

SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ESTABILIDAD EN BARCOS MEDIANTE UN MICROCONTROLADOR

Redín Muñoz Antonio Xavier, Ing.
Valenzuela Ramiro, Msc.
Escuela Politécnica Nacional

Resumen. En la Ingeniería Naval siempre ha sido una preocupación grande la estabilidad de los barcos, sin importar el tipo de embarcación que sea; a pesar de cumplir normas especiales de carga, no siempre la nave en puerto queda nivelada, por lo que es necesario un sistema de control de estabilidad, que brinde seguridad de navegación a la tripulación, mercadería y barco.

Este control se lo realiza mediante un microprocesador PIC 16F877A, el mismo que recibe señales de los distintos sensores (inclinación, condiciones de tanques de lastre) y efectúa acciones de llenado o vaciado de tanques para lograr la compensación de la nave.

Abstract. In the Naval Engineering it has always been a big concern the stability of the ships, without caring the craft type that is; however completing special norms of load, not always the ship in port is horizontal, for what is necessary a system of control of stability that offers sailing security to the company merchandise and ship.

This control is made by means of a microprocessor PIC 16F877A, the same one that receives signs of the different sensors (inclination, conditions of tanks of ballast) and it makes actions of filled or casting the tanks to achieve the compensation of the ship.

I. INTRODUCCIÓN

FUNDAMENTO TEÓRICO (PRINCIPIOS FÍSICOS)

Los barcos flotan gracias al principio de Arquímedes, ley física que establece que cuando un objeto se sumerge total o parcialmente en un líquido, éste experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del líquido desalojado.

El concepto clave de este principio es el empuje que es la fuerza que actúa hacia arriba reduciendo el peso aparente del objeto cuando éste se encuentra en el agua, y está aplicado en un punto llamado centro de empuje que coincide con el centro de gravedad (C.G.) del sólido, cuando el cuerpo está en reposo.

Un objeto flota si su densidad media es menor que la densidad del agua. Si éste se sumerge por completo, el peso del agua que desplaza (y, por tanto, el empuje) es mayor que su propio peso. Si se coloca un objeto en el agua, éste es impulsado hacia arriba y hacia fuera del agua hasta que el peso del agua desplazada por la parte sumergida sea exactamente igual al peso del objeto flotante.

Centro de Gravedad (C.G.)

Centro de gravedad (C.G.), es el punto de aplicación del peso del cuerpo (es como que la Tierra pescara al cuerpo de ese punto para atraerlo hacia su centro), y que es el mismo, sea cual sea la posición del cuerpo.

La ubicación del centro de gravedad (C.G.) depende de la forma del cuerpo, pudiendo estar también fuera o dentro del cuerpo.

EQUILIBRIO DE CUERPOS SUMERGIDOS Y FLOTANTES

En la figura Fig. 1 se ha representado un buque en equilibrio, se observará que el centro de gravedad está más alto que el de empuje. No obstante el equilibrio es estable. Supongamos en efecto, que el buque se inclina con relación a la vertical. Como la forma geométrica de la porción sumergida ha variado, el centro de empuje se ha desplazado a la posición c' . En estas condiciones el barco está sometido a un par de fuerzas (P, E) que tiende a poner su eje de simetría nuevamente vertical llevándolo a su posición de equilibrio.

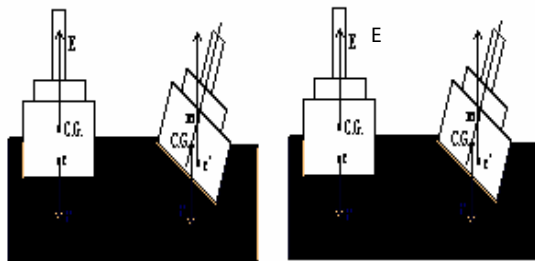


Fig. 1 Buque en equilibrio, y buque enderezándose

II. SIMULACIÓN DEL SISTEMA

Se debe acotar que la simulación se la realiza de una manera completa para los casos de escoramiento a babor y a estribor, debido a que la estabilidad de proa a popa o viceversa (estabilidad longitudinal) es difícil que se produzca, ya que los barcos son más largos que anchos, y es estable en este sentido por su construcción. Se proveen simulaciones manuales en las que se procede a ubicar diverso número de contenedores en distintas posiciones, se evalúa y automáticamente procede a nivelar; y, una simulación automática en la que el programa ubica contenedores al azar y luego procede a realizar las compensaciones del caso.

