

LA SEGURIDAD EN LOS SUBMARINOS DE PROPULSIÓN NUCLEAR

Julio ALBERT FERRERO



Introducción



A avería del submarino británico *Tireless* creó una alarma social en el campo de Gibraltar por el riesgo que comportaba su proximidad a la Roca, en donde tras varios meses se reparó el submarino nuclear.

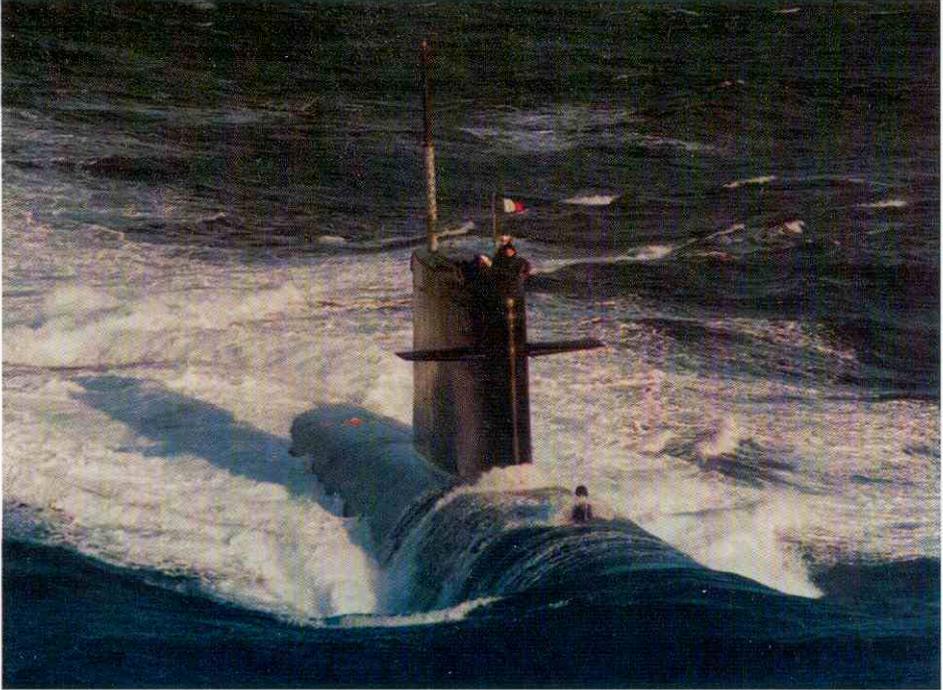
Con tal motivo, la Asociación de Estudios del Mar (ASESMAR), en conjunción con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales y Oceánicos de Madrid (ETSIN), organizó una sesión técnica sobre «Aspectos actuales de la propulsión naval nuclear», en la que se trató de la energía nuclear y su aplicación a la propulsión naval, de los sistemas de propulsión naval nuclear, de la seguridad de estos sistemas y, finalmente, del hundimiento del submarino ruso *Kursk*, perdido en aquellas fechas. Finalizó la sesión con un coloquio interesante, en el que intervinieron destacados expertos.

El contenido de las ponencias se ha recogido en una publicación restringida, que clarifica los riesgos y, sobre todo, la seguridad que actualmente ofrece la propulsión nuclear.

En consecuencia, nos ha parecido oportuno sintetizar y difundir en este artículo los aspectos más interesantes, junto con los cuadros y tablas de submarinos nucleares hundidos y con los de submarinos nucleares accidentados, exponiendo al propio tiempo los conceptos fundamentales de estos sistemas.

Generalidades

Antes de entrar en materia vamos a recordar algunos conceptos fundamentales que facilitan la comprensión de los riesgos que comportan los reactores nucleares.



Submarino de ataque nuclear francés *Améthyste*.

El átomo se compone de un núcleo y de un conjunto de electrones que orbitan a su alrededor. Los electrones tienen carga eléctrica negativa y una masa pequeñísima. En el núcleo están los protones y los neutrones. Los protones tienen carga eléctrica positiva y una masa mayor que la de los electrones. Los neutrones tienen carga eléctrica neutra y también una masa mayor a la de los electrones.

