UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona

Diplomatura de Navegación Marítima
Trabajo Final de Carrera

SUBMARINOS NUCLEARES: ANÁLISIS Y COMPARATIVA DE LOS SUBMARINOS DE ATAQUE DE LA GUERRA FRÍA HASTA NUESTROS DÍAS.

Autor: Francisco Vera Andreu
Director: Dr. Jesús E. Martínez Marín
Marzo 2014

Agradecimientos

Quisiera hacer mención de las personas que gracias a ellas he podido efectuar este trabajo: en primer lugar a familia, pero en especial a mi madre que siempre me aconsejó como hacer un buen trabajo con una buena presentación, también quisiese agradecerle el esfuerzo al profesor de la Facultad de Náutica de Barcelona, Dr. Jesús E. Martínez Marín, que fue mi director del trabajo y durante todo el arduo periodo que ha durado la *construcción* de mi trabajo fin de carrera, me asesoró y me guió en esta última batalla.

También me gustaría aprovechar la ocasión para agradecer de nuevo a mis padres, mi hermana y toda mi familia que me han apoyado para completar mis estudios y que siempre los he tenido detrás empujando y sé que siempre los tendré.

Índice

1. Resumen 5

2. Introducción 6

3. El submarino 9

4. Submarinos Nucleares 11
4.1. Planta de propulsión nuclear 12
4.2. Circuito completo 14
4.3. Fisión Nuclear 15
4.4. Proceso de fisión nuclear 16
4.5. Reacción en cadena 17
4.6. Combustible Nuclear 18
4.7. Combustibles nucleares fisionables 19
4.8. Enriquecimiento 19
4.9. Diferencias entre una planta nuclear en tierra y una planta nuclear de un submarino 20
4.10. Ciclo del combustible nuclear 21

5. Primera generación de submarinos nucleares americanos 23
5.1. La construcción del Nautilus 34
5.2. La Planta de sodio líquido 38
5.3. La clase Skate 42
5.4. Misiones Especiales Submarinas 45
5.5. Resumen 51

6. Primera generación de submarinos nucleares soviéticos 53
6.1. Los cambios en la dirección 60
6.2. La planta de plomo-bismuto 66
6.3. Perspectiva política 71
6.4. Resumen 74

7. Segunda generación de submarinos nucleares americanos 76
7.1. Submarinos *Hunter-Killer* 84

8. Segunda generación de submarinos nucleares soviéticos 88
8.1. Proyecto 670/Charlie SSGN 96
8.2. Resumen 100

9. Tercera generación de submarinos nucleares americanos 104
9.1. El Proyecto *CONFORM* 104
9.2. Clase Los Angeles 109

10. Tercera generación de submarinos nucleares soviéticos 121
10.1. Submarinos Silenciosos 130
10.2. Resumen 137

11. Cuarta generación de submarinos nucleares americanos 139
11.1. La Clase *Seawolf* 140
11.2. La clase *Virginia* 149

12. Cuarta generación de submarinos nucleares rusos 152
12.1. Clase Graney y Borey 154
12.2. Resumen 156

13. Conclusión 159

14. Lista de abreviaturas 162

15. Índice de imágenes 164

16. Índice de tablas 167

17. Bibliografía 168

1. Resumen

El objetivo principal del presente Trabajo Final de Carrera, es hacer llegar al público potencial un análisis de una gran parte del poderío armamentístico que hubo y hay hoy día, y que su momento más esplendoroso fue durante la guerra fantasma, la Guerra Fría.

Hablamos de un periodo de la historia que abarca la segunda mitad del siglo XX, y que posicionó al mundo, dividió al mundo; el Bloque Capitalista y el Bloque Comunista.

La llegada de la bomba atómica trajo además de armamento, una fuente de energía; una energía que en la practicidad es ilimitada y silenciosa, ideal para armar un sumergible con esta. Por ello a partir de 1954 y hasta nuestros días se siguen botando submarinos con una planta nuclear como principal fuente de propulsión.

El estudio consta principalmente de cuatro bloques históricos y una reseña técnica en la que se explica de que trata un reactor nuclear. Los cuatro bloques son los diferentes grupos en los que se pueden clasificar los submarinos nucleares a lo largo de la historia. Se estudia esencialmente, a los submarinos nucleares de ataque (SSN), más adelante en otros proyectos en continuación se hablará sobre las demás clases de submarinos nucleares.

2. Introducción

Algunos tienen más capacidad destructiva que la suma de todas las bombas de la Segunda Guerra Mundial.

Hoy en día un submarino es una plataforma de armas de destrucción masiva que su misión es llegar sigilosamente al objetivo, destruirlo sin previo aviso y regresar a puerto sin sufrir ningún daño. Junto con otros avanzados dispositivos son los más complicados mecanismos jamás construidos debido, entre otras muchísimas características, a su propulsión nuclear.

En inmersión el submarino es totalmente autónomo, sólo limitado por los víveres. Tal es su grado de independencia con el exterior que el sumergible es capaz de fabricar su propio oxígeno cuando le sea necesario. Lo más parecido a un submarino sería un transbordador espacial, en cuanto a grado de complejidad se refiere.

Existen básicamente dos tipos de submarinos militares: los de ataque (SSN) y los provistos con misiles balísticos o misiles guiados (SSBN/SSGN), en este trabajo nos centraremos principalmente en los submarinos de ataque tanto soviéticos como estadounidenses.

Los de ataque se especializan principalmente en "cazar" otros submarinos, vigilancia de buques de superficie y proporcionar información, es decir, espionaje.

Los submarinos balísticos, llevan misiles con cabezas nucleares capaces de recorrer el casi diámetro terrestre para llegar al objetivo y destruirlo. Por esto su misión es la de permanecer ocultos y realizar un ataque en caso de que sea necesario.

Ambos tipos de submarinos se componen de más de 80 millones de piezas diferentes, cuestan más de 2.000 millones de dólares y tardan alrededor de 5 años en ser construidos totalmente. Una vez en el mar, pueden permanecen silenciosamente sumergidos durante meses esperando a atacar.

Un "trozo" de uranio proporciona a un submarino lo equivalente a más de 115.000 litros de gasolina. Pese al grado de complejidad de un submarino nuclear, un submarino de ataque de la clase *Los Ángeles* con una potencia de 35.000 HP hace menos ruido que un banco de gambas alimentándose.

Cuando un submarino se sumerge en la profundidad oceánica sus únicos ojos se encuentran en la sala de sónar. A los pocos metros de profundidad bajo el agua hay completa oscuridad porque el océano absorbe todos los colores, pero permite la transmisión de la acústica a grandes distancias. Es decir, el submarino sólo tiene una

fuente de información para saber cómo es el medio en el que navega, el sonido, que es captado por el sónar.

Hay dos tipos de sónares: el sónar pasivo y el activo.

El sonar activo se emplea en contadas ocasiones ya que delata la posición del submarino, su sistema se basa en emitir una señal acústica que al rebotar en un blanco vuelve al submarino, el funcionamiento de este submarino se asemeja al de un radar de cualquier barco mercante. Se emplea sobretodo en operaciones de rescate.

Por otra parte, el sónar pasivo es el sónar que utilizan los submarinos las 24 horas del día y el competente en caso de guerra. Este sonar se basa simplemente en escuchar el entorno, he aquí uno de los dispositivos submarinos que más se invierte en su mejora, ya que un efectivo sónar pasivo permite localizar a un blanco a grandes distancias.

En los submarinos nucleares por lo general, el reactor atómico ocupa aproximadamente la tercera parte que más a popa está, opuestamente en proa ocupa otra tercera parte la sala de torpedos y sónar por último, entre popa y proa, se sitúa la sala de control, la habilitación y demás espacios.

La electricidad que suministra el reactor filtra el polvo y el dióxido de carbono. Todos los días los submarinos nucleares pueden potabilizar entre 40.000 y 150.000 litros de agua marina. Para ello, el submarino recoge agua de mar que es condensada en vapor, el oxigeno se obtiene bombeando agua a través de un recipiente de gran tamaño provisto con células electrolíticas, por medio de la electricidad se separan el hidrógeno y el oxígeno, este último se distribuye por el barco, el hidrógeno se junta con el agua sobrante y se expulsa al mar. El submarino tiene una autonomía prácticamente ilimitada, de hecho la última clase de submarinos estadounidenses, la clase *Virginia*, se espera que no tenga que repostar uranio en 30 años que son los años que se estiman de vida útil de cada unidad de los *Virginia*.

En la actualidad unos 160 submarinos nucleares navegan silenciosamente por los océanos, aunque son pocos los países dotados con estos submarinos. La armada estadounidense y la rusa son las que más submarinos de este tipo albergan en sus filas, en segundo plano también cuentan con estos buques las armadas de Inglaterra, Francia, China e India.

El objetivo más importante de los submarinos nucleares hoy en día se basa en no ser detectados por enemigos y así sorprender a estos. Para conseguir lo dicho, el submarino debe de ser capaz de distinguir al enemigo sin ser detectado esto se

consigue desarrollando mejores sónares que sus adversarios y cuidando meticulosamente las vibraciones que produce el submarino para evitar su propagación por el medio marino, por esto la mayoría de máquinas del submarino están provistas de amortiguadores que atenúan las vibraciones producidas por estas.

Los submarinos también deben de ser seguros para la tripulación y para esto la marina norteamericana entrena a los futuros tripulantes de submarinos en la Escuela Naval Submarina de Groton, Connecticut. Cada submarinista debe de acudir a clase durante casi un año y después realizar prácticas en submarinos durante 8 meses, los oficiales además deben de alternar practicas a bordo de submarinos con clases en tierra durante 5 años.

Uno de los entrenamientos más exhaustivos, que se realiza en Groton mediante simuladores, es la extinción de incendios, un incendio en un submarino es un riesgo constante debido al material inflamable y explosivo del armamento. Un incendio considerable abordo de un submarino significaría la asfixia de todos sus tripulantes o también podría producir una explosión, por esta razón un incendio debe ser tratado con total rapidez por la tripulación y ser sofocado con éxito. Otro de los constantes riesgos a los que se exponen los submarinos es a que se dé lugar a una vía de agua, por esto en Groton también se efectúan muchas simulaciones de ello, es necesario poder controlar una situación así y evitar el hundimiento del buque.

Desde mediados del siglo XX los Estados Unidos han invertido alrededor de 800.000 millones de dólares en submarinos SSN y SSBN, por supuesto este dato trae detractores que cuestionan la inversión pero el departamento de defensa atribuye que fue gracias a esta inversión y al esfuerzo del ejercito que ninguna de las superpotencias, Estados Unidos y la URSS, se atreviesen a disparar ni un solo misil nuclear a territorio enemigo y desencadenar de esta manera un conflicto nuclear.

3. El submarino

La idea de un buque equipado para la navegación submarina alcanzó un gran atractivo durante el siglo XVIII, llegándose a registrar hasta catorce patentes sólo en Gran Bretaña. Sin embargo la primera acción naval de este género fue la del Submarino *Turtle*, inventado por el estadounidense Bushneli, que en 1776 intentó hundir, sin conseguirlo, un buque británico en la bahía de Boston. Otro gran precursor fue Robert Fulton, un estadounidense creador de un submarino al que bautizó con el nombre de *Nautilus*, y que se servía de una vela para desplazarse en superficie y era movido con remos durante la inmersión. En 1859 y 1884, el español Narcís Monturiol realizó varias experiencias con su submarino *Ictíneo*. Fue en este último año, el día 17 de febrero, cuando tuvo lugar el primer éxito militar de los submarinos en la bahía de Charleston: la corbeta nordista *Housatonic* fue hundida por un torpedo lanzado por el submarino *Hundley*, que también se fue a pique alcanzado por la explosión[1].

En 1880, el inventor Nordenfelt patentó un submarino de vapor que utilizaba ya un tubo lanzatorpedos. También aparecieron en ese decenio los submarinos con motores eléctricos: el *Gymnote*, del francés Gustave Zedé, el de los británicos Campbell y Ash y el del español Isaac Peral (1888). A partir de este momento, los submarinos pasaron a la fase industrial, y las primeras naves operacionales entraron en funcionamiento a finales de siglo: el Plunter de 140 tm, diseñado por el estadounidense John P. Holland, en 1897, y el *Holland 8*.

En la actualidad, podemos decir que un submarino es un buque de compartimento completamente estanco, capaz de resistir altas presiones, su flotabilidad es positiva y para sumergirlo es necesario inundar sus tanques de lastre, repartidos por toda la eslora. Para la emersión deben ser vaciados los tanques, lo que se consigue mediante la inyección en ellos de aire comprimido, además de los planos de inmersión/emersión que ayudan a los tanques de lastre a lastrarse o deslastrarse.

La forma actual de los submarinos es fusiforme, con sección circular algo achatada por los lados. Están provistos de dos cascos, entre los que están situados los tanques de lastre. La forma del submarino ha ido cambiando con el tiempo, pero la distribución de su espacio sigue siendo la misma, sala de torpedos a proa, puesto de mando y navegación en el centro, dormitorios entre ambos y propulsión en la mitad

[1] Este hecho se produjo en la guerra civil Norteamérica, por esto se ha utilizado el término *nordista* referido al bando americano del norte, siendo el submarino del bando opuesto, es decir, del bando sureño americano.

posterior del casco. Fuera de la nave se proyectan, la antena y dos periscopios, el de observación y el de ataque, este último más reducido y escamoteable.

La aplicación bélica del submarino había sido intuida desde el primer momento y, con excepción de Monturiol[2] y del estadounidense Simon Lake, todos los inventores habían dirigido sus investigaciones en este sentido. La época donde empezó a cobrar protagonismo fue la Primera Guerra Mundial durante la cual los submarinos alemanes denominados *U-boote*, capaces ya de operar eficazmente a gran distancia de sus bases, ejercieron un bloqueo tan tenaz a Gran Bretaña que, en un momento dado del conflicto, pusieron al país al borde del colapso económico e industrial. La Segunda Guerra Mundial constituyó una confirmación del submarino como arma estratégica: alemanes y estadounidenses, sobre todo, hicieron uso de sus buques para golpear con dureza las líneas de abastecimiento marítimas angloestadounidenses, en el Atlántico, y japonesas, en el Pacifico, respectivamente, obteniendo importantes resultados. Sólo el empleo por parte de los aliados de un gran número de naves y aviones dotados de las más eficaces armas antisubmarinas del momento, consiguió mantener a raya a los *U-boote*, a pesar de que éstos habían mejorado sensiblemente sus características.

El más utilizado y mejor logrado de todos los submarinos que estuvieron en servicio durante la Segunda Guerra Mundial, fue el *Tipo VII* alemán, del que, en diversas versiones, fueron construidas más de 700 unidades. Se trataba de un buque de unas 1.000 Tm. de desplazamiento en inmersión, 66 metros de eslora y capaz de sumergirse hasta casi 200 m de profundidad. Tenía una tripulación de 44 hombres y su armamento consistía en 5 tubos lanzatorpedos de 533 mm, y contaba con un total de 14 torpedos, un cañón de 88 mm y dos ametralladoras antiaéreas, en cubierta estos dos últimas armas. Además, por medio de los tubos lanza torpedos, podían colocarse minas de diverso tipo. La velocidad en superficie alcanzaba los 18 nudos, mientras que la máxima en inmersión era de unos 7 nudos; la autonomía en superficie era generalmente de 8.500 millas a velocidad crucero (reducido), en inmersión era, en cambio, mucho más reducida y no supe-raba las 80 millas a 4 nudos de velocidad. Las características más brillantes de este tipo de submarinos eran la buena velocidad en superficie, la robustez de la construcción, la gran maniobrabilidad y la rapidez con que podía sumergirse, lo que constituía un elemento esencial, sobre todo para huir de los ataques aéreos.

El paso de la navegación en superficie a la submarina podía llevarse a cabo en menos de treinta segundos a partir de la orden de inmersión, mientras que los submarinos pertenecientes a otras armadas realizaban esa maniobra en un tiempo muy superior al minuto. El conjunto de características de estas naves respondía

[2] El inventor español Nacís Monturiol como ya hemos dicho anteriormente también contribuyó al desarrollo de los primeros sumergibles diseñando el primer submarino con motor de combustión, era el *Ictíneo II*, se puede ver una réplica del submarino de Monturiol en las inmediaciones centro comercial Mare Magnun muy próximo a la también a la sede de la Facultat de Nautica de Barcelona.

perfectamente a la táctica de las *manadas de lobos*, adoptada por los alemanes contra los convoyes adversarios en el Atlántico, y posteriormente por los estadounidenses en el Pacífico contra el tráfico japonés. Se trataba del empleo coordinado de grandes grupos de submarinos que se reunían en las proximidades de un convoy localizado por uno de ellos y se lanzaban al ataque en masa, de noche, y navegando en superficie a gran velocidad. Terminado el ataque, que generalmente se transformaba en un auténtico combate cuerpo a cuerpo en el que los submarinos se sumergían solamente si se veían amenazados de cerca por las pocas naves de escolta, la "manada" se reunía nuevamente para volver a repetir la operación la noche siguiente, hasta conseguir el aniquilamiento definitivo del convoy, de igual manera que una manada de lobos cuando han de cazar.

Al terminar el conflicto, sin embargo, el número y la eficacia de los medios antisubmarinos alcanzaron una gran superioridad. En definitiva, el submarino resultó vencido en la II Guerra Mundial, y para nada sirvió en aquel momento la tardía construcción, por parte de los alemanes, de nuevos tipos de buques de mayor velocidad de inmersión y la invención del *schnorkel*, un aparato que permitía recargar las baterías y el abastecimiento de aire estando el submarino sumergido. Consistía en un doble tubo, que generalmente se encontraba abatido sobre el puente pero que podía levantarse y sobresalir de la superficie del agua, con la extremidad superior provista de válvulas especiales. A través de este ingenio, el buque, cuando navegaba en inmersión, podía aspirar el aire necesario para el funcionamiento de sus motores diesel y para la vida de su tripulación, y al mismo tiempo expulsar los gases de descarga de dichos motores.

4. Submarinos Nucleares

A pesar de la genial invención del *schnorkel* y de las baterías de acumuladores de gran capacidad, sólo la utilización de la energía nuclear supuso el verdadero salto de gigante en la tecnología naval submarina. El reactor atómico permitía, en efecto, un tipo de motor "único" y de ciclo cerrado, utilizable tanto en superficie como en inmersión, lo que desde siempre había constituido el sueño de todos los constructores de buques submarinos El primer submarino de energía nuclear fue el *Nautilus*, de la marina estadounidense, que entró en servicio en 1954. La casi ilimitada autonomía y la notable potencia desarrollada por los reactores atómicos alimentaron rápidamente las prestaciones de los submarinos que, a partir de ese momento, comenzaron a concebirse para operar casi exclusivamente en inmersión. En 1958, el *Nautilus* efectuó por primera vez la travesía del casquete polar pasando sumergido bajo los hielos. En 1960, otro sumergible atómico estadounidense, el *Triton*, efectuó la vuelta al mundo en

inmersión, siguiendo la ruta comenzada por Femando Magallanes y terminada por El Cano, más de cuatrocientos años antes. La distancia, cubierta en 83 días de navegación submarina a una velocidad media de 18 nudos, fue de 65.400 km.

4.1. Planta de propulsión nuclear

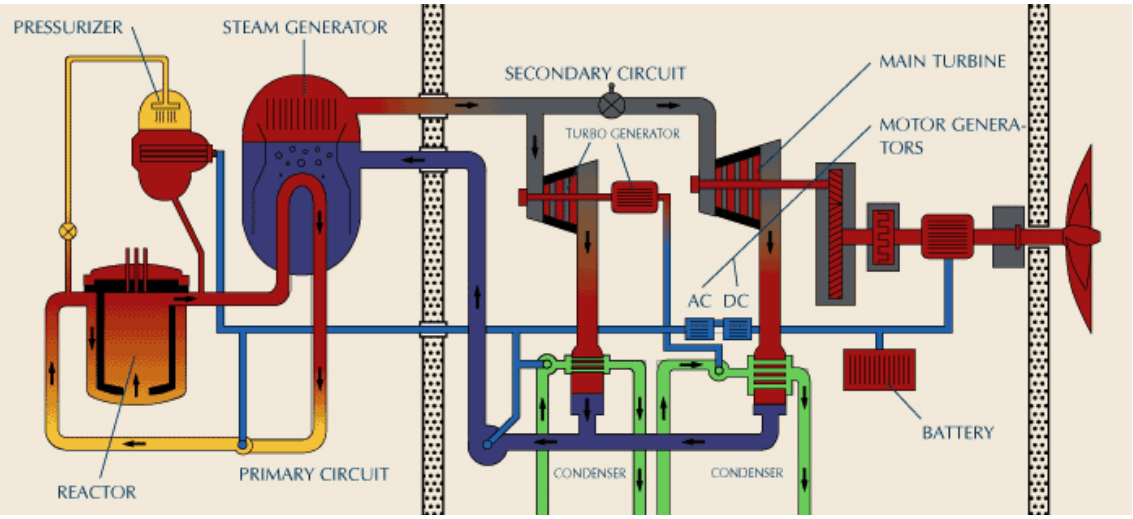


Imagen 1: esquema sencillo de un a planta de propulsión nuclear PWR. Fuente: http://www.nimr.org/react.html (2-4-2013)

El esquema de una planta de propulsión nuclear representa la configuración básica de un reactor de agua presurizada, usado en todos los submarinos de hoy en día, se denomina PWR (Pressurized Water Reactor). Este sistema de agua presurizada se intentó sustituir, a principios de los años 60, por una aleación de metal líquido tanto en Estados Unidos como en la URSS, debido a que las aleaciones de metal liquido transportaban y transmitían mejor el calor, pero surgieron muchos problemas sobretodo fugas radioactivas y al poco tiempo esta idea fue desechada en las dos marinas de guerra.

Básicamente, la planta propulsora nuclear de hoy en día no dista mucho de las plantas de propulsión de los primeros submarinos nucleares producidos en la serie de la clase *Skipjack.*

Una planta propulsora nuclear, está dividida en dos circuitos; el primer circuito incluye el reactor y los generadores de vapor, los cuales usan el calor del reactor para crear vapor. Este primer circuito está blindado para no dejar escapar radiación, además está contenido en unos mamparos y cuadernas reforzadas para aguantar una presión muy superior a la que el casco exterior del submarino es capaz de resistir, esto es como medida de seguridad para que en caso de naufragio, la vasija del reactor no se quiebre y no contamine el medio, evitando así una catástrofe nuclear.

El segundo reactor recibe el vapor de los generadores y los transforma en energía mecánica por mediación de turbinas que hacen mover el eje de la hélice. Estas turbinas pueden estar unidas directamente a la hélice por engranajes o a un generador de electricidad para que un motor eléctrico mueva la hélice, este tipo de propulsión es la denominada *Turbo-Electric Drive (TED)*. Además los submarinos que no estén propulsados por TED suelen tener dos turbinas, una para mover la hélice y otra para mover el turbo generador y así, generar toda la electricidad del buque. El sistema TED es más silencioso pero menos eficiente, en lo referido a la velocidad.