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

Para efectos de las pruebas prácticas se construyó un barco a escala siguiendo el modelo del barco carguero Post-PanaMax cuyas dimensiones pueden variar entre: longitud de 284 a 318 metros, altura de 39,20 a 42 metros y un ancho de 20 a 30 metros.

Por lo que el barco a escala tendrá las siguientes dimensiones en longitud 64 centímetros, en altura 9 centímetros y en su ancho 10,5 centímetros. Figura 2.



Fig. 2 Barco construido

Normalmente la compensación en los buques se realiza a través de tanques de lastre, entendiéndose por tal: agua salada o aceite y o combustible; y en ocasiones aún agua dulce. Los tanques de almacenamiento de lastre y el tanque de abastecimiento se muestran en la Figura 3.

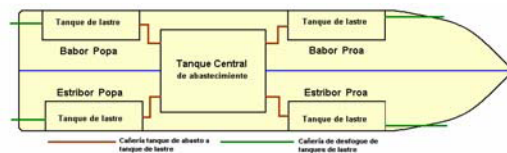


Fig. 3 Tanques de lastre y abastecimiento

El tanque de abastecimiento o tanque central, es diseñado de tal forma que pueda contener las cuatro bombas en su interior, además de tener la suficiente carga de agua para abastecer a los 4 tanques de lastre en la peor de las condiciones. Teniendo así las siguientes dimensiones 10.5 centímetros de ancho, 14 centímetros de longitud

y 5 centímetros de alto, Figura 4, su capacidad es de 735 ml.

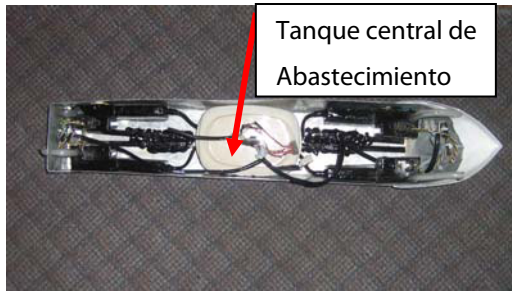


Fig. 4 Tanque de abastecimiento central

HARDWARE ELECTRÓNICO

Para producir la estabilización de la nave se hace necesario un sistema micro controlado que usa como unidad central el PIC 16F877A. Su objetivo básico corresponde a determinar las acciones que debe tomarse con el lastre, ya sea ordenar el transferir agua desde el tanque de abastecimiento hacia uno o algunos de los tanques de lastre o producir el desfogue de uno o más tanques de lastre, esto en tanto recibe información de los sensores de inclinación.

SENSORES DE INCLINACIÓN

Estos sensores son los que indican el escoramiento (desviación del plano horizontal) del barco hacia uno a varios lados, enviando una señal de activación. Figura 5.



Fig. 5 Ampollas de mercurio

Se utiliza para el efecto, ampollas de mercurio que actúan como interruptores normalmente abiertos, ubicados de tal forma que al escorar cierran los dos terminales lo que produce el cierre del interruptor, que mediante un circuito genera una señal de 5 voltios que es considerada un uno lógico en el puerto de entrada del PIC. Figura 5.

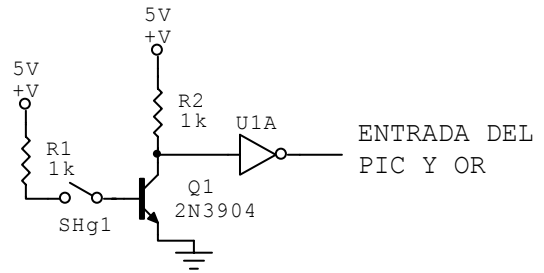


Fig. 5 Circuito de sensores de inclinación

CIRCUITO DE ENCENDIDO Y APAGADO DE LAS BOMBAS

Una vez detectado el escoramiento de la nave se inicia el accionamiento de la o las bombas de alimentación o desfogue de lastre, esto se lo hace con el siguiente circuito electrónico comandado por el PIC. Figura 6

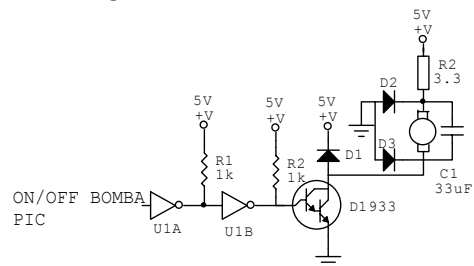


Fig. 6 Circuito de control de bombas

SENSORES DE VACÍO

En la circunstancia en la cual se desea evacuar lastre de un tanque y éste carece de ella, se ha diseñado sensores de vacío para detectar e informar de esta situación al PIC (Fig. 7).