Cada elemento químico viene determinado por el número de protones de su núcleo. En su estado neutro, que es el normal, este número será igual al número de electrones, y es lo que se conoce como número atómico en el sistema periódico de los elementos. Así, por ejemplo, el hidrógeno ocupa el número 1 y el uranio el 92.

La masa de un átomo es la suma de las masas del conjunto de protones y de neutrones de su núcleo y se conoce como número másico.

Se entiende por isótopo de un elemento químico el átomo de ese elemento que contiene diferente número de neutrones al de dicho elemento y, por tanto, tiene distinto número másico. Así, por ejemplo, el uranio 235, uranio enriquecido (tiene el número másico 235), es un isótopo del uranio natural y según lo antedicho tiene el mismo número atómico del uranio (92), (porque

como su nombre indica sigue siendo uranio).

Cuando un núcleo pesado se fracciona, se produce una liberación de energía; en esto consiste el proceso de fisión nuclear, fundamento de los reactores nucleares y de la bomba atómica.

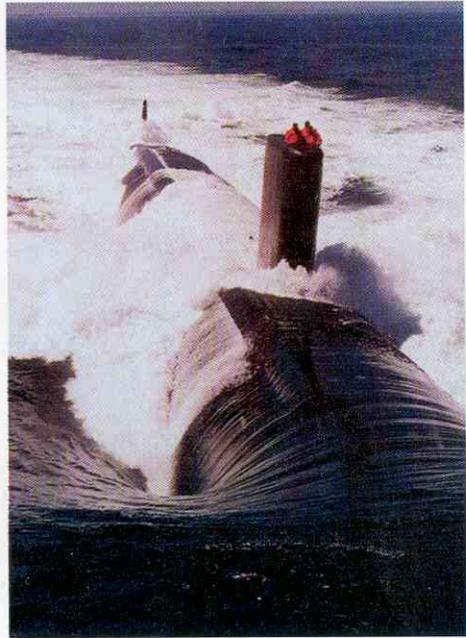
Cuando núcleos ligeros se unen, se produce también una liberación de energía; esto es, el proceso de fusión, fundamento de la bomba de hidrógeno.

Cuando un núcleo de uranio 235 captura un neutrón de cualquier energía, puede producirse fisión, con desprendimiento de neutrones, que a su vez podrán ser capturados por otros núcleos, produciéndose una reacción en cadena. Cuando un núcleo del isótopo de uranio 238 captura un neutrón con una energía superior a un megaelectrón/voltio, se produce fisión, que da lugar a plutonio como subproducto fisionable. Este desprendimiento casi instantáneo de energía es el fundamento de la bomba atómica. Por el contrario, en los reactores nucleares la fisión queda controlada por tiempo ilimitado.

La fisión de un kilogramo de uranio produce una energía equivalente a la combustión de 2.700 toneladas de carbón.

En la mayor parte de los elementos pesados de la tabla periódica, se produce una desintegración espontánea del núcleo con emisión de alguna partícula cargada para transformarse en otro núcleo distinto al inicial. Al propio tiempo, se producen tres clases de radiaciones: la formada por partículas elementales positivas (α), la formada por partículas elementales negativas (β) y la denominada γ , consecuencia de un reajuste energético interno. A este fenómeno se le conoce como radiactividad, fenómeno que también se produce en el proceso de reacción en cadena. La radiación γ es la más penetrante y, junto con el conjunto de neutrones que quedan libres, constituye la mayor peligrosidad para la vida humana cuando alcanza determinados niveles de energía.

La obtención del uranio 235 a partir del uranio natural es un proceso tecnológico complicado y extraordinariamente caro, quedando limitado a las grandes potencias. Sin embargo, cualquier nación que cuente con centrales nuclea-



Submarino norteamericano *Columbia*.

res cuyo combustible sea el uranio 238 puede conseguir el plutonio, como se ha indicado anteriormente, que también es fisiónable, necesario para fabricar una bomba nuclear.

