

## SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y ELEMENTO PROTECTOR DE UN SISTEMA DE EMERGENCIA DE GEOLOCALIZACIÓN PARA LOS SUBMARINOS TIPO 209 DE LA ARMADA NACIONAL DE COLOMBIA

### Activation system and protective element of a geolocation emergency system for type 209 submarines of the colombian national navy

José David Monroy Ardila<sup>1</sup>  
Huber Camilo Araujo Burbano<sup>2</sup>

Recibido: 10 /4/2019

Aceptado: 3/10/2019

#### Resumen

El presente proyecto de investigación se propone el desarrollo de un sistema de activación y elemento protector de un sistema de emergencia de geolocalización para los submarinos tipo 209 de la Armada Nacional de Colombia con el fin de brindar información de coordenadas geográficas (sistema COSPAS-SARSAT) al Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional, y de esta manera planear una operación de salvamento del submarino o búsqueda y rescate de la tripulación. Para la materialización del sistema propuesto se indago sobre los fenómenos físicos involucrados en cada uno de los subsistemas que lo conforman, como son: funcionamiento sistema COSPAS-SARSAT, sistemas de emergencia para submarinos, aplicación de la física al buceo, magnetismo, electro neumática y resistencia de materiales. A partir de esto, se procedió a diseñar el sistema; para ello se utilizó herramientas computacionales como AUTOCAD® (generación planos), EasyEDA® (simulador electrónico online) para diseño del circuito eléctrico

y FluidSIM® para el desarrollo del circuito electro neumático. Realizado el proceso de diseño se pasó a la etapa de construcción y validación del sistema creado.

**Palabras clave:** Sistema COSPAS-SARSAT submarino, física del buceo, electro neumático, herramientas computacionales.

**Abstract:** The present research project proposes the development of an activation system and protective element of a geolocation emergency system for type 209 submarines of the Colombian National Navy in order to provide geographical coordinates information (COSPAS-SARSAT system) to the Department of Diving and Salvage of the National Navy, and in this way to plan a rescue operation of the submarine or search and rescue of the crew. For the materialization of the proposed system, we inquired about the physical phenomena involved in each of the subsystems that comprise it, such as: COSPAS-SARSAT system operation, emergency systems for submarines, application of physics to diving,

<sup>1</sup>Profesional en Ciencias Navales. Escuela de Buceo y Salvamento. [jose.monroy@armada.mil.ao](mailto:jose.monroy@armada.mil.ao)

<sup>2</sup>Ingeniero Mecánico. Escuela de Buceo y Salvamento. [huber.araujo@armada.mil.ao](mailto:huber.araujo@armada.mil.ao)

magnetism, electro pneumatics and material resistance. Having these concepts clear, we proceeded to design the system; for this, computer tools such as AUTOCAD® (plan generation), EasyEDA® (electronic online simulator) for electrical circuit design and FluidSIM® for the development of electro-pneumatic

circuit were used. Once the design process was completed, the construction and validation of the created system was carried out.

**Keywords:** COSPAS-SARSAT system, submarine, diving physics, electro pneumatics, computational tools

## **Introducción**

La Armada Nacional de Colombia actualmente cuenta con submarinos tipo 209 y A206 que presentan los siguientes sistemas de emergencia: escape de emergencia, trampas de aire, balsas de salvamento, chalecos de escape, cinturones de seguridad y equipos para extinción de incendios. No cuentan con un sistema de emergencia alterno efectivo que permita conocer la posición geográfica en tiempo real en caso de una falla humana, técnica o bélica que lleve al submarino al fondo del mar, impidiendo conocer dos variables esenciales para la planeación de una operación de salvamento, como son la posición y profundidad del artefacto naval.

El presente trabajo de investigación plantea una propuesta para el diseño de un sistema de activación y elemento protector para un dispositivo de geolocalización que permita determinar la posición del submarino que presenta una emergencia. Con este sistema se busca dotar al Departamento de Buceo y Salvamento de una herramienta de salvamento para la búsqueda de submarinos, y de esta manera optimizar el tiempo de busque y rescate de la tripulación

