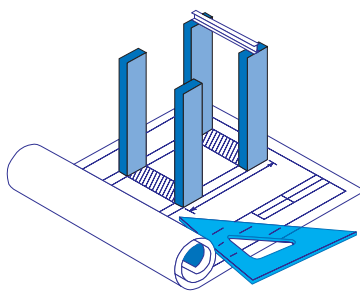
Figura 14. Relación gráfica funciones de volumen tanque 3

De acuerdo con el desarrollo matemático, los sensores deben estar ubicados en la recta que corresponda a la media de una distribución gaussiana de los datos correspondientes a los centroides de las áreas infinitesimales en las cuales se divide el volumen total de los tanques de la embarcación. Sin embargo, en la embarcación real existen estructuras que dificultan la instalación de los sensores de presión.

Adicionalmente, el sensor debe ubicarse de forma tal que su circuitería se encuentre fuera el tanque. La forma de mantener las perturbaciones de inclinación minimizadas fue ubicar los sensores lo más cerca posible de los puntos medios de la cara más larga de los tanques, todo visto desde la sala de máquinas.

5. Resultados

Luego de desarrollar la estrategia y de establecer los puntos de instalación de los transductores, se inició el proceso de verificación del nuevo método. Los datos de la Figura 15 muestran los cambios encontrados con el cálculo del volumen por medio de integrales, pero desarrollando la medida del nivel con la varilla aforada y por los puntos de sondeo convencionales; por lo tanto en esta primera prueba se tiene el problema de la inclinación.



Tablas Anteriores**MEDIDAS INICIALES**

BODEGAS BABOR		
	cms.	Gls
1	7.5	164
2	164	1601
3	16	45
		1810

BODEGAS ESTRIBOR		
	cms.	Gls
1	8	175
2	188	1931
3	0	0
		2106

TOTAL	3916 Gls.
--------------	------------------

Tanqueo según marcador EDS. CODIS 23,000 gls,

MEDIDAS FINALES

BODEGAS BABOR		
	cms.	Gls
1	296	7911
2	315	3677
3	147	1515
		13103

BODEGAS ESTRIBOR		
	cms.	Gls
1	297	7952
2	316	3694
3	120	1104
		12750

TOTAL	25853 Gls.
--------------	-------------------

Según Aforo A/B

MED. FIN.	MENOS	MED. INIC.	Recibido por AFORO
25853		3916	21937

Recibido por AFORO	MENOS	Recibido por CODIS	Faltante por AFORO
21937		23000	1063

4.62%

Método Matemático**MEDIDAS INICIALES**

BODEGAS BABOR		
	cms.	Gls
1	7.5	85
2	164	1643
3	16	37
		1765

BODEGAS ESTRIBOR		
	cms.	Gls
1	8	94
2	188	1979
3	0	0
		2073

TOTAL	3838 Gls.
--------------	------------------

Tanqueo según marcador EDS. CODIS 23,000 gls,

MEDIDAS FINALES

BODEGAS BABOR		
	cms.	Gls
1	296	8100
2	315	3761
3	147	1515
		13376

BODEGAS ESTRIBOR		
	cms.	Gls
1	297	8129
2	316	3775
3	120	1097
		13001

TOTAL	26377 Gls.
--------------	-------------------

Según Aforo A/B

MED. FIN.	MENOS	MED. INIC.	Recibido por AFORO
26377		3838	22539

Recibido por AFORO	MENOS	Recibido por CODIS	Faltante por AFORO
22539		23000	461

2.00%

Figura 15. Resultados de la primera prueba

La segunda prueba consistió en la obtención del nivel a partir de un sensor de presión instalado en el tanque 2 de estribor de la embarcación. Se realizó un llenado completo de dicho tanque, y por medio de la varilla aforada se halló un volumen total de 318,5 cm. El sensor de presión disponible posee una señal de salida de 0,5 V a 5,5 V, que corresponde a un rango de presión de 0 a 5 PSI; por condiciones de instalación física del transductor, éste se encuentra a una altura de 27 cm con respecto al fondo del tanque. La señal de salida del sensor con el tanque 2 lleno fue igual a 4,06 V. En la Tabla 4 se presentan los cálculos necesarios para determinar el volumen contenido en el tanque 2 en esta situación.