El presurizador es una pieza clave de la planta propulsora nuclear, está en el primer circuito conectado a la entrada de la tubería del reactor y a la tubería de salida del reactor es decir, conectado donde el agua retorna al reactor y cuando sale del reactor hacia el generador de vapor. La presión del circuito primario viene regulada por este dispositivo.

Se trata de una vasija de acero reforzado que contiene agua líquida y vapor en 40% y 60% respectivamente, cuenta con una resistencia en su interior para regular la temperatura de agua y vapor que contiene en su interior para enviar al reactor y mantener una temperatura y presión óptima y constante. La temperatura suele situarse en torno a los 250ºC, pero el agua está en estado líquido debido a la presión que se mantiene, a 153 atmosferas aproximadamente.

Si el presurizador dejase de funcionar de manera correcta la temperatura del reactor se podría volver incontrolable y dar lugar a una fuga nuclear. Esta a sido una pieza clave en la mayoría de accidentes nucleares a bordo de submarinos de la armada soviética.

El intercambiador de iones también situado en el primer circuito permite la introducción de productos químicos para la regulación de la densidad de neutrones, los neutrones son los que bombardean los núcleos de uranio y así generar calor, añadiendo más o menos se puede controlar el calor que el reactor transmite al generador de vapor. Por medio de este dispositivo, también se puede eliminar productos químicos ya desechables.

El diseño del generador de vapor es muy importante para la efectividad termodinámica del reactor, esto hace que desde el SSN *Nautilus* hayan existido muchos diseños de este elemento del reactor. La potencia está regulada por la cantidad de agua que llega a la turbina. El circuito de refrigeración soporta una presión constante entre 140 y 170 atmósferas. Cuanta más potencia se requiere, el vapor deja que las turbinas se refrigeren y absorban más calor del generador de vapor. Cuando se enfría el circuito primario incrementa la densidad del agua, que por este motivo desacelera los

neutrones y acelera la reacción nuclear, produciendo más calor. Este procedimiento al revés reduce el calor producido en el núcleo del reactor.

Los reactores han sido ideados usando un sistema de convección a base de un circuito de agua, eliminando el uso de bombas refrigerantes en el primer circuito de bajas y medias velocidades, reduciendo una de las fuentes de ruido más importantes del buque. A altas velocidades, las bombas de bajas y medias velocidades se ponen en funcionamiento pero el submarino hace el suficiente ruido a altas velocidades, con lo que el ruido ejercido por dichas bombas no se considera de los más importantes.

El segundo circuito de la planta propulsora usa un sistema básico que poco ha variado con el paso de las décadas, a excepción de características propias para el aislamiento acústico.

Las dos fuentes principales de ruido de un submarino, sin contar con las bombas refrigerantes, son las turbinas y los engranajes que conectan el eje de la turbina con el eje de la hélice. Para evitar el ruido generado por estos dos dispositivos los diseñadores de las plantas propulsoras han diseñado diferentes métodos.

4.2. Circuito completo

La planta de propulsión se divide en dos circuitos cerrados.

En el primer circuito encontramos: el reactor, con el combustible nuclear; el presurizador, que controla la presión y temperatura de este circuito; y la bomba, que envía el agua de nuevo al reactor una vez a pasado por el generador de vapor.

En primer lugar, el agua es calentada en el reactor a 153 atmósferas de presión y a una temperatura de 250ºC, el agua se mantiene líquida debido a la alta presión, mientras el presurizador mantiene la presión y temperatura constante. El agua ya caliente sale del reactor por la tubería de salida hacia el generador de vapor, el generador de vapor es el nexo entre el primer circuito y el segundo. Este dispositivo es un recipiente de acero con agua en su interior por el que la tubería saliente del reactor atraviesa de manera que transmite el calor del agua caliente de la tubería al agua del interior del generador de vapor haciendo que esta hierva y genere el vapor, finalmente la tubería del circuito primario sale del interior del generador de vapor para llegar a la bomba que envía el agua al reactor haciendo que el agua vuelva a empezar de nuevo el circuito.

El segundo circuito comienza en el generador de vapor, este también es cerrado, pero puede abrirse con la finalidad de expulsar agua a la mar o para absorber agua para su funcionamiento.

El vapor sale del generador por medio de una tubería que conduce este vapor a alta presión, entre 135 y 170 atmósferas, a dos turbina: la tubería tiene una bifurcación donde está la primera turbina que transmite su movimiento al turbo generador, para fabricar toda la electricidad necesaria para la operatividad del submarino completo además de cargar las baterías para el sistema de propulsión auxiliar eléctrico.

La tubería que sale del generador de vapor, después de la bifurcación de la primera turbina, conduce el vapor a alta presión a la segunda turbina mueve el engranaje conectado al eje de la hélice. Una vez que el vapor a atravesado la turbina sale por medio de una turbina conectada a la turbina, al igual que la primera turbina que también tiene una salida similar y es aquí donde las dos tuberías de salida se unen pasando a ser una sola tubería.

El vapor es conducido al condensador donde gracias a la refrigeración mediante agua marina el vapor pasa al estado líquido y mediante una bomba esta agua es devuelta al generador de vapor, la entrada de agua marina al circuito secundario se efectúa por medio del condensador y sólo en caso de que se necesite más agua.

4.3. Fisión Nuclear

A comienzos de 1939, dos físicos alemanes, Otto Frisch y Lise Meitner (tía del primero), paseaban por las colinas cercanas a Estocolmo. Hablaban de lo que un amigo, Otto Hahn, había dicho, y este decía que cuando una muestra de uranio es bombardeada con partículas sin carga eléctrica, como los neutrones, es posible detectar la presencia de otros dos elementos, el bario y el criptón. Frisch y Meitner pensaban que los neutrones eran los causantes de la inestabilidad de los átomos de uranio, produciendo su ocasional escisión en dos átomos de menores dimensiones. Algo llevó a la mente de Frisch aquel proceso biológico por el cual un organismo unicelular se subdivide en dos organismos más pequeños, de dimensiones parecidas. Preguntó entonces a un amigo biólogo el nombre de dicho proceso, *Fi-sión* fue la respuesta y el nombre fue utilizado por Frisch para denominar aquel fenómeno físico.

Tan sólo tres años después de la primera definición y descripción de Frisch, un grupo de científicos consiguió controlar el proceso de fisión en laboratorio. Otros tres años después se utilizaba por primera vez la fuerza explosiva derivada de la energía emitida por la fisión para fines bélicos en Hiroshima y Nagasaki. Seis años más tarde se obtenía electricidad de un reactor nuclear de fisión, en Idaho (EEUU). El comienzo de la era nuclear ya estaba consolidado.

4.4. Proceso de fisión nuclear

En general, el átomo es representado como un sistema solar en miniatura, compuesto por minúsculas partículas con carga negativa, llamadas electrones, que giran alrededor de un núcleo mucho más consistente constituido por protones, de carga positiva, y neutrones, sin carga eléctrica.

Las partículas del núcleo atómico se mantienen fuertemente ligadas debido a que en el proceso de formación de un núcleo es emitida una pequeña parte de su masa convertida en energía según la conocida fórmula de Einstein: $E = mc^2$. Esta energía, de gran magnitud relativa, recibe el nombre de energía de enlace o de ligadura. El fenómeno de la fisión, descubierto por Otto Hahn consiste en la partición de un núcleo atómico de un elemento de elevado peso atómico en otros dos núcleos de peso intermedio (o, muy raramente, en tres fragmentos), emitiéndose además neutrones y radiación gamma (y, en ocasiones, partículas alfa y beta).

En el proceso hay un excedente de energía de ligadura por ser menor la del átomo que la de los nuevos átomos formados y esta energía excedente se comunica a los fragmentos originados en la escisión, que aparecen, en consecuencia, dotados de grandísimas velocidades. Así, la energía liberada en una fisión unitaria, que es de aproximadamente 200 MeV (casi 10 billonésimas de caloría), aunque muy pequeño en valor absoluto, a la escala atómica que se está considerando es capaz de comunicar velocidades de miles de kilómetros por segundo a los fragmentos de fisión. La energía acumulada de la fisión completa de tan sólo un gramo de Uranio-235 daría lugar a 20.000 millones de calorías, es decir, el equivalente a la energía obtenida en la combustión de 25 toneladas de carbón, o de 1,5 toneladas de fueloil. De ahí el gran interés de la utilización del proceso de la fisión como fuente primaria de energía.

Son varios los isótopos de elementos de peso atómico alto (torio, protactinio, uranio, neptunio, plutonio, americio, curio) que pueden experimentar fisión al ser bombardeados con neutrones, pero de ellos los más accesibles para su aprovechamiento son el Uranio-235, el Plutonio-239 y el Uranio-233. El primero se encuentra en la Naturaleza (en una proporción de 0,7% respecto del uranio natural) y los otros dos pueden obtenerse artificialmente en los reactores nucleares.

Algunos isótopos, como el Uranio-238, experimentan fisión espontánea en la naturaleza, aunque a un ritmo muy lento. Por otra parte, la fisión nuclear puede también provocarse por otras partículas (alfa, deuterones,…etc.) e incluso con radiación gamma, y sobre elementos de peso atómico menor que los citados. Pero se necesita para ello, energías de bombardeo extraordinariamente altas.

4.5. Reacción en cadena

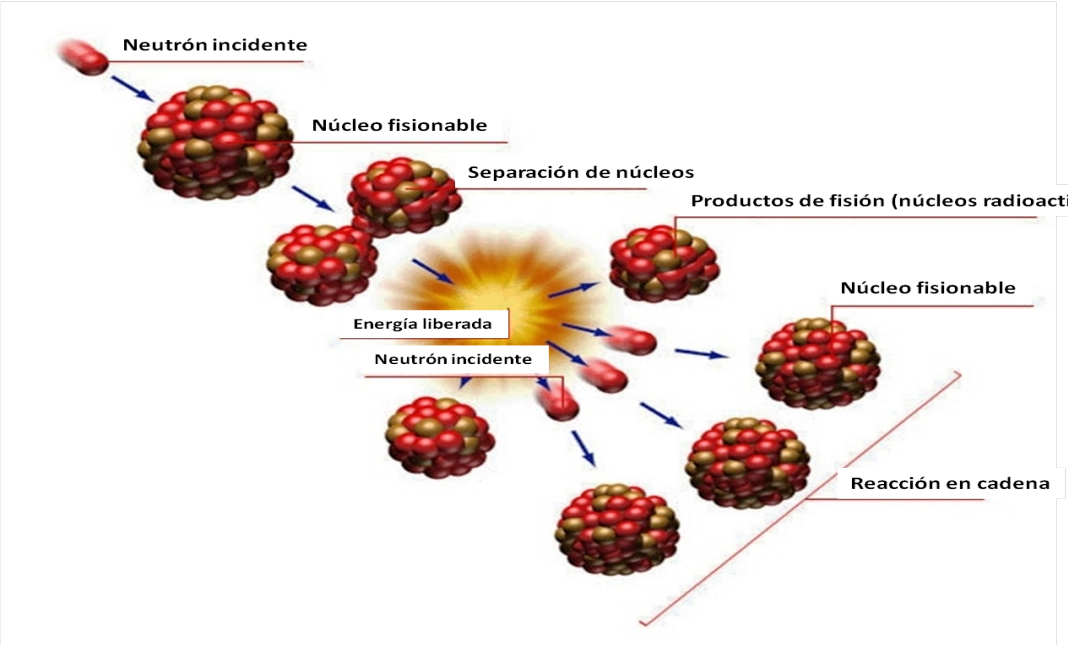


Imagen 2: esquema gráfico explicando lo que ocurre cuando un neutrón rompe un núcleo pesado.
Fuente: http://profefeliz.blogspot.com.es/2011/11/amenaza-nuclear-fision-y-ficcion.html (2-4-2013)

Para la obtención y aprovechamiento de la energía de fisión seria necesario mantener un flujo de neutrones, impactando a un cierto ritmo sobre el material fisible. Pero, en la práctica, y siempre que se cumplan ciertas condiciones físicas, puede conseguirse que los propios neutrones liberados en una fisión (2 ó 3 en el caso del U-235; 2 y en el caso de Pu-239; 3) provoquen nuevas fisiones en otros átomos y así sucesivamente. Estas condiciones son que haya una cierta cantidad mínima de material fisible, denominada masa crítica, para que exista una probabilidad suficiente de impacto y que la energía cinética (en forma de velocidad) de los neutrones de impacto sea la adecuada. Así, en el caso de la fisión del Plutonio-239, los neutrones rápidos, tal como se generan en el proceso, son adecuados para mantener la reacción, mientras que en el caso del Uranio-235 se necesita que aquéllos sean moderados a velocidades más bajas, lo que exige el empleo conjunto de un material moderador, como agua o grafito.

Si se cumplen las condiciones, bastará con iniciar la reacción para que ésta pueda continuar de forma auto-mantenida. Es lo que se llama la reacción de fisión en cadena, en la que la sucesión de fisiones ocurre a un ritmo extraordinariamente rápido. El control de la reacción exige mantener constante el ritmo de producción de fisiones, con lo que se obtendría una producción mantenida de energía, en forma de calor.

La primera reacción en cadena controlada fue obtenida por un grupo de científicos coordinados por el físico italiano Enrico Fermi, en la Universidad de Chicago, en 1942, en una pila atómica experimental de uranio y grafito. La sensacional noticia no fue publicada debido al secreto militar. El mensaje se dio en clave: "el marino italiano ha desembarcado en el nuevo mundo. Los nativos son amistosos".

4.6. Combustible Nuclear

Cuando un combustible químico, como la gasolina, arde en el interior de un motor de combustión interna, produce energía en forma de calor. Esto ocurre en virtud de una reacción química entre los átomos del combustible y los del oxígeno contenido en el aire con el que éste se mezcla. También los llamados combustibles nucleares, como el uranio, cuando son utilizados para alimentar las centrales nucleares, liberan energía en forma de calor. Pero en este caso, las reacciones que tienen lugar son distintas, no necesitan oxígeno y afectan a la parte más interna de los átomos de combustible, es decir, al núcleo atómico.

La energía nuclear es la energía contenida en el núcleo de los átomos, constituidos por un conjunto de protones (partículas con carga eléctrica positiva) y neutrones (partículas sin carga eléctrica). El número de protones contenidos en el núcleo de un átomo de un determinado elemento toma el nombre de número atómico y es el mismo para cada uno de los átomos de ese elemento. La suma del número de protones y el número de neutrones del núcleo constituye lo que se llama número másico del elemento. Los átomos de elementos con igual número atómico y distinto número másico (es decir, de igual carga eléctrica y distinto peso) son los llamados isótopos del elemento en cuestión. Cuando neutrones y protones forman un núcleo atómico, éste resulta con una masa algo inferior a la suma de las masas de protones y neutrones originales considerados independientemente. Esta pérdida de masa corresponde a una transformación de masa en energía, llamada energía de enlace, liberada para mantener fuertemente unidas a dichas partículas constituyentes del núcleo y cuyo valor específico resulta ser máximo para átomos de pesos atómicos intermedios. Por ello, tanto en el proceso de fusión nuclear, en el que dos átomos de número másico bajo se unen para formar un átomo de mayor envergadura, como en el de fisión nuclear, o partición de núcleos atómicos de elementos pesados originándose otros de pesos intermedios, la configuración nuclear resultante es tal que en ambos casos se libera una cierta cantidad de energía, excedente de las respectivas energías de enlace anteriores y posteriores al proceso.

Esta energía nuclear, que aparece en forma de radiación y de gran velocidad comunicada a los neutrones que se originan y a los átomos que intervienen en el proceso, se transforma, en definitiva, en calor, calentándose el medio material en el que está produciéndose y siendo la liberación de energía procedente del citado defecto másico del núcleo atómico de un rendimiento tan elevado que cada gramo de masa que se transforma en energía equivale a casi 22 billones de calorías, de acuerdo con la conocida fórmula de Einstein, $E = m \times c^2$. Esta energía puede aprovecharse como fuente energética, y así, las centrales nucleares y las plantas de propulsión nucleares utilizan reactores de fisión nuclear del uranio o plutonio como fuente primaria de calor —sustitutiva del petróleo, carbón o gas natural— para producir el vapor de agua a

presión que, alimentando a las turbinas del turbo alternadores, generará la energía eléctrica o el vapor moverá una turbina que a su vez moverá mediante engranajes las hélice del buque.

4.7. Combustibles nucleares fisionables

Las aplicaciones de la energía nuclear se derivan, fundamentalmente, de las propiedades de los tres materiales fisibles uranio-235, plutonio-239 y uranio-233, de los cuales solamente el primero existe actualmente en la naturaleza y los dos restantes pueden originarse, en los reactores nucleares, a partir del uranio-238 y torio-232, respectivamente.

El uranio-235 forma parte del uranio natural en la proporción de tan sólo el 0,71%. El resto es, casi todo, uranio-238, no fisible, pero que, al estar sometido igualmente al flujo neutrónico en un reactor nuclear, origina plutonio-239. Como el plutonio es fisible, una parte del originado se consumirá también por fisión y, en definitiva, el balance de material combustible fisionado en cada momento se obtendrá por diferencia entre el uranio más el plutonio existentes aún sin fisionar, con respecto al total de combustible fisionable inicial. El uranio-235 ha sido el primer combustible nuclear utilizado en centrales nucleares, en forma de uranio natural metálico en unas y en forma de óxido de uranio en otras, en las que previamente a la fabricación de los elementos combustibles se le ha sometido al proceso de ''enriquecimiento".

4.8. Enriquecimiento

El proceso de enriquecimiento del uranio consiste en aumentar la proporción de su isótopo 235 fisionable hasta por lo menos un 3%, para que así sea compatible con su utilización en un reactor en forma de óxido y con agua como refrigerante. De no hacerse así, no podría llegarse a producir la reacción de fisión en cadena debido a que el oxigeno presente absorbería tantos neutrones que no quedarían los suficientes como para mantener por si sola la secuencia de fisiones. El enriquecimiento del combustible nuclear es un proceso complejo y muy costoso que se realiza por el método de difusión gaseosa el uranio, puesto en forma de hexafluoruro gaseoso, se hace pasar a través de sucesivas etapas de filtración en las que se van separando ambos isótopo. Actualmente se desarrolla también el método de centrifugación para conseguir el mismo objetivo.

Con el enriquecimiento isotópico del uranio se consigue un mejor aprovechamiento del isótopo fisible 235, pero en todos los reactores de uranio, aun contando con el plutonio producido, se consume en definitiva, material combustible. Actualmente existe la manera de obtener más combustible del que se gasta durante el proceso, en centrales nucleares diseñadas para el funcionamiento con un reactor de plutonio, utilizando para ello el plutonio-239, recuperado de los combustibles gastados de los reactores de uranio, en las que envolviendo a su vez el combustible con uranio-238 como material fértil se consigue finalmente una producción de combustible

superior al consumido, se trata de las centrales reproductoras como la *Superphenix* en Francia, con las que puede llegarse a multiplicar por 60 el aprovechamiento, en definitiva, del uranio natural a base de fertilizar su isótopo no fisible.

El principal inconveniente en la utilización del combustible nuclear es la producción de sustancias radiactivas de desecho, inherentes al proceso mismo de la fisión ya que los dos átomos en que se fracciona cada átomo fisionado son isótopos radiactivos, algunos de ellos de muchos años de duración, lo que lleva a unas exigencias de hermeticidad en el envainado metálico externo del combustible en su proceso de fabricación, y a la necesaria habilitación y desarrollo de técnicas de preparación y lugares apropiados de almacenamiento de los residuos radiactivos finales del proceso.

4.9. Diferencias entre una planta nuclear en tierra y una planta nuclear de un submarino

Mientras una central nuclear en tierra produce miles de megavatios de potencia, una planta de propulsión nuclear produce no más de cien megavatios de potencia. El espacio para una planta nuclear en un submarino es más limitado y por tanto las plantas nucleares de submarinos son bastante más pequeñas que en tierra, sin embargo las plantas propulsoras nucleares de los submarinos producen más energía por unidad de espacio que las grandes plantas nucleares de tierra, por tanto las primeras son más eficientes.

Esto supone que una planta de propulsión en la mar está sometida a un mayor ritmo que una planta en tierra, lo que podemos considerar como un riesgo. Otro de los problemas adicionales a los que la planta de propulsión se enfrenta es la corrosión, sobretodo del segundo circuito, debido a la sal del agua marina que es utilizada para mover las turbinas. La planta de propulsión también está sometida a los cabeceos y balanceos de una mar incierta.

El combustible utilizado a bordo de un submarino está más enriquecido que el utilizado en una planta nuclear en tierra, U^{238} (submarino) y U^{235} (tierra). Algunos submarinos trabajan con uranio poco enriquecido pero esto conlleva tener que repostar antes que si se hubiese utilizado un uranio más enriquecido, estos submarinos con uranio poco enriquecido eran los protagonistas en la armada soviética. Por otra parte, algunos submarinos estadounidenses utilizaban uranio altamente enriquecido, hasta incluso el 96% de U^{235}, esto además de permitir no tener que repostar en muchos años (la nueva clase *Virginia*, se espera que no tenga que repostar en 30 años, lo que es la vida útil de cada unidad), en contra posición el núcleo es más caro y costoso de conseguir y aumenta el riesgo de fugas nucleares.

Una planta de propulsión nuclear debe de ser segura y auto-suficiente, también se debe de caracterizar por su poca necesidad de mantenimiento y reparación por unidad de desplazamiento, es decir este modo de propulsión es muy delicado por lo altamente contaminante y cuanto menos atención necesite mejor será. Uno de los retos de la ingeniería es el de encontrar materiales que soporten la gran cantidad de daño por la radiación.