## **Método**

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se indagó sobre los diferentes fenómenos físicos relacionados con el sistema, como fueron: física aplicada al buceo, sistema Cospas- Sarsat, resistencia de materiales, sistemas de emergencia de submarinos, magnetismo y electro neumática; donde se identificó los recursos teóricos, técnicos y tecnológicos necesarios para la selección del sistema de geolocalización, diseño del elemento protector y sistema de activación- liberación. Obtenida y analizada la información se procedió a modificar la boya EPIRB para ser activada mediante magnetismo utilizando un reed switch. . Luego de esto, procedió en calcular el espesor del cilindro (dependiendo del material seleccionado, aluminio o fibra de vidrio) que sea resistente a la compresión hidrostática (400m de profundidad). Luego se diseñó el sistema de activación- liberación del elemento protector, donde se utilizó un sistema electro neumático (válvula 5/2 y actuador neumático). Para posteriormente realizar pruebas del sistema individual y en conjunto en el tanque abierto del Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional de Colombia.

## **Análisis y resultados**

### **Sistema de geolocalización**

La adquisición de la boya EPIRB se realizó por intermedio de la Flotilla de Superficie del Pacífico, dado que la Unidad ARC “Buenaventura” se encontraba en proceso de desactivación. Al momento de recibir la boya EPIRB modelo Emergency Position Indicating Radio Beacon - ACR SATELLITE2 406 RLB32, ésta se encontraba fuera de servicio según la Unidad marítima antes mencionada.

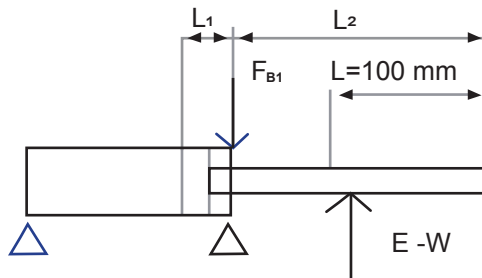


*Figura 1. Modificación circuito electrónico – Reed switch - Fuente: Autores*

Analizado el sistema electrónico se procedió modificar el sistema de activación acuerdo las necesidades del proyecto.

### **Sistema de activación y liberación**

Para seleccionar el actuador neumático que cumpla las características de pruebas de validación (tanque abierto, 10 metros) se realizó un análisis de fuerzas (diagrama de cuerpo libre), utilizando la ecuación 1 y uso de un catálogo comercial seleccionar el actuador idóneo (Catalogo SMC1 (2011)).



*Figura 2. Diagrama de cuerpo libre para la selección del actuador neumático. Fuente: Autores*

$$F_{B1} = W_s \left( 1 + \frac{L_2}{L_1} \right) \quad (1)$$

Ec. 1 donde,

- $F_{B1}$ : Carga admisible sobre el casquillo guía [N]  
 $W_s$ : Carga en el extremo del vástago [N] (para este caso corresponde a 19,93 N)  
 $L_2$ : Longitud de empotramiento [mm]  
 $L_1$ : Longitud del vástago [mm]

El resultado de  $F_{B1}$  debe ser menor que el mostrado en la siguiente tabla:

**Tabla 1.**  
 Selección del actuador neumático sometido a cargas radiales

Serie	$\bar{A}$ Cilindro (mm)	$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	Carga máxima ( $F_a$ ) sobre el casquillo guía
C85	8	31,2	17,3 +carrera	2,5
	10	31,2	17,3 +carrera	3,9
	12	35,2	21,8 +carrera	5,6
	16	35,2	21,8 +carrera	10
	20	39,3	25,6 +carrera	15,7
	25	42,8	27,6 +carrera	24,5
C75	32	51,6	30,4 +carrera	40,2
C65	40	66,1	35,4 +carrera	62,4
C92	32	32	52 +carrera	40
	40	37	58+carrera	65
	50	39	68 +carrera	100
	63	43	71 +carrera	155
	80	52	79 +carrera	250
	100	56	85 +carrera	395
	125	91	118 +carrera	615
	160	103	149 +carrera	1005

Fuente: Autores

Con los datos obtenidos se seleccionó un actuador neumático de diámetro 40 mm y 100 mm de carrera.