Lectura del Sensor	4,06	Voltios
Medida de Presión	3,56	PSI
Conversión Unidades	24.545,33596	Pa
Densidad ACPM	854,98	Kg/m ³
Nivel de Combustible	3.199,455799	mm
Redondeo Nivel	3.199	Mm
Combustible Tanque 2	3.817	GALS

Tabla 4. Determinación del volumen del tanque con base en la lectura del sensor de presión

Es de resaltar que el método propuesto permite disminuir las diferencias entre los aforos y las mediciones en más del 2,62% con respecto al método actual, tal como se infiere de la Figura 15. Esto se refleja en más de 600 galones por aforo para la embarcación piloto de la instala-

ción del sistema. Dado que el consumo de combustible mensual es aproximadamente de 40.000 galones, esto representa un ahorro en la operación de 1.048 galones/mes, equivalente a aproximadamente \$2'440.000/mes (o cerca de \$29'000.000/año²). Como puede apreciarse, el gran volumen de combustible que se consume hace que se obtengan economías significativas con el nuevo proceso, aunque en términos porcentuales las diferencias aparenten ser pequeñas.

6. Conclusiones y trabajo futuro

De las pruebas realizadas se observa que existe una mejora en el cálculo del volumen de combustible debido a la parametrización de los tanques realizada y a la aplicación del modelo propuesto, todo ello a pesar de que se desarrollaron medidas con la varilla aforada y en los puntos de sondeo convencionales, que, como se mos-

tró, presentan inconvenientes por concepto de inclinación.

Vale la pena anotar que la calidad de la evaluación del nivel de combustible se podría mejorar instalando más de un sensor por tanque. De hecho, con este principio se podría evaluar el «*trim*» (inclinación popa-proa) y el «*heel*» o inclinación babor-estribor. De igual manera, existen sensores que permiten tres grados de libertad en la medida. Sin embargo, el diseño aquí presentado se centró en encontrar el punto del tanque insensible al *trim* y *heel*, obviando la necesidad de instalar más de un sensor por tanque. Se presenta esta como una solución viable y económica que se refleja en disminución de los costos de instalación, dado que el remolcador cuenta con 6 tanques y se espera instalar la solución en al menos 10 remolcadores más del mismo tipo.

TC

² El precio del galón de ACPM es de \$2.330.00

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] APOSTOL, Tom M. Calculus. Vol I. Aplicación de la Integración al cálculo de volúmenes. Bogotá: Editorial Reverté S.A., 2 ed., 1988, ps. 137 - 140
- [2] AZZIMONTI, J.C. Teoría de la inferencia estadística[online]. Universidad Nacional de Misiones: Misiones, Argentina. 2000. Disponible en Internet < URL: <http://www.bioestadistica.com.ar>> en Adobe Portable Document Format.
- [3] CORTIJO, Francisco J. La función de densidad de probabilidad normal [online]. 2000. Disponible en Internet: <URL: http://www-etsi2.ugr.es/depar/ccia/rf/www/tema2_00-01_www/node3.html#SECTION00032100000000000000>
- [4] FWMurphy: Instrumentation & Control Solutions. Pressure Transmitters and Pressure[online]. 2001. Disponible en Internet < URL:<http://www.fwmurphy.com/>> en Adobe Portable Document Format
- [5] LEITHOLD, Louis. El Cálculo con Geometría Analítica. Aplicaciones de la Integral Definida. México: Ed. Harla, 6 ed., 1992, ps. 488 - 547
- [6] MENDENHALL, William et al. Estadística Matemática con Aplicaciones. Estimación, propiedades y métodos de determinación. México: Grupo Editorial de Iberoamérica de C.V., 2 ed., 1994, ps. 313 - 398.