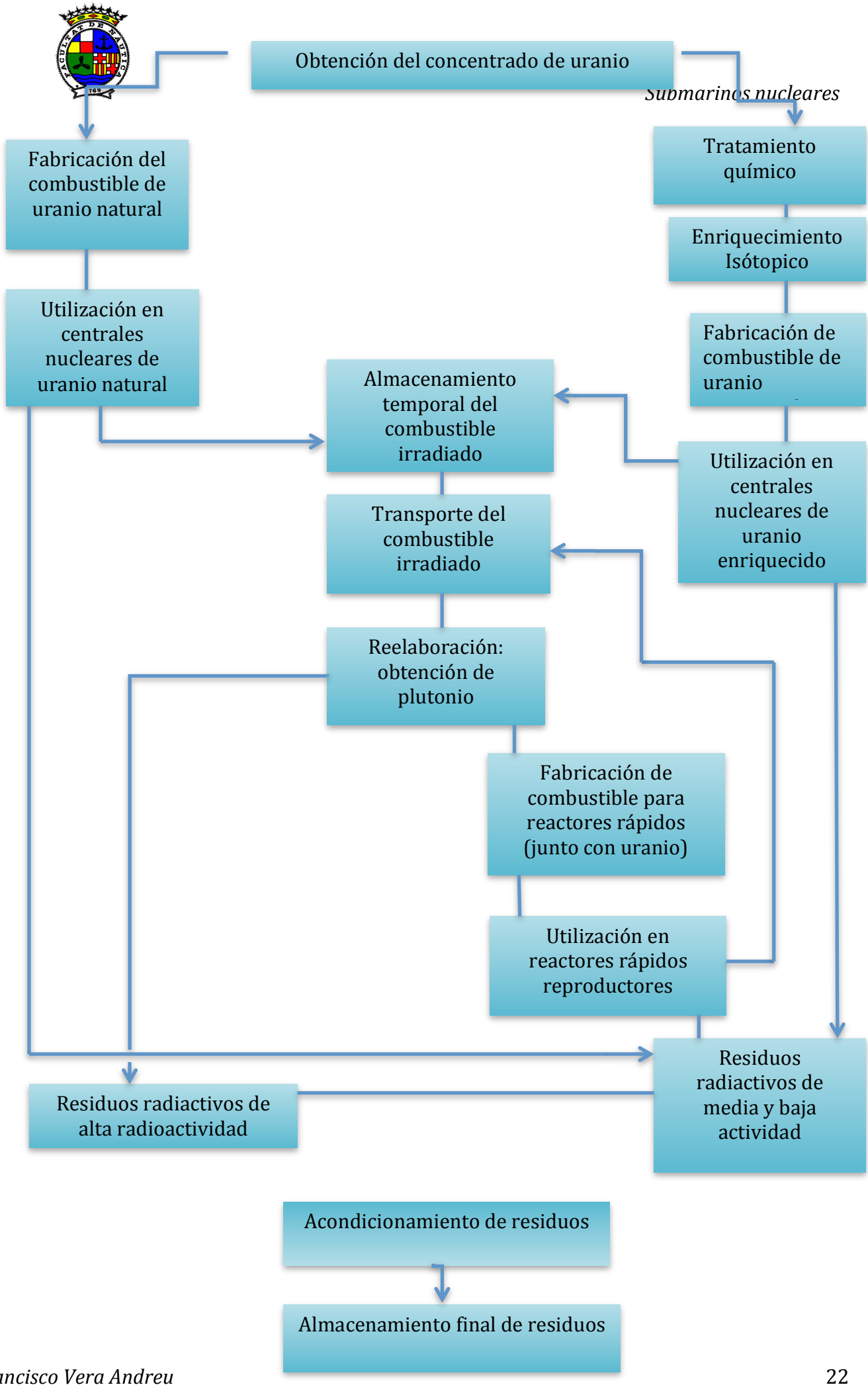
El combustible utilizado en las plantas de propulsión suele ser una aleación de Zirconium y UO_2(uranio oxidado), esta aleación es poco utilizada en tierra por su peligrosidad radiactiva.

4.10. Ciclo del combustible nuclear

En el siguiente esquema queda reflejado el consumo de material combustible, la conversión de material no fisible en fisible y la producción de residuos de fisión. En una central de uranio natural, la proporción inicial, por cada kilogramo de uranio es de 933 gramos de uranio-238 y 7 gramos de uranio-235 fisible. Después del ciclo de irradiación en el reactor, se han consumido 3,5 gramos de los 7 gramos del uranio-235, generando una cantidad equivalente de productos de fisión reactivos. Por otra parte, del uranio-238 se han transformado en plutonio 4,5 gramos, de los cuales, a su vez, se han fisionado aproximadamente la mitad. Quedan, pues, en total 5,75 gramos de material fisible, frente a los 7 gramos iniciales; se han fisionado otros 5,75 gramos en total (uranio más plutonio) y se ha generado una cantidad equivalente de residuos.

En un reactor de agua a presión, la proporción inicial por kilogramo es de 967 gramos de uranio-238 y 33 gramos de uranio-235; la conversión total en plutonio de 24 gramos, y el consumo de 25 gramos de uranio-235 y 15 gramos de plutonio, con la producción de 40 gramos de residuos, con lo que quedan 17 gramos de material fisible, frente a los 33 iniciales y se han aprovechado 40 gramos fisionados. En una central reproductora se aumenta la proporción de plutonio generado de tal forma que hay más cantidad fisionable residual que la inicial introducida en el núcleo.

Tabla 1: ciclo completo del combustible nuclear, desde su obtención hasta el almacenaje de los residuos radiactivos


Obtención del concentrado de uranio
Submarinos nucleares
Fabricación del combustible de uranio natural
Tratamiento químico
Enriquecimiento Isótopico
Utilización en centrales nucleares de uranio natural
Fabricación de combustible de uranio
Almacenamiento temporal del combustible irradiado
Utilización en centrales nucleares de uranio enriquecido
Transporte del combustible irradiado
Reelaboración: obtención de plutonio
Fabricación de combustible para reactores rápidos (junto con uranio)
Utilización en reactores rápidos reproductores
Residuos radiactivos de alta radioactividad
Residuos radiactivos de media y baja actividad
Acondicionamiento de residuos
Almacenamiento final de residuos

5. Primera generación de submarinos nucleares americanos



Imagen 3: el primer submarino nuclear del mundo, el Nautilus frente a las costas de Nueva York.
Fuente: http://volgagermanbrit.us/showmedia.php?mediaID=161&all=1 (8-3-2013)

Aunque Alemania destacó en el desarrollo de construcción de submarinos, el esfuerzo de los científicos de este país, en relación con la bomba atómica resultó insuficiente, por lo que, este país acabo abandonando el proyecto. No fue así para los americanos, ya que estos continuaron con sus investigaciones en este campo, y además supieron aprovechar los estudios realizados por los científicos alemanes, para el desarrollo de la bomba atómica, iniciándose así, por primera vez, el interés por el submarino atómico.

En 1938, Otto Hahn y Fritz Strassman, en el prestigioso Instituto Kaiser Wilhelm de Química y Física descubrieron la fisión nuclear, que es la liberación potencial de enormes cantidades de energía por parte de los núcleos atómicos. Los informes de los científicos Hahn-Strassman sobre dicho descubrimiento revolucionaron al mundo, entre ellos al Dr. George Pegram de la Universidad de Columbia, uno de los físicos más destacados en los Estados Unidos.

A principios de 1939, Pegram propuso al almirante Harold G. Bowen, jefe de la Oficina de Ingeniería de Vapor de la Marina, que controlaba la investigación naval, iniciar los trámites necesarios para mantener una reunión con investigadores de la Armada y en ella discutir los usos prácticos de la fisión del uranio. Esta reunión histórica, tuvo lugar el 17 de marzo de 1939, en los edificios de la Marina de Guerra del Departamento de Constitution Avenue, en Washington DC, en esta reunión además de Pegram y Bowen acudieron prestigiosos expertos como el Dr. Enrico Fermi, experto en las propiedades de los neutrones, y que también había realizado estudios sobre la fisión nuclear, en 1934; el capitán Hollis Cooley, director del Laboratorio de Investigación Naval, y el Dr. Ross Gunn, físico y director de la división mecánica y eléctrica del laboratorio. En esta reunión donde se discutió, como antes hemos dicho, el uso de la fisión del uranio, con objeto de fabricar la bomba. Fue Fermi el que dijo que, si ciertos problemas relativos a los productos químicos se pudiesen resolver, lo más probable era que una reacción en cadena de energía nuclear podría ser iniciada.

Tres días después, el 20 de marzo, Cooley y Gunn, se ponen en contacto con el Almirante Bowen para llevar a cabo un plan para la construcción de una "cámara de fisión" que genere vapor para mover una turbina de submarino. Gracias a las gestiones llevadas a cabo por Bowen ante la Marina de Guerra, consiguieron que este proyecto se financiase con los 1.500 dólares que hacían falta para ello, fueron los primeros dólares invertidos por el gobierno de los EE.UU. para el estudio de la fisión nuclear.

En el verano de 1934, y después de realizar los estudios preliminares necesarios, Gunn presentó su primer informe sobre la propulsión nuclear en submarinos. Dicho informe, se realizó cuatro meses antes de que Albert Einstein enviase la famosa carta, en la que instaba al presidente Franklin D. Roosevelt para emprender un programa de armas nucleares.

En su informe, Gunn señaló que una planta de energía atómica no requería oxígeno, esto significaba una enorme ventaja que incrementaría, en gran medida, el alcance y la eficacia de un submarino militar. También fueron señalados por Gunn, los numerosos problemas e incógnitas de dicho proyecto, especialmente la necesidad de desarrollar los medios para que los átomos U235 se separen mediante fisión al ser bombardeados con neutrones de uranio más pesados.

Varias instituciones académicas y de investigación civiles fueron aprovechadas para trabajar con el laboratorio de investigación naval en la búsqueda de un método práctico para separar el isótopo U235. A partir de enero de 1941, Philip A. Abelson trabajó en la separación del isotopo. En julio se unió al personal del Centro de Investigación Naval de laboratorio y, junto con Gunn, desarrolló un método relativamente simple y eficiente de separación de isótopos U 235.

Mientras que la Marina de los EE.UU. y otras instituciones fueron dando los primeros pasos hacia la era atómica, el público comenzaba a conocer el potencial de la energía atómica.

Con la guerra en Europa y las legiones de Hitler invadiendo el continente, la creencia, de que científicos alemanes podrían estar trabajando en una bomba atómica, estaba muy extendida, por lo que para estar preparados Estados Unidos y Gran Bretaña, comenzaron juntos un programa para el desarrollo de la bomba atómica bajo el nombre en clave "Manhattan Engineering District". Los esfuerzos de la Armada sobre la investigación en fisión nuclear se detuvieron prácticamente. El proceso de separación de uranio que Gunn y Abelson había desarrollado y puesto en marcha a pequeña escala en Filadelfia fue adoptado por el Proyecto Manhattan y fue desarrollándose a gran escala en el Oak Ridge, Tennessee.

Pero la idea de propulsión de barcos y submarinos con energía atómica, no fue olvidada durante la guerra. En agosto de 1944 el Brigadier General, Leslie Groves, director del Proyecto Manhattan, nombró una comisión de cinco personas para investigar posibles usos, no destructivos, de la energía atómica. El Dr. Richard C. Tolman, el decano del Instituto de California de la escuela de postgrado de Tecnología y el director científico Groves, encabezarían la comisión, los demás miembros serían dos oficiales de la marina y dos civiles. La influencia de los oficiales navales serían considerables: Rear Admiral Earle W. Mills, jefe adjunto de la Oficina de buques (*BuShips*), y el capitán Thorwald A. Solberg, también de *BuShips*.

Según Groves, una de las principales razones del por qué los miembros pertenecientes a este comité, debían de tener un alto nivel de conocimientos sobre este tema , era porque este asunto necesitaba un respaldo serio, en el que se dejará claro que tenían un gran programa, encaminado a lograr que su nación fuese una gran potencia en submarinos atómicos, por lo que debía iniciarse con el personal necesario y cualificado para ello. Por esto Mills quería asegurarse de que el comité, tenía las cualidades necesarios para hacerlo.

Ese otoño, el comité visitó el Laboratorio de Investigación Naval en Washington y escuchó a Gunn y Abelson hablar sobre la necesidad de realizar un proyecto sobre un submarino de propulsión nuclear y además dotar de prioridad el proyecto, todo ello fue expuesto en el informe del comité de Tolman, este informe, se presentó formalmente en diciembre de 1944, siete meses antes de que la primera bomba atómica fuera detonada, en el que se proponía, que el Gobierno iniciara, en calidad de proyecto urgente, la investigación y el desarrollo de la energía de origen nuclear para la propulsión de los buques de guerra.

Un año más tarde, con la guerra, la idea de que la energía atómica fuera destinada a la propulsión de una nave recibió la atención del público, creando el Senado la Comisión Especial de Energía Atómica. Al informar sobre las audiencias ante el Comité,

el 14 de diciembre de 1945, el New York Times, publicaba unas declaraciones de Gunn, en las que decía que la principal tarea de la energía nuclear era ser las ruedas del mundo y propulsar los buques. El Times también se hizo eco de la noticia, mencionando la posibilidad de submarinos de carga, impulsados por la energía atómica.

A finales de 1945, muchos científicos e ingenieros norteamericanos discutían, la posibilidad de realizar submarinos nucleares. En un informe de la Marina, aparentemente teniendo como base los informes de Gunn-Abelson, de fecha del 19 de noviembre de 1945, se enumeraba una lista de las ventajas de la energía nuclear. La lista de ventajas de la energía nuclear, eran las siguientes:

1. Rango ilimitado.
2. El submarino podría estar sumergido el tiempo que se precise.
3. Altas velocidades tanto sumergido como en superficie.
4. No necesita reabastecimiento de combustible en el mar.
5. No necesita recarga de las baterías.
6. Más potencia disponible para el mismo peso y volumen.
7. No es necesario salir a la superficie o el uso de *snorkel* para cargar las baterías.
8. Control y manejo sobre como los submarinos actuales.
9. Submarino limpio y habitable, es decir, sin restos de diesel.
10. Distribución espacial no muy diferente de las disposiciones actuales, excepto la sección delantera del submarino.
11. Operaciones más fáciles que con diesel.
12. Se esperaba que el funcionamiento de la planta propulsora fuese fiable.

Muchos oficiales navales dudaban aun de la propulsión nuclear. En el verano de 1946 en el atolón de Bikini, en el océano pacífico, donde se efectuaban ensayos con bombas atómicas, el capitán de corbeta Laning B., al mando del submarino *Pilotfish* (SS 386), habló sobre la factibilidad de la potencia atómica nuclear con el Dr. George Gamow. Gamow calculó que dicha nave podría alcanzar los 30 nudos y que sería dos veces el tamaño de los ya existentes.

Dichas naves se podrían desarrollar, según Gamow, que sobre ello manifestó: "*en diez años tendremos la propulsión nuclear si nosotros ponemos todo nuestro empeño en esto*". Laning inmediatamente escribió una carta, al los altos mandos ofreciéndose voluntario para probar la propulsión nuclear en un submarino. (Laning no recibió respuesta la carta).



Imagen 4: prueba de bomba nuclear en 1946 en el atolón Bikini en las Islas Marshall por aquel entonces territorio estadounidense. Fuente:http://blogdebanderas.wordpress.com/2012/12/04/10-islas-convertidas-en-campos-de-pruebas-nucleares-durante-el-siglo-xx/ (20-3-2013)

Después de la guerra, Gunn y Abelson volcaron su atención sobre la posibilidad de un submarino atómico.

Abelson consiguió una serie de planos del submarino alemán XXI (Walter)[3] y desarrolló un esquema para una planta nuclear que podría encajar en los espacios existentes, con sólo realizar unos cambios menores en el diseño básico del submarino. Este enfoque de Abelson, hizo que se acelerase el desarrollo del submarino nuclear. Gran parte del informe Abelson era pobre o desde un punto de vista técnico cuestionable. Por ejemplo, había poca información sobre el diseño de la pila nuclear, o reactor, excepto que se utiliza una aleación de sodio y potasio como los medios para transferir calor desde el reactor a la turbina de vapor. El informe Abelson fue presentado en marzo de 1946. Aunque en retrospectiva, tenía deficiencias graves, el "Submarino de Energía Atómica" pudo cautivar la imaginación de muchos hombres de la Marina. Sus conclusiones fueron las siguientes:

> *"Un estudio técnico realizado en el de Investigación Naval, indica que, con un programa adecuado, sólo dos años serían necesarios para poner en funcionamiento un submarino de propulsión atómica mecánicamente capaz de operar entre 26 y 30 nudos en inmersión durante muchos años sin salir a la superficie (de no ser por los víveres). En cinco o diez años, podría desarrollarse*

[3] Fueron una serie de submarinos construidos en el último periodo de la segunda guerra mundial, los cuales serían repartidos entre las potencias ganadoras una vez concluida la Segunda Guerra Mundial.

este submarino con probablemente el doble de la velocidad sumergido que los submarinos actuales".

Tuvo razón el informe Abelson, cuando certificó que estos submarinos atómicos podrían alcanzar una alta velocidad, a grandes profundidades entorno 300 metros de profundidad, además de que estos submarinos podrían servir como un vehículo ideal para lanzar bombas atómicas.

Abelson y Gunn, se reunieron con la comunidad de submarinistas de la Marina, en varias ocasiones. En estas reuniones, a las que acudieron, alrededor de 30 oficiales de submarinos de alto nivel, se trató, especialmente, la idea de la propulsión nuclear en submarinos. El vicealmirante Charles Lockwood, que había mandado submarinos estadounidenses, en el Pacífico durante la Segunda Guerra Mundial, recordó una de esas reuniones, diciendo:

"Si vivo hasta los cien años, nunca me olvidaré de esa reunión del 28 de marzo de 1946, en una oficina grande de la sala de conferencias de buques, sus paredes cubiertas con pizarras que, a su vez, fueron cubiertos por los diagramas, planos, figuras, y ecuaciones que Phil Abelson utilizó para ilustrarnos los puntos más representativos. La idea sonaba más cercana a la obra de Julio Verne, Veinte mil leguas bajo el mar, que a la realidad".

Simultáneamente, con el trabajo de Gunn-Abelson, el capitán de corbeta Charles NG Hendrix de la Oficina de la Marina de Investigación e Invenciones (más tarde la Oficina de Investigación Naval), elaboró un memorando de 14 páginas sobre "El Desarrollo de futuros Submarinos", que proporcionó un análisis de submarinos en las operaciones de la Segunda Guerra Mundial, para justificar tres tipos de futuros submarinos:

- Submarino pequeño de Entrenamiento (de 600 a 800 toneladas de desplazamiento)
- Submarino Medio, flota de tipo ataque barco (1.200 a 1.500 toneladas)
- Submarino Grande especial "tipo cohete de lanzamiento" (2.400 a 3.000 toneladas) para llevar a la superficie cohetes lanzados desde el propio submarino con ojivas atómicas.[4]

El submarino de ataque según Hendrix tendría una velocidad sumergido de 20 a 25 nudos, una profundidad de operación de 610 metros, y la "mejor maniobrabilidad".

Cabe destacar que tanto el submarino de ataque y el submarino de "tipo de lanzamiento de cohetes" tendría propulsión nuclear. En el memorando, Hendrix incluía un esbozo del submarino de ataque de propulsión nuclear (reactor adelante),

[4] Como vemos esta es la primera referencia que existe de lo que más tarde se convertirían en los submarinos de ataque SSN, y los submarinos estratégicos SSBN.

acompañado de las estimaciones de peso y una descripción de la planta de energía, aunque basada principalmente en la energía del Informe oficial pero no clasificada por el informe Smyth *Atomic Energy for Military Purposes.*

Muchas de las ideas defendidas por Gunn, Abelson, y Hendrix y que algunos oficiales de la comunidad submarina apoyaban también, se basaban casi exclusivamente en teorías y conjeturas. Por ello el general Groves, no proporcionó información acerca de este tema, a personal militar o civil que no estuviese bajo su mando directo, a menos que le fuese indicado por el Jefe de Operaciones Navales. Groves creía que el intercambio de información violaría la directiva del presidente Franklin D. Roosevelt en la seguridad de la información atómica. También era consciente de las cantidades tan limitadas de uranio enriquecido disponible y no podrían satisfacer las demandas de uranio de dos programas, el programa de armamento nuclear y el programa de propulsión marina. Esta preocupación, incluso dentro de la Armada, constituiría el principal argumento en contra de submarinos de propulsión nuclear.

También, sabiendo que pronto se crearía alguna agencia civil para el control de los asuntos atómicos de Estados Unidos, Groves se mostró reacio a comprometer el Proyecto Manhattan a una política a largo plazo en relación con propulsión nuclear.

Mientras tanto, el almirante Bowen, nombrado almirante después de la guerra para asegurar la continuación de la estrecha cooperación entre la Armada y la comunidad científica, y el comodoro William Parsons, que había sido ejecutivo en el Proyecto Manhattan y el oficial de armas de la detonación de la bomba nuclear en Hiroshima, prepararon una carta al Secretario de la Marina James Forrestal. Este había sido, en el ejercito, uno de los mandos superiores del General Groves. La carta, de fecha 14 de marzo de 1946, declaró que la Armada quería llevar a cabo los trabajos de ingeniería necesarios para el desarrollo de la energía nuclear, enfocados a la propulsión del buque.

En respuesta a la carta, se le comunicó su pronto traslado a Oak Ridge con el fin de continuar con las investigaciones acerca de la propulsión nuclear, en conjunto con el personal que se encontraba desarrollando el programa de armamento nuclear. Comunicando que de 4 a 5 años sería posible desarrollar un vehículo naval propulsado con energía nuclear.

La Marina rápidamente reunió a un equipo de cinco de sus oficiales y tres civiles para ir a Oak Ridge. Después de barajar algunas de las tareas a realizar, el capitán H.G. Rickover, especialista en ingeniería, fue asignado como oficial de alto rango para ir a Oak Ridge. Rickover había servido en destructores, acorazados y submarinos, y había mandado un dragaminas, antes de convertirse en un especialista de la ingeniería en 1938. Durante la mayor parte de la guerra mundial, había sido jefe de la rama eléctrica

de *BuShips*, responsable del desarrollo, adquisición e instalación de equipo eléctrico en barcos y submarinos.

Al mismo tiempo, otros oficiales de ingeniería fueron asignados a las diferentes empresas que trabajan en el campo nuclear. Rickover originalmente fue llamado para ir al centro de General Electric en Schenectady, Nueva York. Sin embargo, el contralmirante Mills, decidió enviarlo a Oak Ridge.

El grupo llegó a Oak Ridge en junio de 1946. Durante los siguientes cuatro meses, estudiaron todos los aspectos de la tecnología nuclear. En este período, Rear Admiral Bowen, quien se había convertido en el jefe de Investigación Naval, y el capitán Albert G. Mumma fueron las voces principales de la energía nuclear. Mumma fue nombrado coordinador en materia nuclear en *BuShips*, así este se adelantó al puesto que Rickover esperaba obtener.

Rickover luchó para ganarle el puesto a Mumma en asuntos navales nucleares, así este, realizó informes sobre la factibilidad de la propulsión nuclear. En este período se intentó mantener el grupo de Oak Ridge intacto, usándolo para ayudar a realizar sus informes. Además, Rickover obtuvo el apoyo del Dr. Edward Teller, físico nuclear de liderazgo, por sus propuestas sobre submarinos. Finalmente, en septiembre de 1947 Mills nombró a Rickover como su asistente especial para asuntos nucleares.