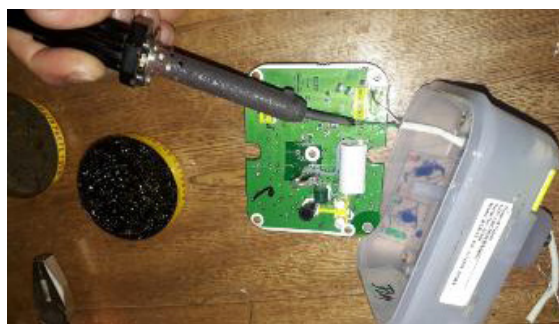


**Figura 3.** Cilindro doble efecto carrera 100 mm, diámetro 40 mm ISO PTO ¼ NPT  
Fuente: Autores

Para el soporte del cilindro neumático y los imanes de neodimio, se construyeron las siguientes estructuras:

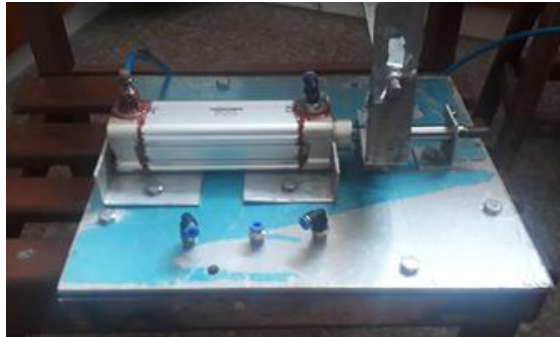


**Figura 4.** Vista frontal estructura soporte actuador neumático  
Fuente: Autores



**Figura 4.** Vista frontal estructura soporte actuador neumático  
Fuente: Autores

En la siguiente figura se indica el ensamble del sistema de activación-liberación:



**Figura 7.** Sistema de activación-liberación

Fuente: Autores

### Elemento protector y cálculo de flotabilidad

Para determinar las dimensiones de espesor, diámetro y altura del prototipo del elemento protector o carcasa (cuya principal función es mantener la estanqueidad y protección de la boya EPIRB) que garantice la flotabilidad positiva y resistencia a la compresión, se utilizó el procedimiento propuesto por la ABS (American Bureau of Shipping) (ALLMENDINGER, 1990).

**Tabla 2.**

Si $P_m/P_y \leq 1$	Si $1 < P_m/P_y \leq 3$	Si $P_m/P_y > 3$
$P_c = P_m/2$	$P_c = P_y[1 - P_y/(2P_m)]$	$P_c = 5/6 P_y$

Fuente: Autores

Donde Ec.2

$$P_m = \frac{2,42E[t/(2R)]^{V^2}}{(1 - v^2)^{V^4} [L/(2R) - 0,45(t/(2R))^{V^2}]} \quad (2)$$

Propone tres ecuaciones:

$t$ : Espesor

$P_m$ : Presión máxima de trabajo

$P_y$ : Presión de trabajo que supera el límite de fluencia del material

$P_c$ : Presión crítica por ABS

$C$ : Profundidad

- **Requerimientos:**

Profundidad: 400 m

Flotabilidad positiva

Material: aluminio serie 5XXX y fibra de vidrio

Dimensiones:

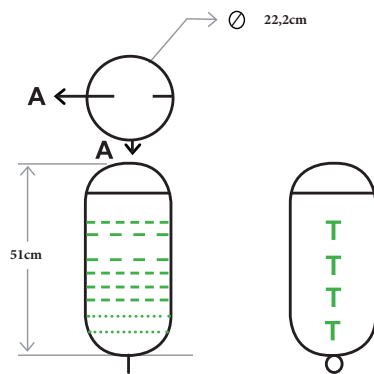
Radio: 22 cm

Largo: 21 cm

Elemento hermético

Densidad de agua: 1027 Kg/m<sup>3</sup>

Facilidad hermeticidad desmonte esfera superior.



**Figura 8.** Pre modelo elemento protector.

Fuente: Autores

**Tabla3.**

Datos de entrada calculo espesor

Datos de entrada	Aluminio	Fibra de vidrio
Radio de casco R [m]	0,11	0,11
Forma de cilindro, material, cuadernas F	0	0
Módulo de Young E [Pa]	6,90E+10	4,50E+10
Módulo de Poisson V [-]	0,35	0,19
Longitud entre cuadernas L [m]	0,1	0,1
Límite de fluencia material [Pa]	117000000	62055000
Factor de uso o inversa FS[-]	0,8	0,8
Aceleración g [m/^2]	9,8	9,8
Densidad de agua de mar [Kg/m^3]	1027	1027
Factor de seguridad F.S	1,25	1,25