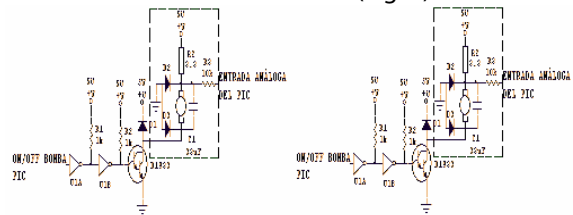


Fig. 7 Circuito de funcionamiento de la bomba con sensor de vacío

Para el funcionamiento de estos sensores se han aprovechado los niveles de voltaje con los que trabajan las bombas ya sea con agua o sin ella.

SENSORES DE LLENO DE TANQUES DE LASTRE

Se lo hace mediante sensores infrarrojos y un circuito electrónico de control (Figura 8).

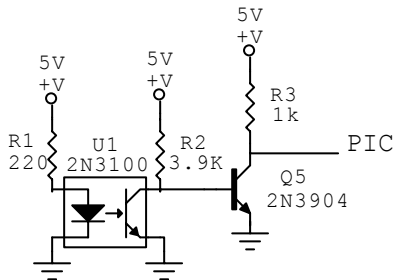


Fig. 8 Circuito de control de sensores de llenado

HARDWARE DE COMUNICACIÓN (MAX232)

Para realizar la captura de datos en la interfaz hombre máquina se va a utilizar el puerto serial del computador (comunicación RS232), el componente electrónico MAX232, además de los pines RC.6 y RC.7 del PIC. Esta comunicación es utilizada para proveer una visualización del comportamiento de la nave al momento de compensar, como son: los estados de los tanques de lastre, vacíos o llenos y el escoramiento o no que presenta la embarcación.

Pantalla de visualización

Con el objetivo de poder realizar una visualización (Figura 9) de lo que ocurre durante el escoramiento de la embarcación, se ha realizado una pantalla en la cual se reflejan los datos de los sensores de inclinación, vacío y lleno; así como que bombas están funcionando.

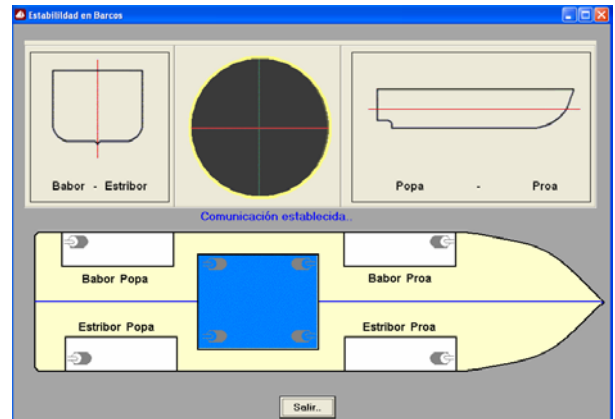
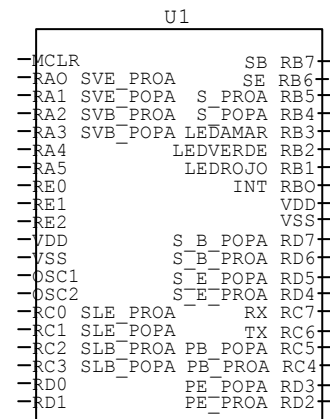


Fig. 9 Pantalla de visualización con comunicación establecida

Cabe indicar que esta pantalla permite únicamente visualizar lo que ocurre en la nave.

PIC

Para el control de todos los elementos electrónicos incluidos en la nave se utiliza el PIC 16F877A.