Abelson, Bowen, Gunn, Mills, Rickover, y muchos otros en el Departamento de la Marina creían que la propulsión nuclear era factible para buques de superficie y submarinos. La aprobación para conseguir un objetivo realista de propulsión nuclear, que se traduciría en la construcción y operación de buques con propulsión nuclear, tenía que venir de los más altos niveles de la Armada, de la Secretaría de Marina y Jefatura de Operaciones Navales (CNO), y debería ser apoyada por la opinión de la administración y financiado por el Congreso. Los dirigentes de la CNO, como Parsons, ahora contralmirante, así como otros tantos, creían que los esfuerzos principales de la Marina en materia de energía atómica deberían ir encaminados sólo en el desarrollo de armas, estos creían que los recursos y las personas reconocidas a disposición de la Armada eran demasiado limitadas para desarrollar los dos programas nucleares que estaban siendo desarrollados en Aok Ridge, el programa de desarrollo en propulsión nuclear y el programa de armas nucleares.

El segundo, pensaban, eran mucho más necesario si la Marina quería competir con las Fuerzas Aéreas del Ejército de las principales misiones militares o, de hecho, ni siquiera para sobrevivir como un importante servicio militar en el período de posguerra. Algunas voces se elevaron en oposición a la propulsión nuclear. Uno de ellos fue el vicealmirante Robert B. Carney, en el entonces vice-CNO para la logística. Él esperaba una prohibición mundial de la propulsión nuclear en buques de guerra,

temiendo que si Estados Unidos tuvieran en algún momento la propulsión nuclear también la adoptasen los enemigos de Estados Unidos.

En otoño de 1946, el almirante Nimitz preguntó a la Conferencia Sub-Oficiales de marina como abordar el tema de la propulsión nuclear.

El informe apoyaba plenamente propulsión nuclear. Se recomendaba un programa de fases múltiples. Además, se recomendó que los futuros submarinos diesel-eléctricos estuvieran configurados para la conversión posterior a propulsión nuclear. El informe estimaba que los primeros submarinos nucleares pudieran estar listos para zarpar en la década de los años 50. Nimitz aprobó el informe al día siguiente de ser presentado.

Ahora, con la ayuda del personal de la Secretaría de la Marina, Rickover se estaba convirtiendo en la voz principal en materia de propulsión nuclear, y en agosto 1948, el almirante Mills estableció una agencia de energía nuclear en *BuShips*, con Rickover como su cabeza. El problema más importante de Mills era la recién creada Comisión de Energía Atómica (AEC), ya que esta, no estaba a favor del empleo de la energía atómica en materia de propulsión nuclear. A juicio de los comisionados de AEC, era demasiado pronto para hacer un compromiso tan importante. Frustrado, Mills comenzó a atacar a la AEC en los discursos y en las discusiones con miembros del Congreso. En respuesta, en febrero de 1949, la División de Desarrollo del reactor se estableció dentro de la AEC con Rickover como su cabeza, es decir, se le asignó además del puesto en la marina de guerra el de la AEC.

De esta forma, Rickover y la Marina estaban en condiciones de iniciar el desarrollo de un dispositivo de propulsión nuclear submarino. La industria americana estaba ansiosa por entrar en la era nuclear, y la Marina pronto estableció contratos con Westinghouse, General Electric y Combustión Engineering, para el desarrollo de los reactores adecuados. Los prototipos de las plantas submarinas serían construidos en tierra, de esta forma se modelarían las instalaciones de abordo, y se podrían identificar y corregir problemas. Además, estas plantas prototipo se ensamblarían realmente dentro de las correspondientes secciones del casco del submarino, para ahorrar tiempo y garantizar el "ajuste" en los submarinos reales. Era necesario en principio, seleccionar un astillero donde se fabricaran dichas secciones de casco para esos prototipos de reactores. El departamento de diseño del astillero de Portsmouth estaba totalmente ocupado en el programa GUPPY[5]. Así Rickover se lo encargó a la empresa Electric Boat en Groton, Connecticut, a la que se le remitió el diseño detallado y se le encomendó la misión de construir el primer submarino nuclear estadounidense.

[5] Fue un programa de mejora de los submarinos de la clase Bacalao, iniciada gracias a los nuevos conocimientos adquiridos de los submarinos alemanes Tipo XXI, en total se mejoraron 49 unidades.

El Congreso, impresionado por el testimonio de Rickover y de los demás dirigentes de la Marina de Guerra, dio su autorización en 1951 para el primer submarino nuclear, al que en principio se designó como el SSN 571 y, posteriormente, su nombre sería *Nautilus*. Este submarino tendría un reactor presurizado que empleaba agua como medio de intercambio de calor entre el reactor y la turbina. Al mismo tiempo *Bereau of Ships* (*BuShips*) dirigió la viabilidad de cuatro modelos diferentes de plantas nucleares, en incrementos de 15.000 caballos de fuerza, la meta de la planta del *Nautilus*. (Dichos cuatro modelos de plantas nucleares se ven en la siguiente página)

El capitán Rickover seleccionó un reactor de agua a presión, (*Pressurized-Water Reactor, PWR*, inicialmente designado STR, *Submarine Thermal Reactor*, para el primer submarino nuclear. El STR Mk I sería en tierra el prototipo del reactor que llevaría el Nautilus, la planta del Nautilus se llamaría, STR Mk II. Eran la STR Mk I y STR Mk II idénticas.

Cabe destacar que hasta 1950 el primer submarino nuclear fue concebido como un submarino experimental, exclusivamente para una planta nuclear. Se anunció lo siguiente: "*Inicialmente no habrá armamento en el barco, sin embargo, el diseño y la construcción debe ser tal que el armamento pueda ser instalado con un mínimo de cambios estructurales y en una coste mínimo como un proyecto de conversión.*"

El diseño de Electric Boat (EB) para el Nautilus preveía un submarino más largo de lo que se había previsto en el estudio de 1950 por *BuShips*. El submarino de Electric Boat tendría un desplazamiento de la superficie de 3.180 toneladas y toneladas 3.500 sumergidos, con una longitud aproximada de 98 m. Esto era casi el doble del desplazamiento del nuevo submarino diesel-eléctrico *USS Tang* y más de 15,2 metros más largo, el tamaño adicional que se requiera para la planta nuclear.

El Mk I, prototipo de la planta de reactor Nautilus fue montado en la National Reactor Test Station cerca de Arco en el desierto de Idaho. La carcasa de la sección del casco del reactor propiamente dicho se construyó en un tanque de unos 15.2 m de diámetro y unos 12,2 m de altura, aguantando 1,46 millones de litros de agua. Con esta disposición, las pruebas de simulación podrían ser llevadas a cabo. El reactor fue construido con el mismo plomo macizo blindado que estaría equipado en el submarino real.

La planta del reactor Arco alcanzó la criticidad auto-sostenida, en una operación realizada el 30 de marzo de 1953. Se realizaron muchas pruebas con el fin de detectar problemas y después ser corregidos. Más tarde, en una prueba muy determinante, en junio de 1953, la planta desarrolló con éxito a 96 horas de "viaje", recorriendo 2500 millas a una velocidad promedia de 26 nudos.

Tabla 2: datos teóricos de plantas nucleares para submarinos

Propulsión en caballos	15.000 CV	30.000 CV	45.000 CV	60.000 CV
Desplazamiento Sumergido	2.935 t	4.105 t	5.337 t	6.658 t
Eslora total	82.9 m	88.4 m	96 m	100.6 m
Manga	8.23 m	9.45 m	10.37 m	11.28 m
Diámetro del casco	8.23 m	9.45 m	10.37 m	11.28 m
Longitud de la cámara de máquinas	16.77 m	21.95 m	26.83 m	30.94 m
Máxima velocidad	25.2 nudos	29.6 nudos	32.1 nudos	33.8 nudos
Autonomía a máxima velocidad	15.100 millas	17.800 millas	19.300 millas	20. 300 millas
Autonomía a 10 nudos	46.800 millas	61.600 millas	76.200 millas	82.000 millas

5.1. La construcción del Nautilus

El *Nautilus* estaba en construcción, la colocación de la quilla iba a ser oficiada por el presidente Truman el 14 de junio 1952, en el astillero escogido para ello. Fue lanzado el 21 de enero de 1954, la señora Mamie Eisenhower fue la encargada de romper la botella de champán contra el casco del barco. Al mismo tiempo que comenzó la construcción de este, también se inició en 1952, en un edificio adyacente de Electric Boat, el *Seawolf (SSN 575) que* fue el segundo submarino atómico. Estos hechos históricos se llevaron a cabo con una gran publicidad y toda la prensa estadounidense se hizo eco de estos hechos así como en los territorios de ultramar.

El *Nautilus* se veía en su mayor parte como un tipo XXI ampliado con un arco redondeado y casco aerodinámico. En popa y proa tenía timones, en proa nos referimos a planos de inmersión. Su gran diámetro de 8,5 metros interior proporcionaba un gran volumen, con tres niveles. Tenía un doble casco en el reactor y seis compartimentos exteriores: proa, cuarto de estar y cocinas principales, central, reactores operativos, sala de máquinas, y los compartimentos de popa. El diseño redujo la reserva de flotabilidad alrededor de un 16%.

En proa estaba provisto de seis tubos lanza torpedos y podían ser cargados abordo hasta 26 torpedos (no había tubos de popa y, por supuesto, no habían armas de la cubierta). También albergaba un sonar pasivo, el sónar BQR-4A, completamente carenado en el casco, además de un sonar en proa SQS-4 activo de exploración. Al principio, se tuvo en mente la idea de dotar al *Nautilus* con un *Regulus* (un tipo de misil) sin embargo, esta idea fue rechazada rápidamente para evitar complicaciones en la producción del primer submarino nuclear.

Había alojamiento para 12 oficiales y unos 90 marineros, los oficiales compartían literas, con excepción del capitán, que tenía una litera más grande para él solo, el submarino contaba con una habitación donde los oficiales podían comer y relajarse. Cada marinero tenía su propia litera, también a bordo se disponía de una máquina expendedora de Coca-Cola[6]. La vida a bordo era lujosa comparada con los anteriores submarinos, la planta nuclear era capaz de proporcionar agua fresca ilimitada y aire acondicionado.

A popa de la sala de control se situó a la planta de propulsión y maquinaria auxiliar. El reactor STR SINGLE (más adelante designado 52W) proporcionaba calor para los generadores de vapor, que, a su vez, proveían de vapor a las dos turbinas. La

[6] Como bien antes hemos nombrado, en los Estados Unidos se publicitó mucho la legada del primer submarino nuclear, es por esto que muchas marcas de moda en la época, como Coca-Cola, aprovechasen la situación para beneficiarse y hacer publicidad.

planta producía 13.400 caballos de fuerza, suficiente para conducir el largo submarino a una velocidad máxima sumergida de poco más de 23 nudos.

Un doble reactor fue considerado, con el fin de reducir la posibilidad de que el submarino se desactivase o se perdiera en el mar debido a un fallo del reactor. Sin embargo, el tamaño era una limitación, y el *Nautilus* se construyó con un solo reactor. Un generador diesel auxiliar, con instalación de snorkel para funcionamiento sumergido, y una instalación de una batería media GUPPY proporcionaban "la vuelta a casa" en una emergencia. Navegó en profundidades considerables respondiendo bien ya que los materiales eran de calidad al igual que la planta nuclear, que con sus vapores radiactivos y de alta presión, se le exigió un nuevo nivel de control de calidad.

La planta del reactor del submarino se puso en marcha el 30 de diciembre y el 17 de enero de 1955, el Nautilus se alejó del muelle. A pesar de un repentino problema de ingeniería que se resolvió rápidamente, el comandante Eugene P. Wilkinson, dio con una lámpara de señal de flash el mensaje histórico: **"UNDERWAY ON NUCLEAR POWER"**.

Los ensayos del submarino fueron un gran éxito, incluyendo un récord de 1.381 millas sumergido de New London, Connecticut, a San Juan, Puerto Rico, en 90 horas, obteniendo un promedio de 15,3 nudos. Esta fue la travesía más rápida sumergida. Posteriormente se hicieron travesías más rápidas con el *Nautilus*, con un promedio cercano a su velocidad máxima. El *Nautilus* fue un notable logro de la ingeniería.

En los ejercicios se demostró el valor de la propulsión nuclear para submarinos. El Nautilus podía cercar a un enemigo o escapar a su voluntad, siendo maniobrable en tres dimensiones, independientemente de las condiciones meteorológicas de superficie. A diferencia de los capitanes de submarinos de "alta velocidad" del Tipo XXI, GUPPY, o diseños Tang, el capitán del Nautilus no tenía que preocuparse por la energía restante de las baterías, tenia vapor a altas velocidades durante días o incluso semanas en lugar de minutos o tal vez horas.

El *Nautilus*, sin embargo, era un submarino ruidoso, de vibraciones extraordinarias de origen incierto. El desprendimiento de vórtices causado por el diseño del buque hacia que vibrase. Cuando el submarino alcanzaba 180 revoluciones por minuto, las vibraciones afectaban de manera considerable a la navegabilidad y estuvo peligrosamente cerca de que el casco se curvarse debido a estas vibraciones, cuando navegaba sumergido. Si el desprendimiento de los vórtices junto con las vibraciones propias del submarino se hubiesen acompasado, el submarino podría haber sufrido daños estructurales muy graves. En el proceso de exploración de las vibraciones provenientes de la navegación, los ingenieros de la Armada calificaron de "excesivas" las vibraciones del casco cuando las velocidades superaban los 16 nudos

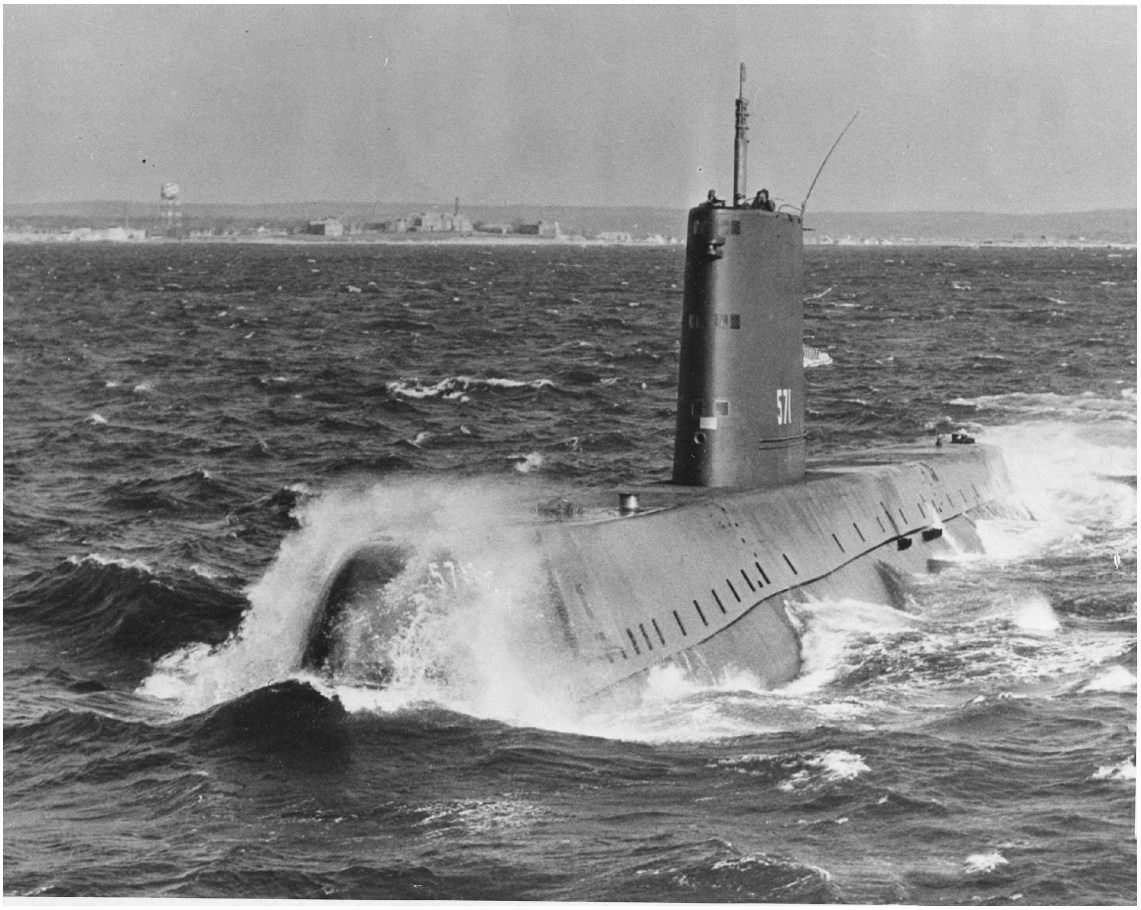


Imagen 5: el submarino Nautilus en su primera travesía hacia el puerto de San Juan, Puerto Rico. Obsérvense sus formas poco uniformes, las cuales provocaban vibraciones. Fuente: www.navsource.org (8-3-2013).

Más allá de los problemas estructurales, estas vibraciones anulaban las características militares del submarino. El comandante Wilkinson escribió:

"El ruido generado por la vibración del casco y la superestructura es tan grande que la capacidad del sónar del Nautilus es prácticamente nula a cualquier velocidad superior a 8 nudos. Esta situación intolerable reduce la eficacia militar del submarino lo suficiente como para anular las ventajas tácticas que nos podría otorgar la propulsión nuclear. Además, de que se pone en peligro la seguridad del buque."

Después de montar el *Nautilus*, el Comandante de la Fuerza Submarina de la Flota del Atlántico, sobre las vibraciones en su informe, dijo:

"*El ruido junto con las vibraciones de la superestructura prohíben cualquier conversación normal en la sala de torpedos a velocidades superiores a 8 nudos. Es necesario gritar para ser escuchado en la sala de torpedos cuando el buque está navegando entre 15 y 17 nudos. El ruido hace inútil a cualquier sonar instalado, tanto activo como pasivo. La forma de la superestructura parece ser la principal causa del hidrodinámico e inaceptable ruido generado a velocidades medias y altas. Es un*

problema serio porque el Nautilus daría sus mejores ventajas tácticas a velocidades donde el ruido es máximo."

Se hicieron modificaciones en el submarino para remediar los problemas, pero la Marina concluyó afirmando que incluso anulada la vibración en proa el submarino era fácilmente detectable por otras embarcaciones, por esto era inútil en caso de guerra, así se convirtió en un laboratorio flotante para investigar cómo eliminar los ruidos en futuros submarinos, entre otras cosas.

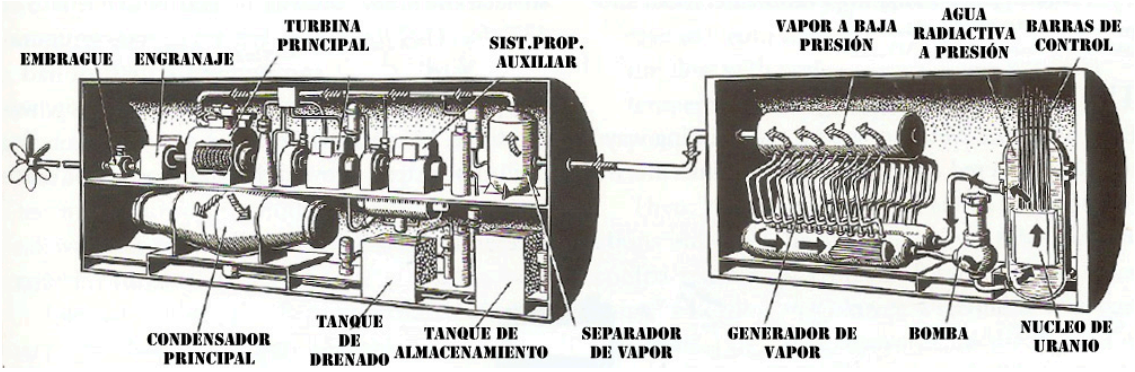


Imagen 6: esquema del reactor de la planta del reactor del submarino Nautilus, se caracteriza por ser una planta muy poco insonorizada y con grandes diferencia a las siguientes plantas. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

Durante los dos siguientes años, el *Nautilus* era la única embarcación con propulsión nuclear que al fin y al cabo quedó como laboratorio técnico y táctico. Antes de ser un laboratorio este submarino llevó a cabo varias operaciones bajo el casquete de hielo polar ártico, el *Nautilus* navegó desde Pearl Harbor a Inglaterra, pasando por el Polo Norte el 3 de agosto 1958, el primer barco en llegar a la "cima" del mundo. Con su segundo capitán, el comandante William R. Anderson, el barco operó bajo el hielo durante cuatro días, navegando 1.830 millas. La travesía polar se llevó a cabo a petición directa del presidente Dwight D. Eisenhower, quien tenía la esperanza de recuperar la imagen de liderazgo tecnológico estadounidense después de los triunfos espaciales soviéticos de 1957-1958.

La misión fue de alto secreto hasta que el submarino, salió a la superficie cerca de Groenlandia. Un helicóptero trasladó a Anderson a la base aérea de EE.UU. en Islandia, después voló a Washington, DC, donde fue condecorado en una ceremonia en la Casa Blanca en la que el Presidente reveló la travesía polar, Anderson fue trasladado en avión de regreso a su submarino para la entrada triunfal del *Nautilus* en Portland, Inglaterra. A su regreso a los Estados Unidos el *Nautilus* llegó al puerto de Nueva York.

El *Nautilus* continuó en servicio activo, tanto para realizar trabajos con la Marina como de laboratorio para investigar sobre avances en construcción de submarinos, hasta 1979.

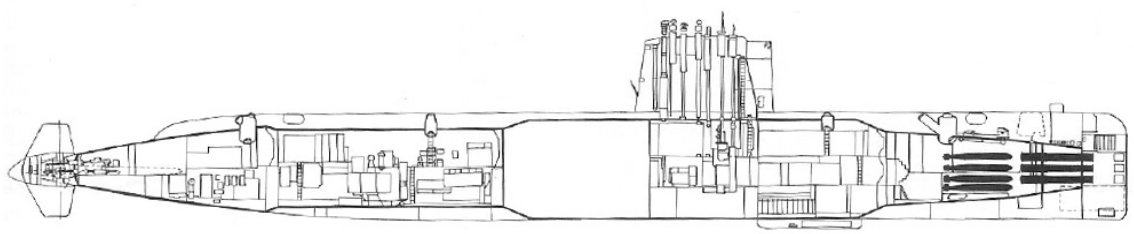


Imagen 7: Esquema del Nautilus. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

5.2. La Planta de sodio líquido

Mientras el *Nautilus* estaba siendo construido, la Marina ordenó construir un segundo submarino nuclear, el *Seawolf*, este segundo submarino nuclear sería bastante similar al *Nautilus*, salvo que su planta estaría provista con un refrigerador de sodio, *Submarine Reactor Intermediate (SIR)*. El sodio fue mejor intercambiador de calor entre el reactor y los generadores de vapor que el agua presurizada, como se utilizaba en el *Nautilus*, mantenía además las velocidades aún más altas. Otro sistema de fluido, fue usando sodio-potasio, que se utilizaba para separar el sodio a partir de la planta de agua-vapor, añadiendo así complejidad a la planta. La Armada construyó una base en tierra, denominada como SIR Mk I (prototipo) en West Milton, Nueva York. Más adelante designada S1G, fue utilizada para el desarrollo y formación de la tripulación. El programa SIR usaba toda la producción nacional de los Estados Unidos de sodio líquido, este era altamente tóxico y altamente corrosivo para el acero.