Fuente: Autores



**Tabla 4.**

Datos de salida para espesor aluminio

t[m]	$\rho_m$ [Pa]	$\rho_v$ [Pa]	$\rho_m/P_v$	$\rho_c$ [Pa]	$\rho_d$ [Pa]	c[m]
0,003	15055434,46	3190909,09	4,71	2659090,91	2127272,73	211,36
0,004	31881496,24	4254545,45	7,49	3545454,55	2836363,64	281,82
0,00415	35108662,72	4414090,91	7,95	3678409,09	2942727,27	292,38
0,005	57288059,35	5318181,82	10,77	4431818,18	3545454,55	352,27
0,006	92767941,82	6381818,18	14,53	5318181,82	4254545,45	422,72

Fuente: Autores

**Tabla 5.**

Datos de salida para espesor fibra de vidrio

t[m]	$\rho_m$ [Pa]	$\rho_v$ [Pa]	$\rho_m/P_v$	$\rho_c$ [Pa]	$\rho_d$ [Pa]	c[m]
0,003	6046830,005	1692409,09	3,573	1410340,91	1128272,73	112,1
0,004	12669137,83	2256545,45	5,614	1880454,55	1504363,64	149,47
0,00415	13930350,68	2341165,91	5,95	1950971,59	1560777,27	155,08
0,005	22541975,03	2820681,82	7,992	2350568,18	1880454,55	186,84
0,006	36164168,29	3384818,18	10,684	2820681,82	2256545,45	224,21
0,0069	52024838,27	3892540,91	13,365	3243784,09	2595027,27	257,84
0,00783	72249517,36	4414367,05	16,367	3678639,2	2942911,36	292,40
0,00875	96807879,86	4936193,18	19,612	4113494,32	3290795,45	236,97
0,00968	126054572,1	5458019,32	23,095	4548349,43	3638679,55	361,53
0,0106	160340760,5	5979845,45	26,814	4983204,55	3986563,64	396,10
0,01153	200015418,3	6501671,59	30,764	5418059,66	4334447,73	430,66

Fuente: Autores

De los datos de salida se observa que el elemento protector de material de aluminio y fibra de vidrio debe tener un espesor de 6 mm y 12 mm respectivamente para cumplir el requerimiento de 400 m de profundidad. Obtenido el espesor del material de aluminio y fibra de vidrio, se calculó la flotabilidad positiva del elemento protector y por ende sus principales cotas (altura y diámetro).

### Calculo flotabilidad positiva del elemento protector.

Se realizó el cálculo para tres materiales PVC, aluminio y fibra de vidrio. Las ecuaciones utilizadas se relacionan a continuación:

**Tabla 6.**  
Ecuaciones para el cálculo de flotabilidad

Ecuación	Descripción de variables
$V = \frac{\pi}{4} D^2 h$	$V$ : volumen carcasa
	$D$ : diámetro carcasa
	$h$ : altura del carcasa
$W = mg$	$W$ : volumen carcasa
	$D$ : diámetro carcasa
	$h$ : altura del carcasa
$E = \rho g V$	$\rho$ : densidad agua mar
	$g$ : gravedad
$RF = E - W$	$V$ : volumen carcasa
	$RF$ : reserva flotabilidad
$V_{RF} = RF/\rho$	$V_{RF}$ : volumen reserva flotabilidad
$h_{RF} = \frac{4V_{RF}}{\pi D^2}$	$h_{RF}$ : altura reserva flotabilidad
$h_s = h - h_{RF}$	$h_s$ : altura sumergida

Los datos de entrada y salida para el PVC se muestran a continuación:

**Tabla 7.**  
Datos de entrada PVC

Diámetro[m]	0.17
Altura[m]	0.21
Espesor[m]	0.005
Material	PVC
Masa epirt[kg]	0.861
Masa material[kg]	2
Gravedad[m/s <sup>2</sup> ]	9.8
Densidad del agua salada[kg/m <sup>3</sup> ]	1027

Fuente: Autores

**Tabla 8.***Datos de salida PVC*

Volumen elemento protector [m <sup>2</sup> ]	0.00477
Volumen elemento protector [L]	4.77
Masa total elemento [kg]	2.86
Peso total elemento [N]	28.04
Empuje [kg]	4.90
Empuje [N]	47.97
Reserva- flotabilidad positiva [Kg]	2.03
Volumen reserva de flotabilidad [m <sup>2</sup> ]	0.0028192
Volumen reserva de flotabilidad [L]	1.98
Altura reserva de flotabilidad[m]	0.087
Altura sumergida [m]	0.123

*Fuente: Autores*

Las tablas No 7 y 8 presentan las dimensiones para la construcción del elemento protector, donde se garantiza flotabilidad positiva y una reserva de la misma de 2,03 Kgf para PVC. Al ascender a superficie este elemento flotara, y estará sumergido solo 0.086 m, equivalente al 56% del total de su altura.