Reactores nucleares de potencia

Todo reactor nuclear consta de la vasija del reactor, que contiene un núcleo en el que se aloja el combustible, los medios estructurales para contenerlo, las barras de control, un moderador para reducir la energía de los neutrones, un blindaje para proteger a las personas y a los equipos circundantes y un refrigerante para extraer el calor y conducirlo a la caldera generadora del vapor, que accionará la turbina propulsora, o el generador eléctrico en el caso de las centrales eléctricas.

Dentro del núcleo está también el elemento que contiene el conjunto de neutrones cuya energía es moderada por el elemento moderador, y que son los que van a producir la reacción en cadena.

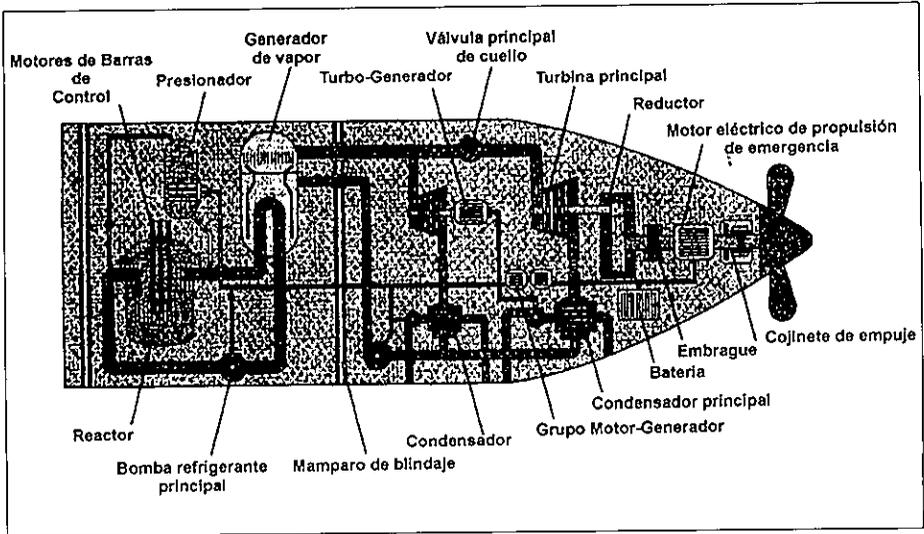
Características de los reactores navales

Todos los reactores navales, con excepción de los que montan los submarinos rusos de la clase *Akula*, son de agua a presión, es decir, de refrigerante que rodea al núcleo y que está a presión para elevar el punto de ebullición y así transmitir mayor cantidad de calor. Este agua actúa también como elemento moderador de la energía de los neutrones. El circuito de este refrigerante se denomina circuito primario. El combustible en forma de placa es una aleación de uranio-circonio, envainado en circaloy (que es transparente a los neutrones), con enriquecimiento de uranio 235. Las barras de control suelen ser de boro y se introducen por la parte superior del núcleo.

Existen reactores nucleares de diseño integrado en los que el generador de vapor está dentro de la vasija de presión y encima del núcleo.

Cuando en un momento dado el número total de neutrones está estabilizado y es, por tanto, igual al del momento anterior, reactor crítico, se dice que su reactividad es cero y su potencia es constante. Cuando este número es superior al del instante anterior, reactor supercrítico, se dice que la reactividad es positiva y su potencia es mayor, y por el contrario, cuando este número es inferior, reactor subcrítico, su reactividad es negativa y su potencia va disminuyendo. La variación de esta reactividad se produce variando la posición de las barras de control. Cuando se navega a velocidad constante, la reactividad es cero, aun cuando el nivel de potencia sea distinto para cada velocidad.

En la figura adjunta se muestra un esquema de un sistema de propulsión nuclear con un reactor de agua a presión (PWR) no integrado.