El idéntico SIR Mk II de la planta (S2G) fue instalado en el *Seawolf*, el segundo submarino nuclear de la historia. El *Seawolf* fue encargado a *Electric Boat* en julio de 1952, un poco menos de un año después de que fuera ordenada la construcción del *Nautilus*. El segundo submarino nuclear sería un poco más grande debido a la protección adicional para la planta de refrigerado por sodio, desplazando 3.420 toneladas en la superficie y 4.287 toneladas sumergido, con una longitud de 102,9 metros. Además, su sonar de proa era diferente a su antecesor, y la estructura del casco era más hidrodinámica, la proa del *Seawolf* fue modificada ya que mientras el *Nautilus* estaba siendo construido se detectó mediante pruebas que no llegaría a la velocidad máxima del diseño. La mejora en la proa del *Seawolf* proporcionó una incremento de

tres nudos en superficie y una pérdida de una décima de nudo sumergido, mientras que proporciona la instalación en la proa de un sonar más eficaz.



Imagen 8: submarino Seawolf el segundo submarino nuclear del mundo entrando a puerto a finales de los 50. Fuente: http://www.navsource.org/archives/08/08575a.htm (8-3-2013).

El *Seawolf* fue entregado el 21 de julio de 1955. La finalización del prototipo en tierra del *Seawolf* se retrasó debido a una complejidad en la planta de sodio que finalmente fue subsanada. De acuerdo con el capitán Robert Lee Moore Jr., quien se convirtió en el supervisor de la Marina en *Electric Boat* en 1952, comunicó que el uso de sodio-potasio había sido realizado, sin prestar atención a los informes de la NRL (Laboratorio de Investigación Naval) sobre los fallos catastróficos del acero inoxidable en vapor sobrecalentado, con un mínimo de diez partes por millón de potasio presente.

La planta del reactor del *Seawolf* alcanzó la autosuficiencia del reactor por primera vez el 25 de junio de 1956. Durante las pruebas de mar, el 20 de agosto, se produjo un error en el sobrecalentador de vapor de estribor, y dos fugas de vapor aparecieron en la tubería conectada al sobrecalentador de la planta generadora de vapor. La planta se cerró, y se determinó que las fugas se produjeron por la acción de la aleación de sodio y potasio, que se había filtrado en la tubería de vapor sobrecalentado. Durante el cierre de fugas se encontraron otras fugas en el generador de vapor de estribor.

Más de tres meses fueron necesarios para modificar el generador de vapor del sistema para corregir los problemas y poder reanudar las pruebas de mar, finalmente los calentadores de ambos lados fueron puenteados, es decir, conectados entre sí. El 1

de diciembre, sin embargo, otra fuga de sodio-potasio se detectó en el generador de vapor de estribor, esto dio lugar otra vez a nuevas reparaciones.

El *Seawolf* comenzó al fin las pruebas de mar el 21 de enero de 1957. Solo podía funcionar al 80 por ciento de su potencia de diseño. Por último, el 30 de marzo de 1957, el segundo submarino de propulsión nuclear fue puesto a disposición de la Marina.

El comandante Laning, fue el elegido para capitanear el *Seawolf*. Hubo problemas periódicos con la planta y problemas inusuales. A veces, por ejemplo, el casco del *Seawolf* brillaba en la oscuridad. El resplandor que emitía la proa del submarino era debido a la radiación de Cherenkov[7], se trataba de un resplandor azulado debido a partículas que viajan de un medio a otro a velocidades superiores a las de la luz. Esta luz es la producida por la radiación, no era peligroso pero si novedoso.

El *Seawolf* demostró la resistencia de los submarinos nucleares en el otoño de 1958, cuando su capitán, Laning, llevó la embarcación a un nuevo récord, recorrió 13.761 millas, permaneciendo sumergido durante 60 días. El *Seawolf* operó con éxito casi 21 meses con su reactor de sodio líquido. Según Laning, el reactor de sodio líquido fue exitoso. El capitán explicó:

"El problema del sodio es que es un fluido de intercambio de calor excelente, y que puede causar cambios de temperatura muy rápidos. El acero inoxidable 347 usado (en la planta) tiene un coeficiente de transferencia de calor bajo y un alto coeficiente de expansión térmica. Esto significa que un cambio de temperatura brusco puede causar grietas, especialmente en los puntos de grosor variable. Nuestra operación fue muy exitosa debido a que jugamos con la potencia de la planta y así no vimos cambios bruscos de temperatura y pudimos evitar grietas en el acero de la planta."

A finales de 1958, el Seawolf regresó a los astilleros de Electric Boat, donde se le retiró la planta de sodio, y se instaló un duplicado de la planta del *Nautilus* (planta designada S2Wa). Entró en servicio el 30 de septiembre de 1960. Con la nueva planta, el *Seawolf* continuó hasta principios de 1987, la mayor parte de las últimas etapas de su carrera fueron experimentales y su información es confidencial. Para estas operaciones especiales, el *Seawolf* pasó de nuevo por los astilleros, estando en dique seco de mayo de 1965 a agosto 1967, fue reestructurado de tal manera que se le añadió un compartimento para poder descender a mayor profundidad entorno a más de 185 metros.

[7] Pável Cherenkov fue un físico ruso que descubrió e interpretó la radiación de Cherenkov, fue galardonado con el premio nobel de física.

Aunque Rickover había parado el desarrollo ya avanzado del sistema de sodio-potasio en la Oficina de Investigación Naval (ONR) continuó investigando los reactores alternativos debido a la idea de que las centrales eléctricas pudiesen ser más ligeras o más capaces con el uso más eficiente de métodos de transferencia de calor. Rickover se enfureció después de que el tema se plantase en una conferencia de la ONR en 1974. El Jefe de Investigación Naval, Contraalmirante D. Merton Van Orden, entregó personalmente una transcripción de la conferencia a Rickover y este, utilizando un lenguaje profano, recomendó al Congreso que la ONR fuera abolida, a menos que Van Orden detuviera tales actividades. El Jefe Naval de Operaciones, Elmo Zumwalt R., apoyaba continuación sobre los reactores ligeros. Sin embargo, Rickover, intimidando a la secretaría civil de la Armada, forzó a la ONR a abandonar la investigación. Hubo otras investigaciones de las empresas que participan directamente en la propulsión nuclear, como programas para examinar las posibles alternativas a la planta PWR. Todas fueron rechazadas por Rickover.

Sobre este caso, la Marina emitió un informe, donde resumió así la situación:

"*La competencia técnica del Código de 1500 (grupo Rickover) fue, sin duda, fuerte, aún pendiente, pero era prudente dejar que un grupo técnico decidiera qué camino seguiría la Armada en el desarrollo de la propulsión nuclear. Aunque la técnica Rickover, en este caso, parecía correcta, la certeza absoluta con la que se afirmaba su opinión no ayudó a convencer a otros de que el Código de 1500 que eran de mente más abierta sobre el tema de nuevos diseños de reactores. La conclusión es que Rickover simplemente estaba tratando de establecer un monopolio para mantenerse en el poder.*"

Cabe destacar que más allá de las plantas de *Nautilus* y *Seawolf*, allá por 1951, Rickover había recibido autoridad para iniciar el desarrollo de un prototipo en tierra para una unidad de propulsión capaz de impulsar el eje de un buque de guerra de superficie mayor. Poco tiempo después Rickover también iniciaría otros tres programas de reactores: una planta la mitad del tamaño de la *Nautilus*, es decir, 7.300 caballos de fuerza, una planta submarina de doble reactor, y una pequeña planta para un submarino "hunter-killer". Todos usarían reactores de agua a presión. Por lo tanto, se llevo a cabo un gran desarrollo en la propulsión nuclear estaba en marcha en el momento en que el *Nautilus* se hizo a la mar. La Marina había considerado anteriormente una turbina de gas para la planta de un tercer submarino nuclear. La complejidad de la planta que se llevó a cabo fue discutida en una etapa temprana. Por el contrario, el tercer submarino nuclear de EE.UU., el *Skate* (SSN 578), tendría una planta derivada de la STR/S2W del *Nautilus*.

5.3. La clase Skate



Imagen 9: submarino Skate realizando pruebas de mar en aguas someras, hacia principios de 1958. Fuente:http://www.vetfriends.com/militarypics/large.cfm?picture=14672 (8-3-2013)

El tamaño y el coste del *Nautilus* y *Seawolf* fueron considerados demasiado elevados para la producción en serie. La solución fue rediseñar el diseño de la clase de submarinos *Tang*, usando una planta de reactor más pequeño con la consiguiente reducción de velocidad. Sin embargo, el casco necesitaba un gran diámetro para el reactor y su blindaje, lo que da como resultado un submarino más grande. Estas reducidas y simplificadas plantas STR/S2W, las dos primeras fueron designados S3W y las dos siguientes S4W, ya que tenía algunas variaciones.

El *Skate* mantuvo el diseño del casco del *Type XXI*. Al igual que el *Tang* (y *Type XXI*), el nuevo SSN tendría una BQR-2 sonar, así como el SQS-4 sonar de exploración activo. Además el *Skate* tenía seis tubos lanza torpedos, mientras que en popa tenía dos tubos de torpedos más cortos para lanzar torpedos contra los destructores enemigos que persiguieran el submarino. Un total de 22 torpedos podrían ser cargados en el buque. El diseño del *Skate* fue principalmente completado antes de que el *Nautilus* se hiciese a la mar, y en cuestión de seis meses a partir de que se hiciera a la mar el *Nautilus*, el 18 de julio de 1955, el *Skate* y su barco gemelo *Swordfish* (SSN 579) fue ordenada su construcción.

Dos meses más tarde, otro par de submarinos eran ordenados, el *Sargo* (SSN 383) y el *Seadragon* (SSN 384). Antes de que terminara el año dos nuevos submarinos nucleares se ordenaron el *Skipiack* (585) de alta velocidad y el gigante *Tritón* (SSRN 586). La Marina norteamericana se centró de lleno en los submarinos el mismo año que el *Nautilus* se hizo a la mar. Electric Boat diseñó y construyó el *Skate,* además de otro tipo de submarino, el *Seadragon*. El submarino *Swordfish* se solicitó desde Portsmouth, marcando así la construcción continuada de submarinos nucleares por parte de Estados Unidos, mientras se construiría también el *Sargo* en los astilleros de Mare Island (California).

La puesta en grada del submarino USS Skate fue el 23 de diciembre de 1957, junto con tres submarinos gemelos a este, terminando los cuatro entre 1958-1959. Pronto estuvieron disponibles para ayudar a desarrollar tácticas nucleares submarinas y comenzar los habituales despliegues en el extranjero. El Skate llevó a cabo travesías bajo el hielo en julio de 1958. Al mes siguiente, el Skate se encontraba en el Polo Norte cuando el Nautilus emprendió la épica travesía navegando desde Hawái hasta el atlántico a través del Polo Norte. Según el comandante James Calvert, el Skate llegó a la cima del mundo el 11 de agosto de 1958. Aunque incapaz de emerger a la superficie en el Polo Norte debido a la capa de hielo, pero aún así en las zonas donde no había tanto grosor el Skate salió a la superficie hasta en nueve ocasiones durante los diez días que duraron las operaciones bajo el hielo.

Posteriormente navegaron bajo el hielo durante la temporada de invierno, el 17 de marzo de 1959, el Skate salió a la superficie en el polo habiendo estado los 12 días operando bajo el hielo. Durante unos años los cuatro submarinos de la clase Skate, se dedicaron en gran medida a la investigación y la cartografía del fondo marino del Ártico. El Ártico fue para las tripulaciones de los submarinos una zona muy ardua donde operar.

La región del Ártico abarca 8,5 millones de km cuadrados de océano, prácticamente el mismo tamaño de Estados Unidos, la mayoría del territorio está cubierto de hielo. La extensión del hielo varía considerablemente con la temporada. Algunas zonas eran muy poco profundas, aunque existen grandes áreas donde hay una profundidad de más de 1.830 metros. Los submarinos, para operar en superficie, la mayoría de las veces tenían que romper el hielo de un grosor de 1,8 metros hasta un máximo de 6,1 metros de grosor que podían llegar a romper para emerger. Algunos grosores se han observado que median casi 50 metros. Algunos submarinos en el Ártico transitaron sólo a 7,6 metros por encima del mar y con 2,1 metros entre la parte superior de la estructura y el punto más bajo de la capa de hielo.

Las condiciones acústicas varían mucho en el Ártico. A veces era muy tranquilo, pero cuando soplaba el viento el hielo empezaba a moverse, estos movimientos provocaban vibraciones que dificultaban estas operaciones. La eficacia acústica

también se veía afectada por la baja salinidad en la zona, así como por los remolinos de las corrientes cálidas y frías que complicaban aún más las condiciones acústicas.



Imagen 10: el Skate en una de sus travesías al poco tiempo de entrar a formar parte de la marina estadounidense, bajo el hielo, donde observamos que el submarino acaba de romper la capa de hielo de la superficie para emerger. Fuente: http://volgagermanbrit.us/showmedia.php?mediaID=167&medialinkID=217 (8-3-2013)

Las operaciones de los SSN bajo el hielo pronto se convertirían en un factor significativo en la lucha contra las operaciones estratégicas de misiles submarinos. Al mismo tiempo, estas operaciones árticas para la Marina de los EE.UU., se realizaron con el objetivo de una operación de lanzamiento de misiles submarinos bajo el hielo del Ártico, un concepto que nunca se realizó.

Otro submarino de la clase Skate, el *Sargo*, poco después de haber salido de los astilleros, en 21 de octubre 1958 torpedeó y hundió un buque cerca de las islas hawaianas. Esta fue la primera nave, con propulsión nuclear, que hundió un barco, el *Chittenden Country* cerca de las islas Hawái. El *Sargo* también sufrió uno de los primeros accidentes de los submarinos nucleares, cuando, junto al muelle en Pearl Harbor el 14 de junio de 1960, un incendio por oxígeno provocó un estallido en su compartimiento de popa. Sólo podía ser extinguido por inmersión de la nave y la inundación del espacio, un tripulante murió.

La construcción convencional de los SSN, basada en gran medida en el diseño del *Type XXI*, terminó con el cuarto submarino de la clase *Skate.* El cuarto *Skate* fue

seguido por una clase de submarinos de ataque muy diferentes de los SSN anteriores, esta fue la clase *Skipjack*.

5.4. Misiones Especiales Submarinas

Los proyectos de submarinos nucleares el *Tritón* y el *Halibut,* aún se consideran de la primera generación de submarinos nucleares. Los estudios de una planta de energía mejorada se iniciaron en 1951, antes de la construcción del *Nautilus*. Comenzó con énfasis en la alta velocidad y máxima fiabilidad de operaciones. Desde el principio se eligió un diseño de dos reactores para satisfacer estos criterios. Además de considerar el agua a presión (*Nautilus*) y el sodio (*Seawolf*) como fluido de transferencia de frío/calor, el equipo de Rickover examinó las sales fundidas, hidrocarburos, litio, potasio, y diversos gases y uno por uno estos refrigerantes se fueron descartando por razones técnicas. A finales de 1953, después de seis meses de funcionamiento con la experiencia en tierra del prototipo STR/S1W, se tomó la decisión de proceder con agua a presión. La complejidad dada por la idea de integrar en un submarino dos reactores hizo que fuera necesario un prototipo en tierra, la planta S3G se construyó en West Milton, Nueva York. El S4G similar al prototipo S3G se instaló en el submarino.

Con Rickover ejerciendo su influencia en el Congreso, se consiguió que en el año 1956 el programa de construcción naval, incluida la financiación del submarino SSRN con velocidad de superficie alta y con radar. La idea de incorporar un radar en la torreta de los submarinos, fue debido a las últimas etapas de la Segunda Guerra Mundial, cuando camicaces japoneses atacaron y hundieron numerosos destructores estadounidenses, el radar proporcionaría la alerta temprana de ataques aéreos contra las fuerzas de portaaviones y anfibios. El SSR se sumergiría para escapar del ataque después de proporcionar la alerta de ataques aéreos.

Aún cuando el Tritón estaba siendo construido por Electric Boat en octubre de 1955, el concepto de SSR estaba siendo superado por la tecnología. Las bases terrestres de aviones y las bases en portaaviones, podían proporcionar mayor alcance y cobertura de radar de lo que podría proporcionar un submarino. Algunos submarinos convencionales SSR se mantuvieron en servicio después de la década de los 50, siendo usados para llevar a cabo programas de misiles guiados como el programa Regulus.

Rickover justificaba, la continuación del proyecto *Triton, de la siguiente manera*: "*La importancia del Triton va más allá de la tarea específica militar que le ha sido asignada al Triton, en sus operaciones se pondrá a prueba un tipo avanzado de planta de propulsión nuclear y allanará el camino para las naves capitales sumergibles del futuro".*

Un oficial de la Marina estadounidense perceptivo, el almirante I. J. (Pete) Galantin, que no estaba de acuerdo con la propulsión nuclear, escribió a mediados de la

década de los 50, junto con Milton Shaw, miembro importante del personal de Rickover, lo siguiente:

"A pesar del éxito demostrado por el Nautilus y los planes para continuar con un único reactor, en la clase Skate, dijo, Rickover que compartía la inquietud de ingenieros, de alto nivel de la comunidad de desarrollo de los reactores, sobre la dependencia de un único reactor. Uno de los factores que les hacían dudar, eran las dificultades que atravesaba el metal líquido refrigerador de la planta prototipo del reactor diseñado para el Seawolf, y muchos otros programas de reactores AEC. Durante esta etapa pionera, el conocimiento científico y la teoría no llegó a ser lo suficiente, para superar la tremenda preocupación acerca de las incógnitas que puedan surgir en la ingeniería y operación de reactores".

La Marina de los EE.UU. podría construir en una sola planta dos reactores submarinos, el S4G utilizado en el Tritón.

El Capitán Edward L. Beach, consejero naval del Presidente Eisenhower, fue quien se convertiría en el primer oficial al mando de la *Triton*, observó más tarde que Rickover era siempre el ingeniero referente. Para él, el *Triton* de dos reactores fue mucho más importante que el submarino *George Washington (SSBN 598)* y el *Skipjack*, a pesar de todas las excentricidades que G.W. tuvo. "*Teníamos, por supuesto, una planta en un buque de superficie ... y es ahora que estamos con el prototipo de las plantas de buques de superficie múltiples, en fase de diseño".*

El *Triton,* también sería el submarino más grande del mundo cuando fue terminado en 1959. Hasta entonces el submarino de mayor eslora había sido el submarino japonés *I-400*[8]*.* El Tritón era más largo, con una cilindrada ligeramente superior a los submarinos nucleares ya construidos, tenía una eslora de 136,4 metros de largo, 5.662 toneladas desplazadas en la superficie y 8.500 toneladas sumergido.

El *Triton* tenía una modificación con respecto al casco del submarino *Tipo XXI*, optimizado para las operación en superficie. De hecho, era el único submarino de propulsión nuclear del mundo en ser diseñado con la misma velocidad tanto en superficie como sumergido, alcanzando los 28 nudos. En el mar, según el capitán Beach, el Tritón era "un poco más rápido en superficie que sumergido, aunque era capaz de navegar a más de 30 nudos en cualquiera de estas condiciones, así se superaban ligeramente los parámetros de funcionalidad impuestos (esto quiere decir que un submarino podía rendir al 110%, saliéndose así de su funcionalidad establecida en el diseño). Esto fue puesto en práctica, con la aprobación Rickover y estando este a bordo, en las pruebas de mar iniciales, el 27 de Septiembre de 1959.

[8] Se trata de los últimos submarinos japoneses de la segunda guerra mundial, estos tenían la particularidad de que además de ser los más grandes en aquel entonces, eran capaces de albergar en su cubierta hasta 6 aviones plegados.



Imagen 11: en la foto podemos observa al submarino "gigante" Triton, en una de sus primeras travesías desplazándose a una velocidad considerable.
Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:USS_Triton_SSN586.jpg (8-3-2013)

La planta de dos reactores producía 45.000 caballos de fuerza, la diferencia entre la etapa caliente y la etapa fría del refrigerante primario, se incrementó. Beach creía que la planta podría haber llegado a 60.000 caballos de fuerza.

El gigante *Triton* conservaba una configuración clásica de doble casco, con una reserva de flotabilidad de un 30 por ciento. El buque contaba con diez compartimientos: el compartimiento de proa que tenía cuatro tubos de torpedos (había otros dos tubos de popa, con un total de 12 torpedos podían ser cargados en el buque); compartimiento de la tripulación; compartimiento operaciones; compartimento de oficiales; compartimento de control de aire; dos compartimentos de reactores; compartimento 1 (turbina); compartimiento de maquinaria auxiliar y compartimento 2 del motor, en la popa. Hacia la mitad de la eslora el buque contaba con tres puentes.

La embarcación, era más grande que cualquier submarino de EE.UU. tanto en altura como en longitud, contenía una pequeña torre de mando (compartimiento) en la torreta. La enorme embarcación estaba provista con un radar de búsqueda aéreo AN/SPS-26. Fue la primera con lectura óptica con un radar tridimensional, empleando análisis de frecuencia para la elevación. Podía hacer el seguimiento de un avión de alto vuelo en un radio de 120 kilómetros y en altitud 22,866 kilómetros. Pero, este radar tenía una fiabilidad muy baja. La antena del radar y el cilindro de elevación masiva ocupaban mucho volumen en la embarcación, para guardar el radar, SPS-26, se tenía que girar la antena 90º con respecto a la línea central y totalmente plegado dentro de la estructura de la torreta del submarino. Por lo que, de este radar se dijo lo siguiente: "*raramente ha sido útil su uso, o se ha tenido la oportunidad de usarlo. Casi todas sus*

horas de funcionamiento se emplean en pruebas de rutina para mantener su funcionamiento."

Incluso antes de que Tritón fuera lanzado, el 19 de agosto de 1958, las discrepancias seguían entorno a la inversión de 109 millones de dólares por cada submarino. Cuatro meses antes, la Marina había anunciado dejar fuera de servicio a la mitad de submarinos con radares. Los otros cinco submarinos estarían construidos en breve. A pesar de las crisis sucesivas en el Líbano y el Estrecho de Taiwán, retrasando la jubilación del SSN, el fin del concepto de SSR estaba a la vista.