En la siguiente tabla se resume los resultados de los principales datos de salida de los materiales en estudio:

**Tabla 9.***Recopilación datos de salida diferentes materiales*

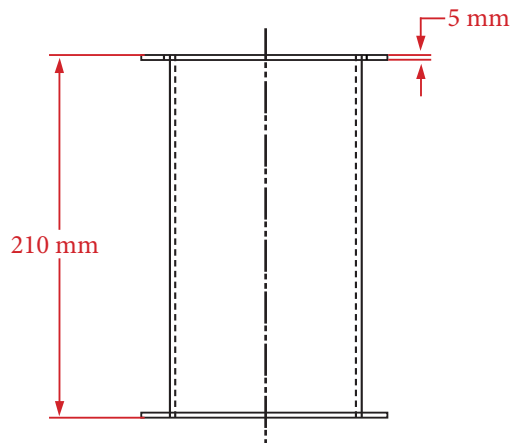
Datos de salida	PVC	Aluminio	Fibra de vidrio
Diámetro[m]	0.17	0.22	0.22
Altura[m]	0.21	0.27	0.26
Espesor[m]	2.86	4.94	5.02
Material	4.9	10.54	10.15
Reserva flotabilidad[kg]	2.0	5.8	5.13
Masa material[kg]	0.123	0.127	0.128
Gravedad[m/s <sup>2</sup> ]	56	47	49.2

*Fuente: Autores*

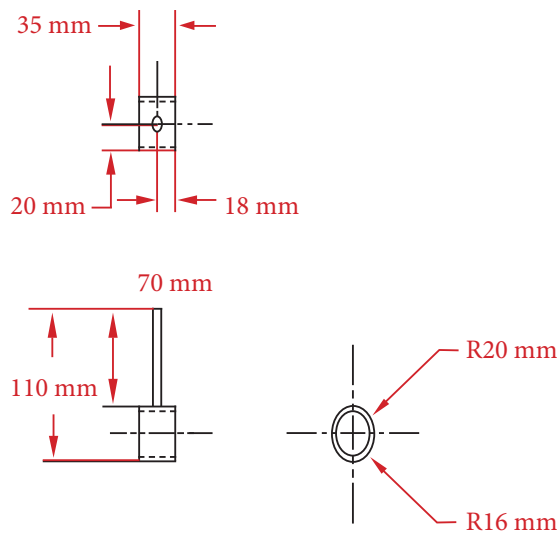
En la tabla No 9 se puede observar que los tres materiales de estudio con las dimensiones de diseño (altura y diámetro) mantiene en promedio un 51% de su altura sumergida, indicando una excelente reserva de flotabilidad, lo que mantendrá una buena estabilidad del objeto, dependiendo la distribución de cargas, las cuales para este caso se localizaran en la base del elemento protector (zona inferior del cilindro).

## Diseño en AutoCAD y construcción

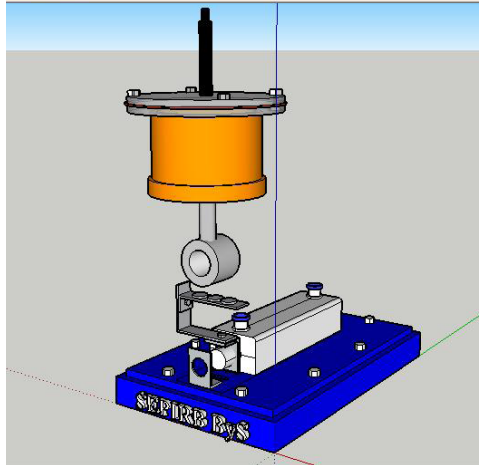
Una vez obtenidos los resultados de los cálculos, procedimos a obtener los planos 2D e isométrico mediante la herramienta computacional AutoCAD, como se muestra a continuación:



**Figura 9.** Vista frontal elemento protector  
Fuente: Autores



**Figura 10.** Vista frontal, lateral derecha y superior soporte de liberación elemento protector  
Fuente: Autores



**Figura 11.** Vista isométrica modelo 3D  
**Fuente:** Autores

Con los planos generados, se realizó la fabricación de cada una de las piezas. Para el prototipo del elemento protector se utilizó tubería PVC-RDE 26<sup>3</sup> como material base, cuya presión de trabajo a 23°C es 180 psi (12.2 atm). Dado que la prueba de validación se realizará a 2 ATA (20 mca o 29,4 psig) este material seleccionado para el prototipo puede soportar los esfuerzos al cual estará sometido.