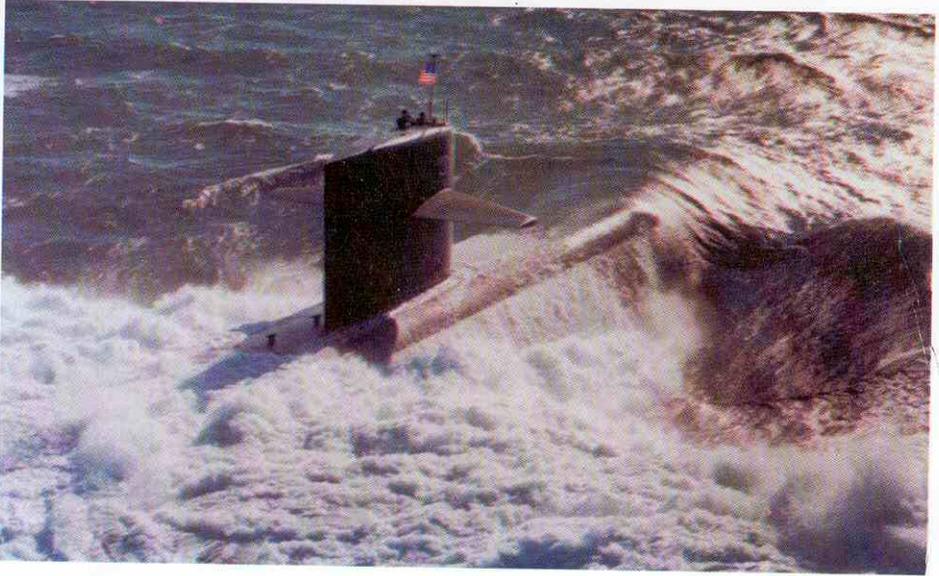
SUBMARINOS NUCLEARES EN EL MUNDO

PAÍS	SSBN	SSN	SSGN	TOTAL	EN CONSTRUCCIÓN
Estados Unidos	18	53	—	71	5
Rusia	24	28	8	60	—
Inglaterra	4	12	—	16	4
Francia	6	6	—	12	3
China	1	5	—	6	2
TOTAL	53	104	8	168	14

SSBN: submarino nuclear de misiles estratégicos (largo alcance).
 SSN: submarino nuclear de ataque.
 SSGN: submarino nuclear de misiles de teatro (alcance medio).

La seguridad en los reactores navales

Se funda en el concepto de defensa en profundidad, concepto similar al conocido en la estrategia como principio de la guerra. Se basa en la existencia de cuatro barreras físicas: la pastilla cerámica de combustible, la vaina del combustible, la envolvente a presión del circuito primario y el recinto de contención. El conjunto de estas cuatro barreras constituye la seguridad pasiva.



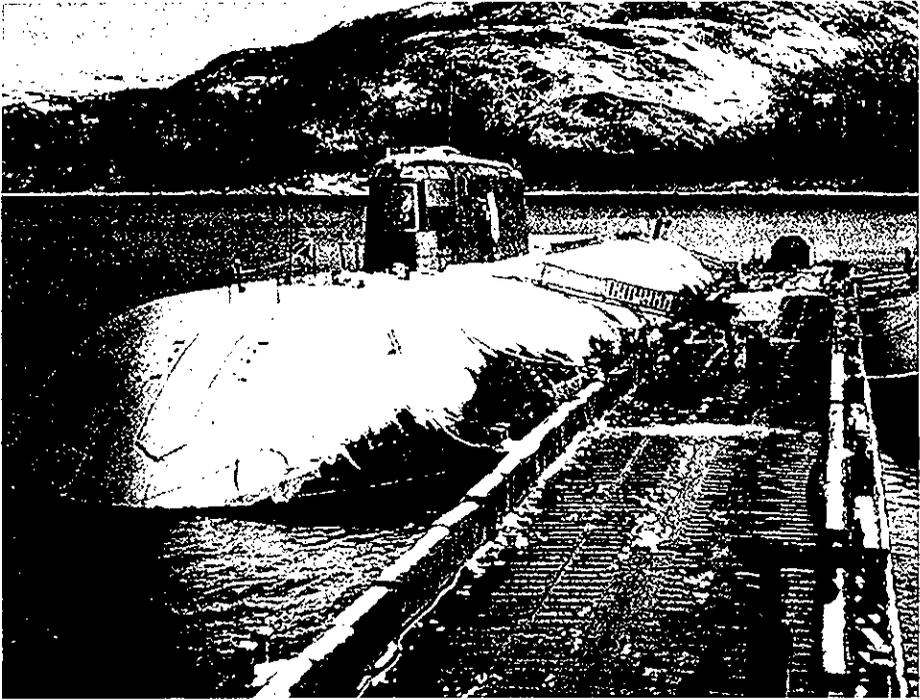
Submarino nuclear estadounidense *Los Angeles*.