La esposa del presidente, la señora Mamie Eisenhower, bautizó al submarino como *Tritón*. El *Triton* fue construido por Electric Boat, siendo terminado con cierto retraso. Durante 1958-1959, el énfasis estaba en los submarinos *Polaris*. El *Triton* iba a ser puesto en servicio en agosto de 1959, pero ni siquiera se pusieron en marcha las pruebas de mar hasta el 27 de septiembre. Así su puesta en servicio, fue para el 10 de noviembre de 1959. El submarino nunca serviría a la Marina como un radar, y su vida operacional iba a ser corta. En su intervención, en la puesta en servicio, el vicealmirante Bernard L. Austin, Adjunto de Planes y Política en el CNO, expuso un punto de vista positivo sobre el submarino:

"Esta nave tendrá la oportunidad, de demostrar la viabilidad de los submarinos de gran tamaño. Su experiencia podría señalar el camino para el curso futuro de la ciencia naval. Como el mayor submarino jamás construido, su rendimiento será seguido con atención por los diseñadores y planificadores navales de todo el mundo.

Durante muchos años los estrategas especulaban con la posibilidad de petroleros, buques de carga y medios de transporte que puedan navegar bajo el agua. Algunos de los soñadores más futuristas han hablado de flotas enteras que se sumerjan. El Triton es una empresa que se aventura en este incierto futuro."

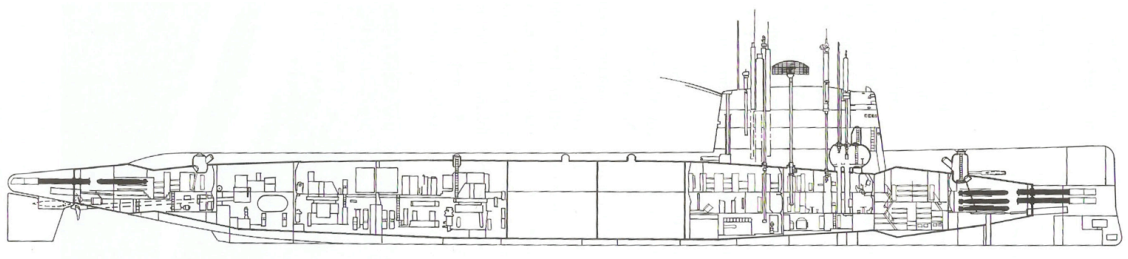


Imagen 12: esquema del submarino Triton. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

A finales de enero de 1960, los trabajadores de Electric Boat concluían los "toques finales" del *Tritón*, y el capitán Beach recibió la orden de una reunión secreta en Washington para el 4 de febrero. Allí fue informado de que el Tritón iba a ser enviado a dar la vuelta al mundo, siguiendo el rumbo de los barcos de Fernando de Magallanes (1519-1522). En este viaje se hicieron importantes contribuciones a la investigación geofísica y oceanografía, ayudó a determinar los problemas de las

operaciones de larga duración, importantes para el programa de submarinos Polaris. Sin embargo, las travesías del Polo Norte del *Nautilus* y del *Skate*, o alrededor del mundo con el *Triton,* se usaban como un medio para demostrar la excelencia tecnológica de EE.UU., frente a los continuos éxitos espaciales soviéticos. El viaje de alto secreto tendría el nombre-código "*Sandblast*", *Sand*, por supuesto, al referirse al comandante *Beach*.

Al igual que las travesías del Ártico, una vuelta al mundo-viaje sería una demostración espectacular de las capacidades de los submarinos nucleares. Menos de dos semanas después de la puesta en servicio, el 16 de febrero de 1960, el *Tritón* salió de New London, con 184 tripulantes entre oficiales, suboficiales y técnicos civiles a bordo. El *Triton* fue obligado emerger a la superficie el 5 de marzo para permitir que un marinero gravemente enfermo, con cálculos renales, fuera evacuado en Montevideo, siendo transferido al U.S. *Macon,* una fragata de la Marina norteamericana. El submarino entonces en el Cabo de Hornos, navegó a través de los océanos Pacífico e Índico, dobló el cabo de Buena Esperanza, y navegó hacia el norte. El 2 de mayo, Beach tuvo que emerger de nuevo frente a las costas de Cádiz para tomar a bordo dos oficiales de un destructor de EE.UU. Durante la travesía, el *Triton* fue capaz de mantener la recepción de radio continua a través del uso de un cable flotador que albergaba la antena.

El *Triton* emergió a la superficie, por primera vez en 83 días y 19 horas, el 10 de mayo, frente a la costa de Delaware. Un helicóptero trasladó al capitán Beach desde el submarino a Washington, donde, en una ceremonia en la Casa Blanca, el presidente Eisenhower, reveló el viaje alrededor del mudo. Beach fue trasladado de nuevo al *Triton,* así a la mañana siguiente el capitán Beach se encontraba a bordo, cuando el submarino atracó en New London, Connecticut. El *Triton* había viajado 66.669 kilómetros sumergido. Los logros del Tritón, sin embargo, fueron eclipsados en las noticias por el derribo de un avión espía U-2 sobre la Unión Soviética, el 1 de mayo. Posteriormente, el Triton llevó a cabo operaciones de rutina. Sin darle demasiada importancia, su designación fue cambiada a SSN, submarinos de ataque, el 1 de marzo de 1961. Sin embargo, el Tritón era demasiado grande, para los pocos torpedos que llevaba a bordo, y resultaba demasiado caro mantenerlo operativo y que sirviera efectivamente como un SSN. (El SPS-26 radar no se eliminó.)

Ya en 1958, mientras que el *Triton* todavía estaba en construcción, hubo propuestas para emplear el submarino en otros roles además del rol de hacer útil el radar. El teniente comandante Walter Dedrick, que se convertiría en el primer oficial al mando del submarino de misiles *Halibut*, propuso cuatro posibles funciones para el *Triton* en un documento oficial que se le hizo llegar al comandante Beach.

Ninguna de las misiones propuestas, finalmente se llevaron a cabo ni tampoco otras posteriores. El Tritón quedo como una nave de comando de emergencia de alto nivel o un barco de rescate bajo el hielo de otros submarinos nucleares. También tenía

encomendada la misión de buque de mando, para cuando hubiera peligro de un conflicto nuclear, el Estado Mayor, el conjunto de Estados e incluso el Presidente y otros altos funcionarios civiles serían trasladados en helicóptero al *Triton*. (A principios de 1960 la Armada modificó un buque de la Marina y un portaaviones ligero de emergencia para el uso presidencial en caso de conflicto nuclear.)

Para los ingenieros navales, el mayor problema era conseguir un submarino nuclear que no quedase imposibilitado bajo el hielo del Ártico, el *Triton* de doble reactor y 34.000 caballos de fuerza, hizo que su planta de propulsión fuera la más poderosa. En el caso de que un submarino nuclear se quedase incapacitado bajo el hielo, el *Triton* podría facilitar piezas de repuesto y buzos para hacer las reparaciones, si fuera necesario. El *Triton* también podría servir como un remolcador de la embarcación con discapacidad. A petición de Beach, los planos de construcción se elaboraron para esta modificación, que, a su juicio, "habría sido fácil y barata."

En el evento, el Triton continuó operando con capacidad SSN limitada para los próximos años hasta ser desarmado el 29 de marzo de 1969. Era el segundo submarino nuclear del mundo el cual era dado de baja, después de haber sido el soviético K-27 el primero submarino nuclear dado de baja.

El Tritón, superado por los acontecimientos, fue construido con el propósito equivocado, en el momento equivocado. Su valor como barco de desarrollo para los buques de superficie era pequeña, así como su papel en la maduración de grandes conceptos submarinos. Si el submarino fue un "fracaso", también lo fue el programa del submarino nuclear de los EE.UU.

En mayo de 1960, cuando el submarino *Triton* completó más de 83 días sin emerger a la superficie, la Marina de los EE.UU. tenía en proyecto 11 submarinos de propulsión nuclear otros 17 en construcción. Fue un momento en el que la Marina norteamericana estaba muy por delante de la Marina Soviética en la producción de submarinos nucleares. La inteligencia estadounidense demostró que además los diseños soviéticos estaban muy por debajo de los submarinos americanos.

5.5. Resumen

La Marina de EE.UU. había mostrado interés en la posibilidad de construir submarinos de propulsión nuclear en 1939. Durante la Segunda Guerra Mundial el interés se mantuvo vivo por el general Leslie Groves, director del proyecto de la bomba atómica. En la inmediata posguerra se realizaron propuestas para submarinos nucleares, aunque simplistas, se demostró el interés continuo en los buques de este tipo en todos los niveles de la Marina.

En la década de 1950, contando con soluciones a los problemas, que se habían presentado anteriormente y que la ingeniería resolvió, la construcción del *USS Nautilus* comenzó con gran publicidad nacional y alboroto. El *Nautilus* se hizo a la mar en 1955, la producción de submarinos SSN fue iniciada por la Marina americana. La Marina investigó con el submarino *Triton,* este fue el primer submarino que albergase un radar para evitar los ataques aéreos, este submarino el *Triton,* fue el submarino más grande, jamás construido, su construcción fue también para demostrar la viabilidad de un submarino de doble reactor. Poco a poco Rickover fue tomando el control del programa de propulsión nuclear de la Marina. Aunque el *Triton* era una plataforma de prueba muy valiosa para una planta de dos reactores, el *Triton* no tenía un propósito definido, por ello el submarino tuvo un corto servicio en la Marina (1958-1969)

Rickover, era el director técnico, pero no tomaba las decisiones en el desarrollo de las primeras "armas nucleares", fue la clave para asegurar que los submarinos nucleares de Estados Unidos serían relativamente seguros y gozarían de un alto grado de apoyo del Congreso. Estas fueron las dos cuestiones más críticas en el éxito del programa de submarinos nucleares en los Estados Unidos. Los proyectos, en la década de 1950, estaban siendo desplazados a los astilleros de Portsmouth y Electric Boat de *Bereau of Ships* en Washington, DC. *The Naval Reactors Branch of the Atomic Energy Commission*, conocido como "NR", y *BuShips* que se hicieron cada vez más poderosos, teniendo gran influencia en todos los aspectos del submarino nuclear en cuanto a diseño y construcción.

La entrada de EE.UU. en la propulsión nuclear fue meditada, analizada y sobre todo cautelosa.

Tabla 3: comparación entre los primeros submarinos nucleares americanos y el primero soviético

	U.S. Nautilus	*U.S. Skate*	*U.S. Triton*	*Proyecto 627/ November (Soviético)*
En servicio desde	1955	1957	1959	1958
Desplazamiento:				
Superficie	3.180 t	2.550 t	5.662 t	3.087 t
Sumergido	3.500 t	2.848 t	7.781 t	3.986 t
Eslora	98.7 m	81.6 m	136.4 m	107.4 m
Manga	8.46 m	7.62 m	11.26 m	7.96 m
Calado	6.68 m	6.25 m	7.16 m	6.42 m
Reactor	1 STR/S2W	1 S2W/S4W	2 S4G	2 MV-A
Turbinas	2	2	2	2
potencia	13.400 HP	7.300 HP	34.000 HP	35.000 HP
Hélices	2	2	2	2
Nudos				
en superficie	22	15.5	28	15.5
en inmersión	23.3	18	28	30
Profundidad máxima	213 m	213 m	213 m	300 m
Tubos de torpedos totales (proa y popa)	6 tubos de 533 mm B	6 tubos de 533mm B; 8 tubos de 533mm S	4 tubos de 533mm B; 2 tubos de 533mm S	8 tubos de 533mm B
Torpedos totales	26	22	12	20
Tripulación	104	95	180	110

6. Primera generación de submarinos nucleares soviéticos



Imagen 13: primer submarino soviético, del Proyecto 627/ November, a esta unidad se le denominó K-3, entre finales de la década de los 50 y principios de los 60 se construyeron 14 unidades del mismo proyecto, estando activas hasta la caída del comunismo.
Fuente:http://korabley.net/news/pervaja_atomnaja_podvodnaja_lodka_sovetskogo_sojuza_proekta_627_k_3_shifr_kit/ 2009-10-13-386 (9-3-2013)

Los científicos soviéticos comenzaron a considerar la posibilidad de realizar buques con propulsión nuclear poco después de la Segunda Guerra Mundial. Estos habían estado llevando a cabo investigaciones en el campo nuclear desde 1932, y en 1940 la Academia de Ciencias de la URSS, estableció un comité de investigación para abordar el "problema del uranio", incluyendo los posibles resultados de la fisión nuclear. La invasión alemana de la Unión Soviética en junio de 1941, redujo la capacidad de la investigación nuclear[9], sobre todo con la evacuación hacia el Este, lejos de la batallas, de los laboratorios, que habían estado llevando a cabo la investigación en física nuclear de Leningrado y Kiev.

A principios de la guerra, los principales científicos nucleares de la Unión Soviética, como I.V. Kurchatov y A.P. Aleksandrov, trabajaron principalmente en la protección de los buques contra las minas magnéticas en el Instituto Físico-Técnico de Leningrado. Posteriormente, Kurchatov fue a Sebastopol y Aleksandrov a la Flota del Norte para trabajar en la lucha contra las minas. Sin embargo, el líder soviético, Josef Stalin, el 11 de febrero de 1943, firmó una resolución por la que se iniciaba el trabajo sobre el programa de armas nucleares, y ambos Kurchatov y Aleksandrov recibieron la orden de reanudar sus actividades de investigación nuclear en Moscú. En ese momento el gobierno soviético estaba al tanto de los programas de la bomba atómica en los Estados Unidos, así como en Alemania.

[9] No olvidemos que en la segunda guerra mundial, las tropas alemanas conquistaron todo lo que son hoy día los países ex-soviéticos como Bielorrusia, Ucrania, Moldavia... etc. Por esto, los laboratorios que se encontraban en esas zonas no pudieron seguir con su labor.

Bajo la dirección de Kurchatov, los científicos e ingenieros fueron retirados de los frentes militares, de otros centros de investigación y de la industria, para trabajar en una bomba atómica. Este esfuerzo de guerra se encontraba bajo la supervisión general de Lavrenti Beria, el jefe de la seguridad del Estado, incluido el NKVD (Comisionado del Pueblo para Asuntos Internos) y uno de los principales lugartenientes de Stalin. Tres meses después de los bombardeos atómicos de Japón, el 6 de noviembre de 1945, en el aniversario de la Revolución de Octubre, el comisario de Asuntos Exteriores, Vlachyslav M. Molotov y Stalin declararon públicamente:

> *"Debemos igualar los logros de la tecnología moderna del mundo, en todas las ramas de la industria y crear las condiciones para el avance más grande posible de la ciencia y la tecnología soviética....Vamos a tener la energía atómica, y mucho más".*

En 1946 a P.L. Kapitsa, un físico de renombre internacional, se le propuso trabajar en el estudio de la propulsión nuclear de buques. Kapitsa, director del Instituto de Problemas de Física, no estuvo, anteriormente, involucrado en asuntos nucleares, por haberse negado a trabajar en proyectos de armas. Cuando Beria se enteró de su interés en la propulsión nuclear, ordenó el cese de todas esas actividades. Kapitsa dirigio su atención al combustible nuclear de procesamiento, ya que mantenía su negativa a trabajar en la investigación sobre armamento. Stalin lo alejó de su trabajo en el instituto, y Aleksandrov fue nombrado director en su lugar. Kapitsa fue devuelto a su cargo tras la muerte de Stalin.

Aleksandrov, asumió la cuestión de la propulsión nuclear en 1948. Pero Beria exigió una vez más que todos los esfuerzos en la investigación nuclear debían ir dirigidos hacia el desarrollo de armas. La primera bomba nuclear soviética fue detonada el 29 de agosto de 1949 (cuatro años después de que la primer bomba nuclear americana fuera detonada). Para entonces Beria y otros líderes soviéticos estaban buscando medios para lanzar armas nucleares contra los Estados Unidos. Varios programas a largo plazo de bombarderos estaban en marcha y al igual que diferentes programas de misiles.

De 1949 a 1950, se iniciaron los trabajos para el desarrollo de un torpedo nuclear, que pudiera ser lanzado desde un submarino. Fueron los orígenes del torpedo T-15, este fue la primera arma nuclear empleada por la Armada Soviética, siendo atribuido este proyecto al capitán Rank V. I. Alferov en Arzamas. Este fue uno de los proyectos más ambiciosos de armas submarinas jamás emprendidos, siendo concebido como un arma de ataque estratégico, para ser usado contra las grandes bases navales occidentales como Gibraltar o Pearl Harbor. Las ciudades occidentales se consideraron demasiado lejos de la costa o se esperaban que estuvieran bien protegidas. El submarino llevaba un T-15, que saldría a la superficie inmediatamente al ser lanzado,

mediante el uso de radar, se determinaría la ubicación exacta del blanco y de los puntos de referencia de la costa. El torpedo cargaba con una ojiva termonuclear y podía alcanzar el blanco a una distancia de 30 millas.

El T-15 tenía un diámetro de poco más 1.550 mm y una longitud de aproximadamente 23,5 m. El misil submarino de 40 toneladas se lanzaba a al objetivo con una batería de motor eléctrico, proporcionando una velocidad submarina de 30 nudos.

Obviamente, un nuevo submarino tendría que ser diseñado para llevar el torpedo, y ese submarino solo podría albergar un torpedo T-15. Las largas distancias que el submarino tendría que navegar sumergido hacía que la propulsión del dicha submarino tuviera que ser obligatoriamente nuclear. En 1947 el profesor Boris M. Malinin, decano de diseño de submarinos soviéticos, abordó el concepto de submarinos de propulsión nuclear:

"Un submarino debe convertirse en un barco bajo el agua en el pleno sentido de la palabra. Esto significa que debe pasar el mayor tiempo posible de la patrulla bajo del agua, y aparecer en la en la superficie del mar sólo en circunstancias excepcionales. El submarino seguirá siendo el arma más formidable en la guerra naval. Si se consiguiera, en un futuro cercano, llevar a cabo la aparición de los motores de alto rendimiento, impulsados por energía nuclear, podríamos hablar de estos submarinos, por tanto el desarrollo de los submarinos no debe de ser otro que alcanzar dicho futuro."

En el otoño de 1952, el dictador soviético Josef Stalin aprobó formalmente la creación de un submarino de propulsión nuclear. Su decisión se produjo pocas semanas después de una reunión secreta con Aleksandrov. La reunión fue el resultado de una carta que Aleksandrov y Kurchatov habían escrito a Stalin, esta trataba sobre la investigación que sugiere la viabilidad de este tipo de embarcaciones. El 9 de septiembre de 1952 el Consejo de Ministros stalinista aprobó una resolución para el desarrollo de un submarino nuclear.

El submarino debía ser capaz de cargar un solo torpedo T-15. Además del tubo de lanzamiento del T-15, para la defensa del submarino tendría dos tubos lanzatorpedos de 533-mm, sin recargas.

El diseño del submarino, denominado proyecto 627, comenzó en septiembre de 1952 en el Instituto de Investigación de Construcción de Maquinaria Química (NII-8), allí se debería diseñar un reactor nuclear para el submarino. En marzo el SKB-143, la oficina de diseños especiales, se reorganizó bajo el mando del capitán Rank Vladimir N. Peregudov y le fue encomendada la responsabilidad del diseño de submarinos nucleares. Varios cientos de ingenieros y personal de apoyo de otras instituciones y agencias fueron asignados al SKB-143.

Peregudov fue informado de que el proyecto del submarino nuclear había sido aprobado en el otoño de 1952, en una reunión en el Kremlin con Viatcheslav Malychev, vicepresidente del Consejo de Ministros de la URSS, uno de los hombres más poderosos del país. Pocos eran los trabajadores de la marina de guerra que trabajaba en el diseño; Peregudov fue una de las pocas excepciones, especialista en ingeniería, Peregudov fue un protegido de Malinin. Había trabajado en el diseño de submarinos desde 1927 y había sido el jefe de diseño inicial del proyecto 613/Whiskey (submarino diésel-eléctrico).

Peregudov y Malinin habían discutido la posibilidad de propulsión nuclear en 1949. Como jefe de diseño del proyecto 627, Peregudov era el responsable ante el Ministerio de Construcción de Maquinaria Media. A las altas esferas de la Armada no se le proporcionó información sobre el proyecto, que se consideró de alto secreto.

N. A. Dollazhal estaría a cargo del diseño del reactor para el submarino, bajo la dirección de Aleksandrov, director del Instituto de Energía Nuclear, y G.A. Gasanov tendría que diseñar y construir los generadores de vapor. Así a Peregudov, Dollazhal y Gasanov se les confió la dirección del Proyecto 627 y su planta de propulsión. Dollazhal nunca antes había visto un submarino; Peregudov no sabía nada de la física nuclear. Su capacidad para hablar con los expertos fue severamente limitada por las normas de seguridad. A los diseñadores se les instó reiteradamente que no podrían hablar entre ellos a menos que no fuera absolutamente necesario. Vladimir Barantsev del SKB-143 afirmó lo siguiente:

"Nunca me dijeron oficialmente lo que estábamos diseñando. Tuve que adivinarlo yo. Yo no sabía a lo que estábamos comprometidos. La palabra reactor nunca fue pronunciada en voz alta. Al reactor se le denominó cristalizador y me llevó alrededor de tres o cuatro meses para entender qué tipo de submarino estábamos diseñando.... Cuando miré los dibujos y vi las dimensiones del eje de propulsión adiviné todo, pero me aconsejaron no hablar de ello con los demás."

Fueron varios los tipos de reactores que se consideraron, con diferentes fluidos de intercambio de calor, como son el: uranio-grafito, óxido de berilio, de metal líquido (plomo-bismuto), y agua a presión. El reactor de agua fue seleccionado, aunque, como en los Estados Unidos, el metal líquido también se tomó en cuenta. El agua a presión requiere menos tiempo de desarrollo y tenía menor riesgo tecnológico. Un prototipo del reactor, que sería instalado en el submarino fue construido en Obninsk, cerca de Moscú, de la misma manera que la planta prototipo de la *Nautilus* (SSN 571) se instaló en Arco, Idaho.

La instalación en Obninsk, consistió en tres compartimentos; un reactor único, la turbina, y los intercambiadores de calor asociados, además de las bombas y equipos

relacionados con el eje de la hélice. El día 8 de marzo de 1956, el almirante Pavel Kotov G. recordó así éxito del proyecto:

"Cuando el reactor se puso a prueba, lo indicado era una velocidad de 30 nudos, una velocidad que podría continuar indefinidamente. Se podría navegar de tal manera que un buque que no tendría que salir a la superficie y sólo salir por cuestiones innecesarias. Sabíamos que se podría alcanzar no sólo Inglaterra, sino que además podría llegar a América sin salir a la superficie y volver a puerto."