**Figura 12.** Fabricación elemento protector- tubería PVC  
**Fuente:** Autores

<sup>3</sup>PAVCO Manual técnico tubosistemas PRESION PVC . p. 7. [citado 20, junio, 2018]. Disponible en: <<http://www.pavco.com.co>>



*Figura 13. Corte circular lamina de acrílico*  
*Fuente: Autores*

Para la fabricación de las bridas se realizó la preparación de la lámina de acrílico, la cual consistió en realizar un corte circular de mayor diámetro del diseño, con el fin que sea posible mecanizarlo en el torno



*Figura 14. Fabricación bridas*  
*Fuente: Autores*



**Figura 15.** Impermeabilización tapa inferior

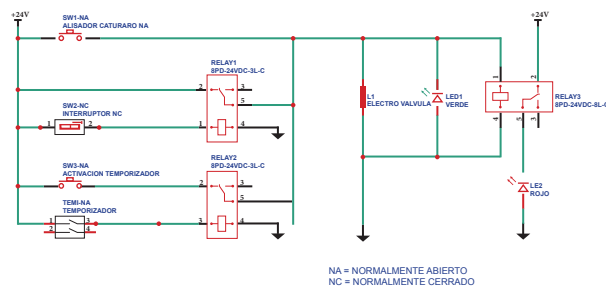
**Fuente:** Autores

Una vez fabricadas las piezas que conforman el elemento protector se procedió a ensamblar e impermeabilizar la tapa inferior y anillo de la brilla superior (Figura 74)

Para realizar la adhesión de la tapa inferior al tubo PVC se utilizó soldadura líquida SOLDAMAX de la marca PAVCO, igualmente para pegar el anillo de la brida inferior se utilizó una mezcla epóxica de la marca PEGADIC; para impermeabilizar y sellar estas piezas se contó con PEGADIT-SILICONA RTV (producto viscoso utilizado en la industria automotriz para realizar sello del Carter y culata con el bloque, resistente alta presión y temperatura).

### Diseño módulo de simulación y construcción

El diseño del módulo simulación se realizó con conocimientos propios de los autores, primero se diseñó el esquema electrónico con la ayuda de un simulador electrónico online de nombre “EasyEDA”, obteniendo el siguiente esquema:



**Figura 15.** Circuito electrónico del módulo de simulación

**Fuente:** Autores

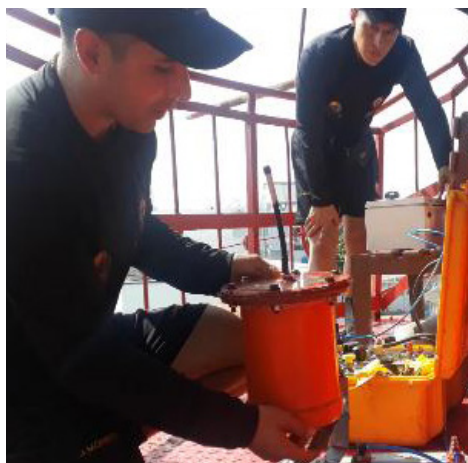
Con la ayuda del circuito electrónico y los materiales (relé, banco baterías, temporizador, pulsadores, electroválvula 5/2) se construyó el módulo de simulación, así:



**Figura 16.** Circuito electrónico del módulo de simulación  
Fuente: Autores

### Validación del sistema de emergencia alterno en el agua

La validación del sistema de emergencia de geolocalización se realizó en el tanque abierto a 10 metros de profundidad del Departamento de Buceo y Salvamento de la Armada Nacional de Colombia, donde se ubicó en el elemento protector (con la boya EPIRB en su interior), el cilindro neumático con su base y las dos mangueras para alimentar la presión del cilindro desde superficie, como se aprecia en las siguientes figuras:



**Figura 17.** Sistema de activación elemento protector en superficie  
Fuente: Autores



**Figura 18.** Colocación boya SEPIRB y sistema de liberación en el agua  
Fuente: Autores



El resultado de la prueba en superficie y sumergido fue satisfactorio y avalado por el señor buzo maestro SJ (R) José Alfredo Medina Pérez, instructor de la Escuela de Buceo de la Armada Nacional. Cada sistema se comportó como se esperaba sin generar ningún inconveniente, permitiendo activar todo el sistema de emergencia alterno de geolocalización.