PIC16F877A

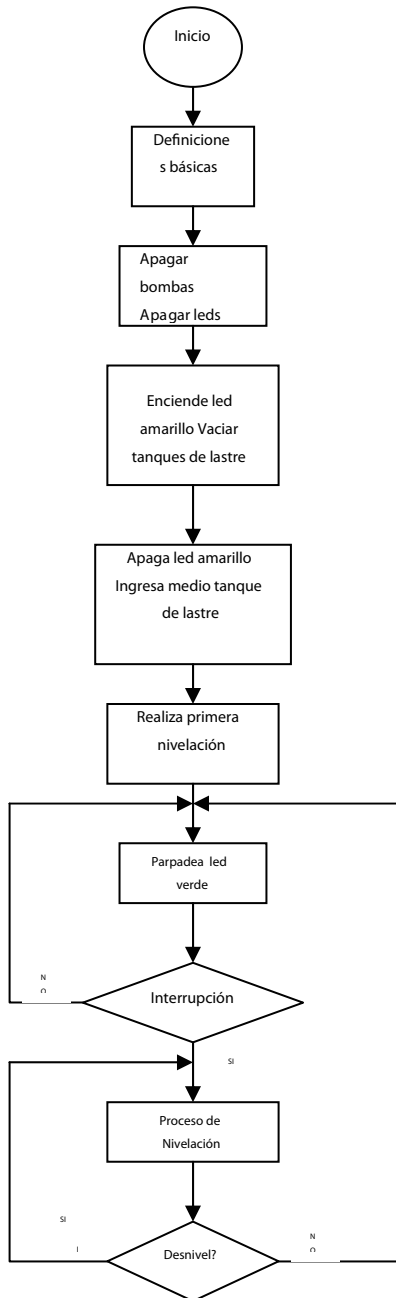
Fig. 10 Distribución de pines del PIC

IV. DESARROLLO DEL SOFTWARE

El control del proyecto se encuentra a cargo del PIC 16F877, dispositivo que administra la información que recibe de los sensores y dispone las acciones que deben tomarse para cumplir el objetivo final que corresponde a mantener la

estabilidad de la nave durante el proceso de estiba.

FLUJOGRAMA GENERAL DEL PROGRAMA



Entendiéndose que no es posible tener al mismo tiempo desviaciones hacia Proa y Popa al mismo tiempo, e igualmente no es posible desviaciones hacia Estribor y Babor al mismo tiempo, entonces existen ocho posibles situaciones que se pueden producir al desnivelarse la nave y éstas son:

Hacia Proa únicamente; hacia Popa únicamente; hacia Estribor únicamente; hacia Babor únicamente; y, las combinaciones hacia Proa y Estribor al mismo tiempo; hacia Proa y Babor al mismo tiempo; hacia Popa y Estribor al mismo tiempo; y finalmente hacia Popa y Babor al mismo tiempo.

Según el caso de desviación se llama a rutinas secundarias que efectúan el trabajo de encender y/o apagar las bombas ya sean de suministro de lastre o de evacuación del mismo con el objetivo principal de producir la nivelación del barco. Estas subrutinas son similares en su accionar básico, difieren en cuanto a las bombas que activan o desactivan y por supuesto en cuanto a los sensores que examinan para determinar las acciones a tomar.

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una de las diferencias que se marca en cuanto a la compensación de la nave, es que en la simulación no existe rebote, es decir, en la práctica al momento de compensar se desaloja o introduce agua en los tanques de lastre, esta acción produce que la embarcación trate de alcanzar la horizontalidad, sin embargo existen casos en los cuales el agua fue demasiada, lo que conlleva una inclinación hacia la otra banda de la embarcación, activándose el sensor opuesto y generándose oscilaciones hasta lograrla compensación.

Al producirse escoraciones a proa o popa, en la simulación los tanques desalojan la misma cantidad de agua en un tiempo determinado, en cambio en la práctica, como se mencionó anteriormente no siempre es así, produciendo en ocasiones escoramientos adicionales hacia babor o estribor, tornándose un caso combinado, por lo que la compensación es más complicada.

La simulación, se basa en compensar el ángulo producido por la colocación de cargas; en la embarcación a escala, el proceso se lo realiza hasta que el sensor activado se apague, logrando claro está la nivelación.

El funcionamiento de la simulación mostró que al sacar agua de los tanques involucrados en el escoramiento, mientras se coloca lastre en los tanques opuestos permite que el nivel de agua permanezca estable, es decir no se llega a tener las condiciones de llenos o vacíos; al trabajar con el prototipo se debería tener el mismo efecto.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Al considerar un cuerpo en un líquido, resulta difícil trabajar sobre este medio, por lo que al tratarse de un barco carguero es importante la estabilidad, estanqueidad, equilibrio, flotabilidad y estructura para la seguridad de la tripulación, de la carga y de la nave; para esto se recopilan datos importantes propios de la embarcación como es el centro de gravedad, empuje, peso de la embarcación, distribución de la sala de máquinas y tanques de lastre.

El objetivo de nivelar la embarcación de forma automática se cumple de una manera eficiente, aumentando incluso casos de compensación que no se encuentran en la simulación, realizando así cuatro alternativas para siempre llegar a la compensación.