La seguridad activa comprende los cuatro niveles siguientes: previsión de accidentes, control de la operación, protección contra accidentes y mitigación de éstos. Desde el punto de vista de la seguridad, el funcionamiento normal requiere las tres funciones siguientes:

- La refrigeración adecuada del combustible, lo que exige la integridad de la envolvente a presión del refrigerante primario (tercera barrera física).
- El control de la reactividad del núcleo debido a posibles fallos de los elementos de control.
- El confinamiento del material radiactivo exige estanqueidad del recinto de contención.

El fallo en una de estas funciones puede dar lugar a un incidente o a un accidente nuclear.

Se entiende por incidente nuclear una degradación de la defensa en profundidad unida a la liberación muy pequeña de radiactividad exterior al buque nuclear, sin daño para el núcleo del reactor ni a las barreras físicas y sin daños personales. El accidente presupone la superación de estas condiciones. La causa principal de los accidentes/incidentes en los submarinos nucleares ha sido la *pérdida del refrigerante primario*, denominada LOCA (Loss of



El submarino *Kursk* atracado en el puerto de Severomorsk.

Coolant Accident), tercera barrera física, que produce mala refrigeración del combustible, lo que puede llevar consigo la fusión de la vaina del combustible, segunda barrera física, seguida por la liberación de elementos fisionables que deberán ser contenidos en el recinto de contención, cuarta barrera física. En este caso debe mitigarse el accidente/incidente con la entrada en operación del sistema de refrigeración de emergencia y de los sistemas asociados a la contención.

En el incidente del *Tireless* saltaron alarmas por la detección de una pequeñísima fuga del circuito primario de refrigeración. Éste es un circuito de alta presión y de alta temperatura, cuya agua se vaporiza a la presión atmosférica, produciendo una fuga de vapor que derramaba agua activada radiactivamente. El sistema de refrigeración de emergencia funcionó normalmente. Pararon el reactor, que generaba un calor residual cuyo valor decrecía exponencialmente (al cabo de dos meses proporcionaba sólo una milésima parte de la potencia que suministraba en el momento de la parada). Se drenó el circuito del primario donde estaba la avería. Se taponó la grieta que produjo la pérdida, al parecer de dos milímetros. En la segunda arrancada del reac-



Le Triumphant.

tor, la grieta taponada aumentó, por lo que se siguió un proceso mecánico de reparación de la tubería del circuito primario. Se supone que si hubo derramamiento de agua en la sentina del buque la debieron embidonar y enviarla fuera del buque.

La variación incontrolada de la reactividad presupone una variación en la potencia del reactor, y puede ser debida a un fallo de los mecanismos de control, de la absorción de neutrones o al de la bomba de refrigeración del primario.

El confinamiento del material radiactivo, tanto en operación normal como en situación de máximo accidente, se consigue mediante un blindaje secundario y el establecimiento de estructuras rígidas alrededor de la vasija del reactor.