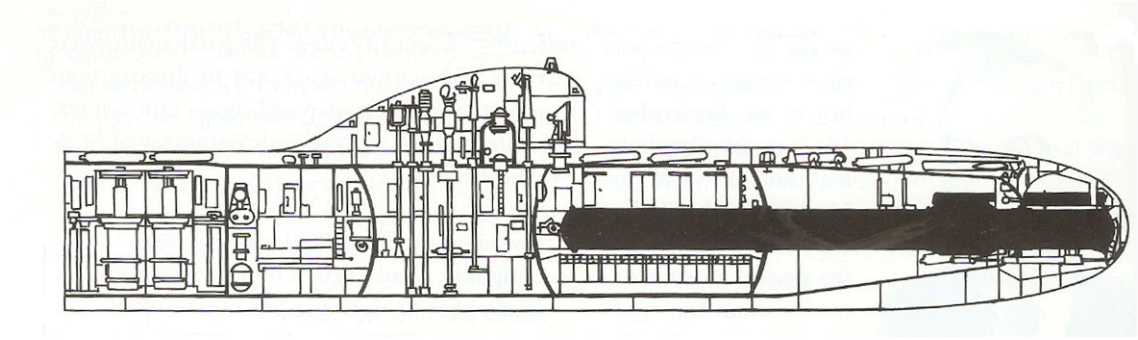


Imagen 14: esquema del primer diseño del proyecto 627/November, donde observamos claramente el T-15. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

El Proyecto 627, llamado K-3 presentaba un nuevo diseño del casco. Mientras que el *Nautilus* tenía un configuración modificada del submarino alemán Type XXI, el proyecto 627 tenía una forma del casco totalmente innovadora para aprovechar al máximo el poder de su reactor, este nuevo modelo fue diseñado por Peregudov, este argumentó que el submarino debía tener una forma similar a la de un torpedo, para llegar a este conclusión, este nuevo modelo tuvo que pasar por varias pruebas, por lo que el diseño del casco había sido extensamente probado en el túnel del viento.

El casco del proyecto 627, se diseñó en base al submarino estadounidense *Albacore* (SS 569). "Teníamos detalles del *Albacore* de fotos de revistas", según el equipo soviético de ingenieros. El K-3 se caracterizaba por su longitud y por sus líneas elegantes del casco exterior que se funden abajo, hasta la línea de flotación de la estructura, a este diseño se le conoció como el diseño "limusina". A popa, Peregudov mantuvo la configuración del alemán Type XXI (que había sido rechazado por los diseñadores estadounidenses para el *Nautilus*). El K-3 contó con un timón de popa único, un doble eje de hélices que penetra a través de los estabilizadores horizontales e inmediatamente después de los ejes, unos planos de inmersión en la eslora a ambos lados.

La configuración clásica de doble casco se mantuvo, proporcionando una reserva de flotabilidad de aproximadamente un 30 por ciento, el doble que la del *Nautilus*. Los soviéticos presumían de la "insumergibilidad en la superficie" del proyecto 627, mediante el uso de doble casco, la alta reserva de flotabilidad y los mamparos de presión interna. Esto significaba que el submarino podía mantenerse a

flote con cualquier compartimiento inundado y la pérdida de dos tanques de lastre adyacentes. Esta característica tiene una gran importancia en los accidentes submarinos, lo que permite a los submarinos dañados bajo el agua regresar a la superficie. El diseño del proyecto 627 tuvo nueve compartimentos, tres más que el *Nautilus*: compartimento de torpedos (proa), batería/tripulación, puente de gobierno, oficiales, reactor, turbina, dos compartimientos de máquinas y el compartimiento de popa.

El compartimento del reactor se situaba en la mitad de la eslora del buque, contenía dos VM-A reactores, cada uno proporcionaba aproximadamente 70 megavatios de energía térmica. El submarino fue provisto de dos reactores y la duplicación de la maquinaria que se considero necesaria para proporcionar confiabilidad, debido a que los diseñadores e ingenieros soviéticos temían fallos del equipo y errores de tripulación. El submarino podía operar de manera segura con un sólo un reactor en funcionamiento. Las turbinas de vapor gemelas proporcionaban un total de 35.000 caballos de fuerza (casi tres veces la potencia del *Nautilus*).

Los motores eléctricos eran silenciosos, a baja velocidad, y en caso de emergencia podrían propulsar el submarino a ocho nudos. Los espacios de máquinas estaban hechos con refuerzos especiales para reducir las vibraciones y el ruido, a pesar de que los amortiguadores de los que disponía para absorber las vibraciones no se utilizaron para las turbinas principales.

El doble casco de este submarino se fabricó de un nuevo acero de alta resistencia, designado AK-25, que proporcionó al proyecto 627 un aumento de la profundidad a la que podría navegar el submarino, pudiéndose sumergir hasta los 300 metros de profundidad, y por tanto se podía sumergir más que cualquier submarino americano.

Con la configuración de doble casco, el casco interno contaba con un revestimiento que se aplicó con el fin de absorber el propio ruido de la nave producido por las máquinas para reducir la acústica del submarino. Además el casco externo estaba revestido con materiales anecoicos[10] para reducir la vulnerabilidad del sonar activo. Como resultado del atributo anterior, el nivel de ruido producido por el submarino cuando se movía a velocidades lentas y medias era el mismo ruido que producía el proyecto 611 y 613, estos utilizaban motores eléctricos. El ruido de la propulsión nuclear se incrementaba considerablemente a altas velocidades. Las notas oficiales de la marina soviética afirman lo siguiente: "Los submarinos de la primera generación de submarinos nucleares de ataque, tienen una buena calidad en velocidad y una instalación atómica dos veces más potente que la americana, la tecnología soviética es significativamente más sigilosa".

[10] Materiales anecoicos, hace referencia a los materiales los cuales han sido diseñados para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por las ondas de sonido.

El tema del ruido que producían los submarinos no fue considerado por los diseñadores como una prioridad alta. Se enfrentaron a la tarea de hacer el submarino con atmósfera independiente y, por tanto, a salvo de la detección por buques de superficie y aviones. Ya que, los métodos y medios de los submarinos para evitar hacer ruido y ser descubiertos, a principios de 1950, no se habían aún desarrollado ampliamente.

Mientras tanto, los submarinos Narodovolets (D-2), fueron equipados para realizar misiones de investigación a gran escala y poder evaluar el comportamiento de en un ambiente cerrado durante un lago plazo de tiempo. La tripulación vivió y trabajó durante 50 días en un ambiente sellado como experimento del programa submarino nuclear. Para el proyecto 627 se desarrolló un complejo sistema que generaba aire acondicionado y oxígeno para prolongar las operaciones en inmersión. Fueron utilizados productos químicos para absorber los gases tóxicos en el submarino y regenerar el oxígeno. Por desgracia, estos absorbentes químicos eran inflamables y sería la causa de varios incendios en la primera generación de submarinos nucleares.

Los diseñadores del SKB-143 trabajaron día y noche para completar el diseño de un submarino de ataque estratégico. Las maquetas de madera a escala para cada compartimento se hicieron con los últimos equipos de las industrias de construcción naval y aérea que se adoptaban para la nave. Peregudov supervisaba cada detalle del diseño. Se pretendía que un dispositivo en el reactor produjese tritio, un isótopo natural del hidrógeno, que además es radiactivo, para la ojiva termonuclear del T-15. El torpedo sería de "auto-lanzamiento", es decir, la propulsión era dada de si mismo, no del tubo de torpedo (aire comprimido), un procedimiento que aumenta la longitud del tubo de torpedo a 2 metros, pero el plan fue significativamente modificado siendo más simple mediante otros sistemas de lanzamiento que ahorraría varias toneladas de peso.

El diseño del Proyecto 627 fue completado en 1954, y la construcción comenzó ese año en el astillero Molotovsk (Nº 402), de manera formal y en secreto la puesta en quilla del K-3, tuvo lugar el 24 de septiembre 1955 (totalmente al contrario que el Nautilus, que fue muy mediático y con gran expectación nacional e internacional). El astillero donde fue construido el K-3 está en el delta del río Dvina, a 48 kilómetros de la ciudad de Arjángelsk. Stalin hizo estos astilleros a finales de 1930, convirtiéndose en los más grandes del mundo con la capacidad de construir los buques de guerra más grandes y esplendorosos de la época. El K-3 fue construido en la principal estructura cubierta de los astilleros (sala Nº 42). Curiosamente, el primer submarino nuclear soviético se construyó en una posición horizontal, en contraste con las formas de construcción de los Estados Unidos y la mayoría de las otras naciones, que lo hacían en una posición inclinada, mucho menos eficiente para realizar este tipo de construcciones, esta práctica de construcción inclinada se mantuvo hasta la década de 1980, pero no por parte de la URSS. Cuando estuvo listo para el lanzamiento, el

submarino se retiró de la sala cubierta a un muelle de lanzamiento, el cual se inundaba haciendo flotar a la nave.

6.1. Los cambios en la dirección

Mientras el proyecto 627 se estaba llevando a cabo, el país se encontraba en un estado de agitación política y económica. Cuando la Segunda Guerra Mundial terminó, Stalin había asignado recursos importantes para rehabilitar los astilleros dañados y destruidos e inició la construcción de una flota oceánica importante. Los programas eran para la construcción de grandes cruceros de batalla, cruceros pesados y ligeros, destructores, submarinos, e incluso portaaviones. En este período la producción en serie fue de avanzados submarinos diesel-eléctricos.

El Comandante en Jefe de la Armada, almirante. Nikolai G. Kuznetsov, era consciente de que un submarino de propulsión nuclear estaba siendo desarrollado, pero tan grande era el secreto de armamento nuclear en la URSS que no se dio ninguna información sobre sus torpedos nucleares gigantes al ejercito. Cuando el diseño se completó fue informado el proyecto en julio de 1954.

Un alto cargo de la armada soviética llamado Orël revisó el proyecto y recomendó que el submarino debía de cambiar a una embarcación de ataque de torpedo para su uso contra los barcos enemigos. El almirante Kuznetsov apoyó las recomendaciones de los cambios propuestos por Orël. Aunque su mandato terminaría pronto, las opiniones Kuznetsov tenían un gran peso. (Cuando sufrió un ataque al corazón en mayo de 1955, Kuznetsov fue sustituido efectivamente por el Almirante Sergei Gorshkov G., que formalmente lo relevaría en 1956.)

En 1955, en respuesta a las objeciones de las altas esferas de la Marina, los elementos tácticos-técnicos (TTE) para el Proyecto 627, fueron revisados para embarcaciones dedicadas a combatir contra barcos enemigos, así fue para las embarcaciones armadas con torpedos convencionales. La sección de proa del submarino fue rediseñado para ocho tubos de torpedos de 533,4 mm, con 12 recargas previstas, así este nuevo diseño de proa contaba con un total de 20 torpedos.

Los avances en el lanzamiento de torpedos permitió un incremento en 100 metros la profundidad máxima que alcanzaba el submarino (estas profundidades serían al poco tiempo superadas). El submarino fue equipado con el Arkitka (Ártico), un nuevo sónar activo, y el sónar pasivo de Marte 16KP en la proa. Este último estaba basado en el sonar alemán GHG.

El K-3 fue lanzado el 9 de agosto de 1957. Poco más de un mes más tarde, el 14 de septiembre la planta nuclear K-3 se puso en marcha y se hizo a la mar por primera vez a las 10:30 el 4 de julio de 1958. Aleksandrov estuvo a bordo en los ensayos, y escribió en el diario de navegación *"…por primera vez en la historia del país el vapor fue*

producido sin necesidad de carbón o petróleo". A diferencia de su homólogo estadounidense, que se hizo a la mar tres años y medio antes, estos hitos en el desarrollo del submarino nuclear soviético fueron alto secreto.

Bajo el mando del capitán primero Rank Leonid G. Osipenko, las pruebas de K-3 fueron un gran éxito. Por razones de seguridad, se decidió operar con la planta del reactor como máximo sólo al 60%, hasta la finalización de las pruebas que se llevaban a cabo con el prototipo en tierra Obninsk, para asegurarse de que no se corría ningún peligro a bordo del submarino. Con sólo el 60% de rendimiento el K-3 alcanzó una velocidad de 23,3 nudos, que era toda una sorpresa, ya que la velocidad obtenida fue de 3 nudos más a lo esperado. Esa fue también la velocidad del *Nautilus*.

Posteriormente, cuando el submarino operó a máxima potencia, el K-3 fue capaz de alcanzar unos 28 nudos. Durante los ensayos de K-3 alcanzó una profundidad 310 m, un récord mundial para un submarino militar.

El segundo oficial del K-3 Rank Lev M. Zhiltsov, mencionó sobre los ensayos que:

"Cuando en las pruebas, el reactor adquirió la velocidad estándar, todos en el puente nos estremecimos…por la tranquilidad. Por primera vez en toda mi carrera en los submarinos, oí el sonido de las olas en la proa. En los submarinos convencionales, el sonido de los gases de escape de los motores diesel omiten todos los demás sonidos. Pero aquí no había ruidos y ni tampoco vibraciones".

El K-3 llevó a cabo extensas pruebas, con algunos problemas. Había goteras en los generadores de vapor además de en otras zonas, por tanto la tripulación tenia que ponerse el equipo contra radiación para buscar dichas filtraciones. Los primeros generadores fueron diseñados para tener una vida útil muy corta, los que fueron inicialmente instalados en submarinos nucleares soviéticos comenzaron a gotear después de unas 800 horas de funcionamiento. *"Nos sentimos como héroes"*, recordó un oficial al mando de un Proyecto 627A cuando sus ingenieros fueron capaces de extender el tiempo de funcionamiento a 1.200 horas. Las pruebas en tierra habían demostrado que el tiempo de operación antes del fallo debería haber sido entre 18.000 y 20.000 horas. La solución a largo plazo era cambiar el material de los generadores de vapor entre otras cosas.

Sin embargo, las pruebas del K-3 se realizaban con éxito, y en 1959 Osipenko fue honrado con la condecoración de Héroe de la Unión Soviética, su tripulación también recibió otras condecoraciones. El diseñador del submarino, Peregudov, fue galardonado con el título de Héroe del Trabajo Socialista, máximo galardón de la URSS para un ingeniero, y al SKB-143 y al astillero Molotovsk se le concedió la Orden de Lenin por sus logros.



Imagen 15: en la foto observamos un sello soviético conmemorativo del November del año 1970 en el hielo ártico. Fuente:http://www.123rf.com/photo_5577864_ussr-moscow-1970-postal-stamp-ussr-1970-vintage-stamp-depicting-soviet-submarine-k-3-leninsky-komsom.html (15-3-2013)

El mismo año en que el pionero K-3 se hizo a la mar, el gobierno soviético tomó la decisión de producir en masa submarinos dotados de propulsión nuclear. El almirante Gorshkov comentó lo siguiente:

> *"Una importante reunión se realizó, para establecer el desarrollo futuro de la Armada, esta tuvo lugar en Moscú en 1958, fue para mí muy memorable. Los comandantes de la flota, almirantes de la Marina, representantes del Estado Mayor General, comandantes en jefe de los servicios de los componentes y los trabajadores del Comité Central del Partido y el Consejo de Ministros tomaron parte en dicha reunión. La construcción prioritaria de submarinos nucleares provistos con misiles recibió el apoyo necesario para salir adelante. N. S. Khruschev (sucesor de Stalin) se pronunció a favor de la creación de unos 70 submarinos nucleares con misiles balísticos, 60 con misiles de crucero anti-buque, y 50 con torpedos convencionales."*

La producción masiva de submarinos con propulsión nuclear había sido aprobada.

Aunque el K-3 era un buque "experimental" (al ser el primero con energía nuclear) en algunos documentos soviéticos, era, de hecho, la nave modelo para la producción en serie de submarinos nucleares, a diferencia del *Nautilus* que pronto, por no decir desde un primer momento, dejó de ser útil en caso de guerra. La producción en serie se inició en los astilleros de Molotovsk/Severodvinsk. Se efectuaron cambios en el diseño de los siguientes submarinos para solventar los problemas que había tenido el K-3, sobre todo estas mejoras se situaban en la planta de energía nuclear, los controles, los sonares, además de la producción de los nuevos submarinos, proyecto 627A, fueron equipados con planos de inmersión mejorados y timones de un mejor control a altas velocidades. En estos submarinos el Arkitka (sonar activo) se había puesto en la proa y el Mars-16KP (sonar pasivo) fue reemplazado por la MG-10, un nuevo sonar pasivo situado en la parte superior de la proa.

El submarino primer Proyecto 627A, el K-5, fue puesto en quilla en el astillero Nº42 en agosto de 1956 (el mismo astillero que un año antes había lanzado el K-3). Un total de 12 submarinos del proyecto 627ª, fueron puestos al servicio de la armada soviética de diciembre de 1959 a 1964, lo que demuestra el apoyo temprano y decidido de submarinos de propulsión nuclear por parte del gobierno soviético. En los ensayos, rindiendo sólo al 80%, el K-5 llegó a navegar a 28 nudos.

El éxito general del K-3 demostró los logros de los científicos e ingenieros soviéticos en las profundidades del mar, así como también en el espacio. A mediados de 1962, el K-3 fue modificado con una estructura reforzada, un sonar mejorado, se le añadieron cámaras para ver el fondo del mar, y se preparó para navegar por altas latitudes. El 11 de julio, el K-3, ahora bajo el mando de Zhiltsov, partió de su base en Gremikha en la península de Kola hacia el norte. El submarino emergió el 15 de julio a unas 360 millas del norte geográfico, a 84º de latitud Norte. El contralmirante Aleksandr I. Petelin, comandante de la flotilla de submarinos, y Zhiltsov levantaron sobre el hielo la bandera de la URSS. El K-3 alcanzó el polo norte el 17 de julio, pero no pudo emerger a la superficie debido al grosor del hielo, estimaron que había un grosor de 12 metros. La embarcación emergió a la superficie en varias ocasiones a través del hielo antes de volver a una media de 24 nudos a Gremikha, llegando el 21 de julio de 1962.

En Gremikha, el K-3 se encontró con Nikita Khrushchev y otros líderes del gobierno. Estaban en una visita a la Flota del Norte, que incluía vista a las nuevas armas de guerra, así como los submarinos, fue testigo del lanzamiento de un misil balístico desde un submarino sumergido. Khrushchev condecoró personalmente a Zhiltsov, al primer oficial de máquinas Rank R.A. Timofeyev y al Almirante Petelin con la más alta condecoración de la nación, Héroe de la Unión Soviética.

A nivel anecdótico, Timofeyev al parecer no recibió el aviso de que iba a ser condecorado, y mientras estaba trabajando, se le dijo que tenía que acudir de

inmediato a la sala de reuniones. Así que fue condecorado con la máxima distinción soviética con ropa de trabajo por esto a su llegada Khrushchev le felicitó como un *"héroe en pantalones azules"*.

El submarino fue honrado, el 21 de julio, dándole el nombre de Leninsky Komsomol, llamado así por el grupo de jóvenes que honraban a Lenin. El 29 de septiembre de 1963, el submarino K-181 del Proyecto 627A, al mando del capitán Rank Yu. A. Sysoyev, emergió en el Polo Norte. Toda la tripulación salió a fuera e hizaron la bandera soviética y la bandera de la armada. La tripulación se relajó y practicaron algunos deportes sobre el hielo.

Sysoyev también fue nombrado Héroe de la Unión Soviética por llegar al polo norte con el submarino, mientras que por ésta y otras operaciones el K-181 en 1968, se convirtió en el primer buque de guerra desde la Segunda Guerra Mundial en ser condecorado con la Orden Bandera Roja. Las operaciones áticas de los submarinos nucleares se convirtieron en una actividad habitual. Otro submarino de este tipo, el K-133, participó de febrero a marzo de 1966, en rodear el ártico en compañía de dos submarinos nucleares balísticos, viajando sumergidos unas 20.000 millas y un total de 54 días.

Durante la carrera del K-3, K-5 y K-11 estos tenían los reactores más avanzados y fiables de la época. Cuando los submarinos fueron reacondicionados en los astilleros de Zvezdochka en Severodvinsk en la década de 1960 los compartimentos del reactor fueron cortados y se instalaron en las nuevas plantas atómicas VM-AM(construido en los astilleros de Severodvinsk).

En 1958, cuando el K-3 se estaba terminando, el Jefe de Operaciones Navales de EE.UU., el almirante Arleigh Burke, señaló que *"los rusos pronto tendrán submarinos nucleares..."*. En agosto de 1959, poco después de visitar el inacabado rompehielos nuclear Lenin en el astillero de Leningrado, el vicealmirante H.C. Rickover, declaró:

> *"Creo que, sin duda, estamos por delante de ellos. No me gusta decir esto porque yo soy el responsable de propulsión atómica naval, pero por lo que sabemos, la única planta de propulsión marina que tienen es en el rompehielos Lenin, y aún no se ha hecho a la mar. Sin embargo, nosotros tenemos en operatividad reactores nucleares desde 1953. El Señor Kozlov (alto cargo soviético), cuando estuvo en los Estados Unidos en julio, me dijo que ellos están construyendo submarinos de propulsión atómica".*

Cuatro meses después de que el rompehielos Lenin se hiciera a la mar, y con los primeros submarinos nucleares soviéticos ya terminados, en enero de 1960, el almirante Burke, dijo al Congreso de EE.UU. que *"....hay indicios de que la Unión Soviética está desarrollando un programa de construcción de submarinos nucleares"* y

también dijo *"...se espera que los soviéticos tengan propulsión nuclear en submarinos en funcionamiento en un futuro cercano"*.

En efecto, el Proyecto 627 (designado por la OTAN como November) fue el primero de varios submarinos nucleares soviéticos que la inteligencia occidental "se equivocó". Era inconcebible para los analistas de inteligencia de EE.UU. y de ingenieros americanos que los soviéticos hubieran instalado dos reactores en el submarino, generando 35.000 caballos de fuerza. Así, en enero de 1968, cuando el portaaviones americano de propulsión nuclear *Enterprise* salió de San Francisco rumbo a Pearl Harbor, Hawaii, hubo confusión cuando las fuentes de inteligencia (principalmente el Sistema de Vigilancia de Fondo Marino de Sonido, SOSUS) reveló que el submarino *November* se acercaba al portaaviones y a sus escoltas.

A medida que el submarino se acercó al portaaviones y sus escoltas, estos aceleraron. Se cree que el *November* tenía una velocidad máxima de 23 a 25 nudos. Los informes disponibles difieren en cuanto a la velocidad alcanzada por el submarino enemigo, algunas fuentes dicen que hasta unos 31 nudos. Al final, en este encuentro no hubo suerte y ningún bando abrió fuego contra el otro. Este incidente pudo tener un gran efecto en el programa nuclear submarino de EE.UU.

Los problemas de fiabilidad de la planta de propulsión asolaron a los submarinos de la clase *November*, proyecto 627, y causaron varias bajas importantes. De hecho, no se desplegaron submarinos soviéticos nucleares en la crisis de los misiles en Cuba en el año 1962, esto se debió a los continuos problemas que tenían estos submarinos con sus generadores de vapor[11]. Sólo los submarinos diesel-eléctricos participaron en el enfrentamiento de las superpotencias en Cuba.