El desempeño de los sensores marca la eficiencia del proyecto, por lo cual los circuitos de control están diseñados de tal manera que permitan la seguridad de envío y recepción de datos desde y hacia el PIC.

Si se llegase a trabajar con bombas que aseguren un funcionamiento ideal, es decir introducir y desfogar la misma cantidad de lastre, el nivel de agua en los tanques permanecería casi constante sin llegar a tener llenos o vacíos.

La parte mecánica en cuanto a los sensores tuvo ciertas variaciones durante el proceso, los sensores de lleno fueron modificados para trabajar fuera del tanque, en un inicio lo hacían dentro del él, provocando en ocasiones que se mojen; los sensores de vacío sufrieron algunos cambios para la obtención de los datos, se empezó usando comparadores de voltaje con amplificadores operacionales, pero los datos adquiridos variaban mucho, por lo que el control no era consistente; al trabajar con el conversor a/d la adquisición del dato mejora y permanece estable.

RECOMENDACIONES

Modificando la simulación se lograría realizar un diagrama preciso de colocación de contenedores teniendo un grado de inclinación mínimo e incluso la estabilidad perfecta, logrando de esta manera que la embarcación navegue con seguridad llevando su máxima carga y por consiguiente mejorando el aspecto económico.

Una variación interesante para realizar en barcos reales, sería cambiar los sensores de mercurio por sensores láser que darían una mayor capacidad de control. Con éstos se podría conocer con mayor precisión y seguridad el grado de nivelación de la nave.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ECG SEMICONDUCTORS , "Master Replacement Guide", Philips ECG, Barcelona 1981.
2. GRAN ENCICLOPEDIA SALVAT, El Mar. Tomo 2, 3 y 4. Salvat S.A. de Ediciones, Pamplona. 1976
3. ANGULO, José, ROMERO Susana, ANGULO Ignacio, MICROCONTROLADORES <<PIC>>. Diseño práctico de aplicaciones. Segunda Parte: PIC 16F87X. Segunda Edición. McGRAW-HILL. España. 2000

4. MICROCHIP Technology Inc, 28/40-pin-8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers, 1998 http://www.capitanes.org.ar/Index_Set.htm
5. REYES, Carlos, Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores PIC 16F87X. Primera Edición. Gráficas Ayerve C.A.. 2004
5. Club del Mar, términos marítimos y principios físicos <http://www.clubdelamar.org/per.htm>
6. ALVARENGA, Beatriz, "Física General", Cuarta Edición, Editorial Harper & Row
6. Wikipedia, Estiba <http://es.wikipedia.org/wiki/Estiba>
7. MERCADO, Carlos, "Curso de Física", Editorial Universitaria
7. Centro de empuje www.acienciasgalilei.com/fis/fis-recreativa/hidrostatica.htm#centro-empuje
8. ACOSTA, Alonso, "Introducción a la Física", Tomo 1.
8. Wikipedia, Peso Específico http://es.wikipedia.org/wiki/Peso_especifico
9. BLATT, Frank J., "Fundamentos de Física", Prentice may, Tercera Edición
9. Anónimo, Estabilidad en buques <http://www.seed.slb.com/qa2/FAQView.cfm?ID=586&Language=ES>
10. SERWAY, Raymond, FAUGHN, Jerry, "Física", Quinta Edición, Editorial Prentice Hall, 2001.
10. Anónimo, Normas de carga y descarga www.portovilagarca.com/castellano/archivos_pdf/normascarga_descarga.pdf

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELECTRÓNICAS

1. Centro de Capitanes de Ultramar, Estabilidad en buques cargueros http://www.capitanes.org.ar/asuntos_tecnicos/apuntes/estabilidad/estabilidad_de_l_buque.htm
2. Wikipedia, Empuje www.es.wikipedia.org/wiki/Empuje
3. La Biblioteca Digital de la UPC, Estiba, <http://bibliotecnica.upc.es/bib280/examen/ApEstiba-1.pdf>
4. Centro de Capitanes de Ultramar, Reglas de estiba,

BIOGRAFÍAS

Antonio Xavier Redín Muñoz



Nacido en Quito, el 13 de noviembre de 1979. Sus estudios primarios los realizó en la Academia Naval

Almirante Nelson, cursando por el Colegio Sebastián de Benalcázar la secundaria. Adquirió su título de tercer nivel en la Escuela Politécnica Nacional de Ingeniero Electrónico en Control.

Se desempeña como Ingeniero de soporte en EQTEK.

e-mail: aredin@eqtek.net
rvalenzuelapenafiel@yahoo.com