Seguridad marítima

Las tres funciones de seguridad expuestas anteriormente deben mantenerse en los accidentes marítimos de un submarino nuclear, que pueden dar lugar a un riesgo radiológico, y que son:

- *Colisión.* Puede verse afectado el reactor o sus sistemas auxiliares y de seguridad. Para evitarlo se utiliza una estructura absorbente de energía que evite la pérdida de estanqueidad del recinto de contención aunque no evite el hundimiento del buque y, por el contrario, una estructura de protección rígida que evite el daño al propio buque.
- *Inundación y hundimiento.* La redundancia en el sistema de generación eléctrica debe asegurar la refrigeración del reactor. En el hundimiento en aguas poco profundas debe asegurar la refrigeración del reactor (tal y como sucedió en el *Kursk*). En aguas profundas es necesario asegurar la estanqueidad del recinto de contención, la refrigeración y el mantenimiento subcrítico del reactor. A fin de evitar el colapso del recinto de contención, se instalan válvulas automáticas que lo inundan con el fin de igualar presiones.
- *Incendios y explosiones.* Debe tener un sistema adecuado de detección y de extinción contraincendios, tanto para la seguridad nuclear como para la

seguridad marítima. En el recinto de contención los incendios, las deflagraciones, pueden proceder por las fugas de hidrógeno procedente de la descomposición radiolítica del agua del circuito primario y de la reacción del metal con el agua, accidente producido por pérdidas en dicho circuito.

A continuación se expone la relación de los 12 submarinos nucleares hundidos, de los 17 accidentes nucleares y de las cuatro colisiones entre submarinos nucleares habidas en el mundo.

SUBMARINOS NUCLEARES HUNDIDOS

AÑO	NACIÓN	CLASE/NOMBRE	OBSERVACIONES
1963	Estados Unidos	SSN <i>Thresher</i>	Atlántico Norte. Posible fallo del circuito de agua.
1968	Estados Unidos	SSN <i>Scorpion</i>	SW Azores. Explosión de torpedos.
1970	URSS	SSN?	Golfo de Vizcaya.
Años 70	URSS	SSN/SSBN?	Océano Índico.
Años 70	URSS	SSBN?	Atlántico Norte.
1981	URSS	SSN?	Mar de Kara. Fallo en el reactor.
1983	URSS	SSN?	Kamchatca.
1985	China	SSN/SSBN?	?
1986	Rusia	SSBN?	NE de las Bermudas. Explosión de misiles.
1989	Rusia	SSBN <i>Komsomolet</i>	Mar de Barents. Accidente en el circuito de refrigeración del reactor.
2000	Rusia	SSGN <i>Kursk</i>	Península de Kola. Explosión de torpedos.

Accidentes a bordo de los submarinos nucleares

- Seis por incendio.
- Cuatro por pérdida en el circuito refrigerador del primario.
- Uno por accidente durante la recarga del combustible atómico.
- Uno por accidente en el astillero durante la reparación.
- Dos por colisión.
- Uno por situación crítica durante la parada.
- Dos por causas desconocidas.

Colisiones entre submarinos nucleares

- En 1974, colisión entre un SSN americano y un SSN soviético en el norte de África.
- En 1986, entre un SSN americano y un SSN ruso en la península de Kola.
- En 1987, entre un SSN inglés y un SSN ruso.
- En 1992, entre un SSN americano y un SSN ruso en la península de Kola.

Conclusión final

En el hundimiento del *Kursk* el nivel de radiactividad, tanto en el interior como en el exterior, fue normal, lo que corrobora una vez más la seguridad que ofrece la propulsión naval nuclear.



BIBLIOGRAFIA

Enciclopedia GER.

BLANCO-TRABA, Juan: «La energía nuclear y su aplicación a la propulsión naval» en *Aspectos actuales de la propulsión naval nuclear*. Ed. por ETSIN y ASESMAR. Madrid, 2001.

ANHERT, Carolina: «Sistemas de propulsión naval nuclear» en *Aspectos actuales de la propulsión naval nuclear*. Ed. por ETSIN y ASESMAR. Madrid, 2001.

SAIZ DE BUSTAMANTE, Amalio: «La seguridad de los sistemas de propulsión naval nuclear», en *Aspectos actuales de la propulsión naval nuclear*. Ed. por ETSIN y ASESMAR. Madrid, 2001.

ALBERT, Julio: «El hundimiento del submarino ruso *Kursk*» en *Aspectos actuales de la propulsión naval nuclear*. Ed. por ETSIN y ASESMAR. Madrid, 2001.

Jane's Fighting Ships.