### **Conclusiones**

Una vez finalizada la investigación y efectuados las pruebas de validación, se concluye lo siguiente:

Se identificaron los recursos teóricos, técnicos y tecnológicos, que permitieron realizar la creación del dispositivo. Durante el diseño del prototipo se permitió identificar que la modificación del sistema de geolocalización fue la apropiada, los cálculos de resistencia para el material del sistema del elemento protector fueron los ideales para soportar la presión hidrostática trabajada, al igual que la flotabilidad positiva diseñada permitió que elemento protector alcanzará la superficie cuando el sistema es activado, la elección del sistema de liberación aplicado a nuestra necesidad fue la correcta, y por ultimo las simulaciones de las activaciones automáticas y manual del sistema de emergencia de geolocalización fueron muy precisas, lo cual permitió que la construcción del prototipo se llevase a cabo cumpliendo los objetivos propuestos.

Las pruebas realizadas individualmente a cada sistema que compone este prototipo fueron las esperadas, por lo cual se logró una correcta sinergia entre todos los sistemas en la prueba en el agua, concluyendo que el dispositivo propuesto es el que realmente se necesita para satisfacer la necesidad planteada, funcionando de manera óptima, eficiente y eficaz.

Se implementó un manual técnico de operación y mantenimiento del prototipo, con el propósito de orientar al usuario para el uso del dispositivo y el mantenimiento preventivo del mismo.

La flotabilidad positiva calculada para el elemento protector es la correcta para que éste ascienda a superficie a una velocidad moderada, una vez activado el sistema. Pero es necesario ubicar un contra peso en la parte inferior del elemento protector, para que el centro de gravedad se localice en la parte inferior del elemento protector, y de esta manera garantizar la estabilidad en superficie.

Técnica y tecnológicamente la implementación a bordo de los submarinos Tipo 209 de la Armada Nacional de Colombia es viable.

## Referencias

- Allmendinger, E. Eugene (1990) : *Submersible Vehicles Systems Design. Chapter 6: Structural Principles*. Ed. SNAME.
- ACR Electronics, Inc. (2006). Product Support Manual. Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB RLB-33, RLB-32), September 27, 9 p.
- Behar Rivero, Daniel S. (2008) Metodología de la Investigación: La investigación científica. Editorial: Shalom, 21 p.
- CNN en español (2017): *Estas son las 5 desapariciones más misteriosas en el mar que siguen sin esolverse*. En: CNN en español [en línea]. (21, noviembre, 2017). Disponible en internet: <http://cnnespanol.cnn.com/2017/11/21/desapariciones-submarinos-aviones-mar-misterios/#0>
- COSPAS-SARSAT. (2018) *Handbook on distress alert messages for rescue coordination centres (RCCS), search and rescue points of contact (SPOCS) and IMO ship security competent authorities, C/S G.007 Issue 2 – Revision 1*, February 2018. 1-2 p
- Galisteo Streeksoff, Héctor (2014). *Proceso de salvamento de un submarino hundido y posibles mejoras de rescate. Trabajo de Grado de Diplomatura en Maquinas Navales*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, Facultad Náutica de Barcelona. 121 p.
- Hernández Hernández, Mario (2014). Radiobalizas y radiogoniometría: identificación y localización. Trabajo de fin de Grado de Náutica y Transporte Marítimo. Laguna: Universidad de la Laguna, Escuela Superior de Náutica, Maquinas y Radioelectrónica Naval, 19 p
- Inmarsat: *Distress alerts*. En: INMARSAT [en línea]. (23, junio, 2017). Disponible en internet: <https://www.inmarsat.com/services/safety/distress-alerts/>
- Mott, Robert L. (2006) Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson educación, 124 p.
- Mott, Parada, Christian, Monroy, Fernando.(2010) *Diseño, Cálculo, Modelación y Construcción de un Prototipo De Boya De Comunicaciones Submarinas*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Naval Especialidad Mecánica. Cartagena: Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla. Facultad de Ingeniería Naval.
- CatalogoSMC1(2011). *Sistemas neumáticos y oleohidráulicos. Consulta de catálogos*. (citado 15, junio 2018). Disponible en: <http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/ejercicio-catalogo-SMC.pdf>. P 16.