El 8 de septiembre de 1967, el K-3 sufrió un accidente en la sala de torpedos, donde se originó fuego, probablemente por la ignición del líquido hidráulico. Los marineros que allí se encontraban, no tuvieron tiempo de usar los extintores y huyeron al segundo compartimento del submarino, condenando este otro, el de torpedos. A pesar del uso de respiradores, muchos miembros de la tripulación sufrieron intoxicación por monóxido de carbono y otros 39 marineros murieron en este fatal accidente. El submarino se encontraba haciendo una travesía por el mar de Noruega, en ese momento el submarino regresaba a su base en la península de Kola, después de 56 días en el mar.

Cuando ocurrió el accidente, el submarino navegaba a 50 metros de profundidad. Los sobrevivientes fueron capaces de navegar con el K-3 y regresar a puerto.

[11] Crisis de los misiles en Cuba en 1962, dicha crisis fue unos de los momentos más difíciles de la guerra fría, esto se debió a que la URSS instaló en la isla caribeña de Cuba una base de misiles balísticos que se encontraban a muy poca distancia de la costa estadounidense.

A última hora de la noche, del 8 de abril de 1970, las fuerzas navales soviéticas estaban llevando a cabo un ejercicio de gran envergadura conocido como "Okean" (Ocean), el submarino K-8 sufrió un accidente, mientras estaba operando sumergido a una profundidad de 120 metros en el Atlántico, frente al cabo de Finisterre, España. Una chispa encendió un fuego en los productos químicos inflamables del sistema de regeneración de aire. El submarino fue capaz de llegar a la superficie, pero el humo y dióxido de carbono forzó a la mayor parte de la tripulación a subir a la cubierta. El barco iba a la deriva, porque los reactores fueron cerrados y los generadores diesel auxiliares tenían una autonomía de una hora, si el problema se encontraba en el sistema de refrigeración.

Después de tres días en la superficie, mientras que la tripulación trataba de salvar el K-8 frente a fuertes vientos, el submarino se hundió en las profundidades, el 12 de abril. La mitad de su tripulación de 104 hombres, fueron salvados por buques mercantes búlgaros y soviéticos; 52 hombres perdieron la vida, entre ellos su comandante. Este fue el primer submarino nuclear soviético que se perdió después de que se perdieran anteriormente los submarinos americanos, USS Thresher (SSN 593) en 1963 y USS Scorpion (SSN 589) en 1968.

Las bajas en los submarinos soviéticos llevaron al secretario de la marina de EE.UU. John F. Lehman a declarar: *"Sabemos que han habido algunos catastróficos incidentes"*. Un analista de submarinos americanos mencionó: *"... si los submarinos occidentales tuvieran una décima parte de las víctimas que tienen los soviéticos a bordo de submarinos nucleares, probablemente no habrían submarinos nucleares occidentales".*

Sin embargo, los submarinos del proyecto 627/November, sirvieron en la Marina soviética hasta principios de 1990. La primera nave de la clase November, el K-3, fue dada de baja en enero de 1988 después de casi 30 años de servicio. Está amarrada en el puerto Gremikha en la península de Kola. (Hay planes para preservar el barco como museo/monumento.)

6.2. La planta de plomo-bismuto

Simultáneamente con el desarrollo de la planta de agua a presión para el Proyecto 627/November, el consejo de ministros aprobó el desarrollo paralelo de un submarino de ataque con un reactor que como medio de intercambio de calor utilizase metal líquido (bismuto plomo). El Diseño del submarino comenzó bajo el mando de Peregudov en el SKB-143 a finales de 1953, paralelamente con el diseño del proyecto 627. El diseño de una planta que utilizase en vez de agua presurizada metal líquido, se terminó en 1956, con A.K. Nazarov habiéndose convertido en el jefe de diseño en 1955.

Al proyecto se le designó 645. Al igual que con la planta que utilizaba agua presurizada, se construyó un prototipo en tierra de la planta del proyecto 645, en Obninsk, como la planta del proyecto 627. Se convirtió en un hecho en marzo de 1958.

Al igual que los ingenieros de EE.UU., los soviéticos se dieron cuenta de que el líquido metálico ofrece una capacidad de intercambio de calor mayor que con el agua a presión y por lo tanto prometía plantas nucleares submarinas más eficientes. Además, la planta de metal líquido debería operar a una presión mucho más baja. que podría simplificar algunos componentes de las plantas. Mientras que la Marina de los EE.UU. empleada de sodio como material de intercambio de calor, los soviéticos seleccionaron una aleación de plomo y bismuto como refrigerante. Aunque el plomo-bismuto tuviera menos propiedades térmicas, se eligió esta aleación porque químicamente es menos activo y por tanto, menos peligroso que la de sodio en caso de un accidente.

El sistema de propulsión del Proyecto 645 tendría dos reactores VT, cada uno con 73 megavatios de potencia termal, un poco más potente que los reactores VM-A del Proyecto 627. Los dos tipos de plantas de generadores tenían grandes diferencias con el proyecto 645 sobretodo en el diseño de la superficie de las tuberías.

El uso de bismuto-plomo tenía aspectos negativos. La aleación tenía que calentarse continuamente para que el refrigerante no se endureciera. Así, la planta no podía ser cerrada por completo, al igual que los reactores de agua a presión. A su regreso a la base el submarino tuvo que ser conectado al sistema de vapor de calefacción de la base, y sólo entonces se pudo cerrar el reactor. Tener este requisito en puerto era complicado en gran medida así aumentó el costo de proveer bases como un submarino. En un arranque de optimismo, los diseñadores del Proyecto 645 prescindieron de generadores diesel y de combustible diesel, privando al submarino de una planta de energía auxiliar. La planta de reactor de metal líquido requería un submarino más grande, aunque con el mismo número de compartimentos (nueve) como el proyecto 627, pero la disposición interna era diferente. El proyecto 645 tenía serias mejoras en comparación con el proyecto 627, como por ejemplo: el turbogenerador era auto sostenible; un sistema de recarga de torpedo automatizado controlado a distancia (hidráulico) para permitir la recarga de los tubos de torpedos de proa (ocho tubos) en unos 15 minutos, y el fortalecimiento mamparos planos entre todos los compartimentos, lo que aumentó la capacidad de supervivencia de los submarinos con respecto a otras configuraciones de mamparos como los del proyecto 627A. Estas características incrementaron el desplazamiento de 340 toneladas en comparación con el proyecto 627A. Por primera vez en la construcción naval soviética, se utilizó un acero de bajo magnetismo para la fabricación del casco exterior con el objetivo de reducir la vulnerabilidad del submarino con respecto a las minas magnéticas. Esto permitió hacer que el submarino fuera un 50% menos magnético.

La quilla de la K-27 se estableció en el hangar nº 42 en Severodvinsk, el 15 de junio de 1958. El trabajo era lento debido a los retrasos en la entrega de la planta propulsora y el K-27 no fue lanzado hasta el 1 de abril de 1962. Comenzaron las

pruebas de mar en el verano de 1963, con el capitán Rank I.I. Gulyayev al mando del K-27.

Una vez ya en los ensayos, sólo se encontraron problemas de poco envergadura que fueron fácilmente superados. Después de que el submarino fuese entregado a la flota. Del 21 de abril al 11 june del 1964, el K-27 llevó a cabo una travesía de 12.425 millas, quedando sumergido el 99% de la travesía. Incluso en las operaciones en aguas tropicales no fue ningún impedimento para el correcto funcionamiento de la planta de propulsión atómica.

En el otoño de 1966, después de continuas y extensas operaciones, el K-27 fue puesto en dique seco para mantenimiento y actualizaciones. No fue hasta su puesta en dique seco cuando se descubrió que en el casco exterior, hecho de acero de bajo magnetismo, se habían producido numerosas grietas que no habían sido encontrados previamente debido a la capa anecoica en el casco exterior. Por esto fueron necesarias grandes reparaciones. Consecuentemente, los dos reactores VT fueron repostados en 1967. El *K-27* volvió al mar en septiembre de 1967.

Un mes más tarde, el K-27 sufrió el primero de una serie de graves problemas de ingeniería. El 13 de octubre, mientras que el buque estaba en la mar, la aleación de plomo-bismuto irrumpió en el circuito primario del reactor de estribor. La causa fueron la formación de depósitos de impurezas (óxidos de la aleación de plomo-bismuto) bloqueando el circuito refrigerante. Como resultado, dos bombas fueron inundadas con la aleación enfriada. El generador de vapor de estribor fue cerrado, y el submarino regresó sano y salvo a la base por sus propios medios.

Después de las reparaciones del K-27 volvió a la mar de nuevo el 21 de mayo de 1968. Sobre las 12 horas del 24 de mayo, el reactor de babor de la nave sufrió un nuevo accidente. El sistema de refrigeración del núcleo se rompió y consecuentemente se sobrecalentaron los elementos combustibles. Esto, a su vez, hizo que salieran productos radioactivos de las tuberías de refrigeración causando gas radioactivo poniendo al submarino en una grave situación ya que podría haber explotado el compartimento del reactor.

El submarino salió a la superficie 15 minutos más tarde del suceso, sobre las 12:15. En el puerto, el generador de vapor estaba cerrado por lo que tuvieron que navegar 6 horas hasta el puerto de Gremikha con solo el reactor de estribor funcionando con ambas hélices. La mayor parte de la tripulación, 124 marineros, sufrieron exposición a la radiación y tuvieron que ser hospitalizados, nueve hombres murieron en este incidente.

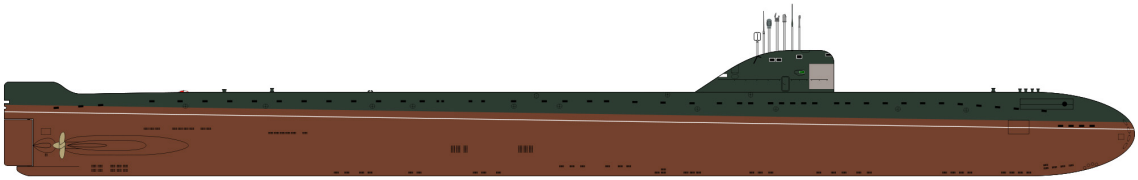


Imagen 16: proyecto 627/November, este fue el primer diseño de submarino soviético nuclear que se hizo a la mar, solo se construyó un submarino con este diseño, el K-3.

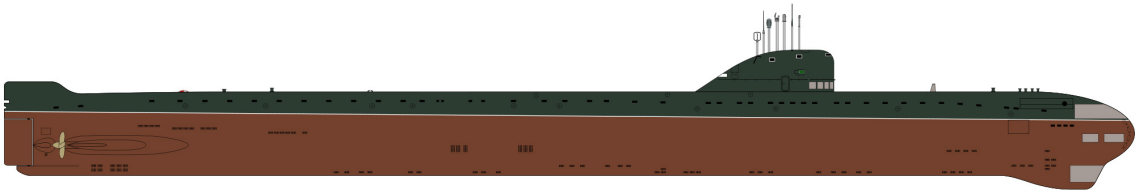


Imagen 17: proyecto 627A/November, diseño mejorado del diseño antecesor, este diseño fue el más construido con un total de 12 unidades concluidas.

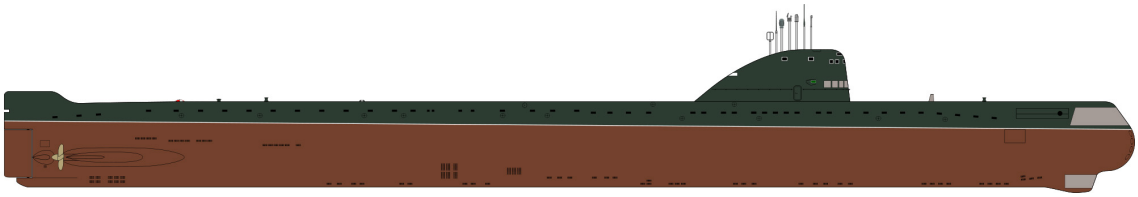


Imagen 18: proyecto 645, pertenece también a la misma clase que los anteriores, de este diseño sólo se construyó una unidad, el K-27.

Nota: nótese en los esquemas las partes de la proa y del puente del submarino los "parches" grisáceos, estos revelan donde están situados los sónares de los submarinos. Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Clase_November (20-3-2013) (en la fuente incluimos las otras dos fotos anteriores)

A principios de junio una comisión de la Armada llegó a la conclusión de que la planta tenía que ser cerrada. Así lo relató un ingeniero e historiador:

> *"Se trataba esencialmente de una sentencia de muerte para el K-27, después de que se congelase la planta, habría sido casi imposible reiniciar los reactores. Sin embargo, la comisión se vio obligada a dar este paso debido al grave peligro de radiación que aún permanecía en el barco".*

El 20 de junio de 1968, las operaciones necesarias para congelar la aleación en el reactor de babor se completaron. El K-27 estaba muerto. El refrigerante del reactor de estribor se mantuvo líquido para realizar diversos experimentos de contaminación. Los estudios también se realizaron sobre la viabilidad de devolver el arte al servicio. En sustitución de la planta de plomo-bismuto se planteó la instalación de una planta de agua a presión como había ya había ocurrido en la marina de los EE.UU. con el *Seawolf* (SSN 575). Los submarinos más avanzados estaban siendo entregados ya a la armada soviética por ello decidieron que no valía la pena rehabilitar el K-27 por el coste que suponía. Así el K-27 fue el primer submarino de propulsión nuclear que fue retirado de servicio.

Ni los Estados Unidos ni la Unión Soviética habían tenido éxito en estos primeros esfuerzos para poner un reactor de metal líquido en un submarino. La metalurgia y otras tecnologías de apoyo no estaban aún preparados para el diseño de este tipo de reactores.

En los primeros compases de diseño de la SKB-143, se consideró la implantación de misiles en los submarinos *November*. En los Estados Unidos el concepto de una configuración de lanzamiento de misiles había sido considerada para el *Nautilus*, pero fue rechazada de inmediato por el entonces capitán Rickover, que no quería complicaciones en la nave. En SKB-143 se diseñó a partir del misil P-627A bajo la supervisión de Peregudov y Grigori Ya. Uno o varios misiles se querían ubicar en un cilindro detrás del puente del submarino, este misil sería un misil crucero guiado. El lanzamiento del misil en la superficie se llevaría a cabo a partir de una montura que elevaría al misil hasta un ángulo de 16 grados para el lanzamiento. La mayor parte de este movimiento se podría automatizar, y toda la operación se podría realizar en 6,5 minutos, así el submarino necesitaría más tiempo para estar en superficie.

El misil iba a ser el P-20, desarrollado por Sergei Ilyushin OKB-240, oficina de diseño aeronáutico. Iba a ser un arma tierra-ataque que podría llevar una ojiva nuclear contra objetivos a 1.890 millas de distancia de la nave de lanzamiento. El misil podría alcanzar una velocidad máxima de Mach 3 y debía volar la última parte de su trayectoria a baja altura y en zigzag. En ese momento este arma tenía prometedoras opciones de éxito contra objetivos terrestres.

El desarrollo de la P-627A comenzó en el verano de 1956 y terminó a finales de 1957, con la emisión de los planos poco después. La construcción del primer P-627A en el astillero de Severodvinsk comenzó en 1958. Sin embargo, el interés militar de las armas estratégicas de misiles balísticos se estaba desplazando hacia las bases terrestres, ya a principios de 1960 se detuvo el trabajo en el prototipo del submarino P-627A, así como la producción de los planos del proyecto 653, submarino de misiles balístico. Luego, entre 1960 y 1961 se iniciaron los diseños para completar el submarino de misiles pero quedaron sin terminar como proyecto PT-627A, este

proyecto contaba con tubos de torpedos de 650-mm, así como nuevo tipo de arreglo del sonar. Estos esfuerzos cesaron en noviembre de 1961.

Casi simultáneamente con la construcción de la clase Project 627A/*November*, los astilleros soviéticos comenzaron la construcción del proyecto 658/Hotel submarinos de misiles balísticos y el proyecto 659/Echo I, submarinos de misiles crucero, ambos destinados a la función de ataque estratégico. Diseñado por TsKB-18 (más tarde llamado Rubin,) estos submarinos tenían configuraciones muy diferentes a las del Proyecto 627, pero se mantuvo la misma planta de propulsión y en líneas generales la misma maquinaria. La inteligencia norteamericana denomino cada clase de esta primera generación de submarinos nucleares soviéticos con una lengua del código internacional de fonética; *Hotel, November*, *Echo*… y más adelante se añadirían nuevos nombres para las siguientes clases de submarinos comunistas.

6.3. Perspectiva política

Cuando la Segunda Guerra Mundial terminó y la URSS trató de entrar en la era nuclear. Josef Stalin gobernó la Unión Soviética durante casi dos décadas, a finales de 1930 se había comenzado a construir una "flota equilibrada" acorazados, portaaviones, cruceros, destructores y submarinos. Este ambicioso programa, destinado principalmente para hacer frente a Gran Bretaña, fue interrumpido con la invasión alemana de la Unión Soviética en junio de 1941 y la consiguiente guerra. Cuando terminó la segunda guerra mundial en 1945, Stalin retomó de nuevo el programa de construcción de la flota. Se construyeron diferentes clases de destructores como los grandes destructores de la clase *Skoryy*, o los destructores ligeros de la clase *Sverdlov*, y varias clases de submarinos. Como también estaban en marcha la construcción de los cruceros de batalla de la clase *Stalingrado* de clase además de portaaviones.

Todas las decisiones importantes durante este período de guerra había requerido la aprobación personal, o al menos la aquiescencia, de Stalin. El Almirante Kuznetsov, persona cercana a Stalin, comandante en jefe de 1939 a 1947 y nuevamente de 1951 a 1956, escribió en sus memorias:

"…recuerdo bien la ocasión en que Stalin respondió a una solicitud para obtener más armas antiaéreas para buques, y Stalin dijo: "No vamos a luchar frente a las costas de Estados Unidos"".

La solicitud no fue aprobada y las armas no fueron instaladas. Kuznetsov continuó:

"*Por otra parte, Stalin tenía una pasión especial y curiosa para los cruceros pesados. Llegué a conocer esto poco a poco. En una conferencia en Zhdanov hice*

varias observaciones críticas sobre el proyecto crucero pesado. Zhdanov no dijo nada, como si no hubiera oído lo que dije. Cuando salió de su oficina, uno de los principales funcionarios del Comisariado del Pueblo para la construcción naval de Industria, AM Redkin, me advirtió: "Cuidado, no insistan en su oposición a estos barcos". Él me dijo en confianza que Stalin había amenazado con imponer castigos estrictos a cualquier objeción a cruceros pesados ...".

La oposición a Stalin sobre sus puntos de vista en asuntos navales fue mínima. Él ordenó la ejecución de ocho de los nueve almirantes entre 1938 y 1939, como parte de su purga masiva. Muchos oficiales de menor rango también fueron fusilados.

Stalin y sus sucesores, Nikita Jruschov y luego Leonid Brezhnev, tenían por costumbre reunirse con los generales, mariscales y almirantes para revisar y aprobar o rechazar determinados programas militares. Si un nuevo diseño o una nueva tecnología se tomaba en consideración, los diseñadores de alto nivel se reunían con ellos o, con frecuencia, el líder de turno se reunía a solas con los diseñadores de aviones, misiles y otras armas, incluyendo submarinos. Las memorias de Khrushchev están repletas de descripciones de las reuniones hablando sobre aviones, misiles estratégicos, defensa aérea, y otros diseños de armas.

Stalin murió el 5 de marzo de 1953, en los siguientes días a su muerte se tomaron las decisiones de parar el trabajo de los astilleros para detener las construcciones que Stalin había mandado construir. La clase de grandes cruceros Stalingrado y los programas de transporte planificados fueron cancelados, la construcción de los cruceros ligeros de la clase *Sverdlov* fue reducida, al igual que los programas de destructores y submarinos.

Khrushchev, sucedió a Stalin como jefe del Partido Comunista y del Estado soviético, en 1957 inició un programa de defensa que haría hincapié en misiles cruceros balísticos convencionales de aire, de tierra y navales. Algunos funcionarios soviéticos se referiría a este cambio como una "revolución en asuntos militares".

Además, Khrushchey creía que los submarinos serían el buque de guerra más importante en un conflicto futuro: *"Tomamos la decisión de convertir los submarinos en una pieza fundamental de nuestra marina. Nos concentramos en el desarrollo de submarinos de propulsión nuclear y pronto comenzó a girar todo en una línea".*

Y continuó:

"Los portaaviones, por supuesto, son la segunda arma más efectiva en una marina moderna. Los norteamericanos tienen una poderosa flota de portaaviones, nadie puede negarlo. Admití que sentí un deseo acuciante de tener algunos en nuestra propia marina, pero no podíamos darnos el lujo de construirlos. Estaban simplemente más allá de nuestras posibilidades. Además, con una fuerza de submarinos fuerte, nos sentimos capaces de hundir los portaaviones

estadounidenses en caso de guerra. En otras palabras, los submarinos representa un mecanismo eficaz de defensa, así como medios confiables de lanzar un contraataque".

Jruschov buscó un comandante naval en jefe que apoyara sus puntos de vista. Nombró almirante a Sergei Gorshkov G. como subcomandante en jefe de la Armada a mediados de 1955, y Gorshkov oficialmente sucedió a Kuznetsov como jefe de la Armada en enero de 1956. Khrushchev, que había trabajado brevemente con Gorshkov en la zona del mar Negro durante la guerra, lo describió como,

"…un ex capitán de submarino. Apreció el papel que habían desempeñado los submarinos alemanes en la Segunda Guerra Mundial por el hundimiento de muchos navíos ingleses y americanos, también aprecia el papel que nuestros submarinos pueden jugar en caso de que tengamos que ir a la guerra contra Gran Bretaña y Estados Unidos".

Gorshkov no era oficial de submarinos. Había servido en buques de superficie y pequeñas embarcaciones durante la guerra, convirtiéndose en un contralmirante a los 32 años. Khrushchev dispuso a Gorshkov para el desguace de buques de guerra de la flota, y para construir en su lugar una flota de pequeños barcos armados con misiles y submarinos que podrían defender a la Unión Soviética contra un ataque de buques anfibios. Gorshkov era políticamente astuto y guiaría a la armada soviética hacia la era del armamento nuclear, aunque con un énfasis inicial en la guerra submarina. Khrushchev, desempeñará el cargo hasta octubre de 1964, y el almirante Gorshkov, con el que contaría la marina de guerra soviética hasta diciembre de 1985, después de 29 años, la Unión Soviética inició un programa masivo para producir propulsión nuclear en submarinos

6.4. Resumen

La Unión Soviética detonó su primera bomba nuclear en 1949, cuatro años después de que Estados Unidos hubiera detonado su primera bomba nuclear y mostrado así interés por el poder nuclear. La Unión Soviética envió el primer submarino de propulsión nuclear a la mar cuatro años después de que Estados Unidos lo hiciera. La realización del primer submarino nuclear soviético fue un logro notable en vista de las limitaciones burocráticas, financieras y tecnológicas enormes de la Unión Soviética. Además, a finales de la década de los 50, la Unión Soviética tenia muchos programas en marcha como la carrera espacial o el desarrollo de misiles, por esto los submarinos se vieron resentidos.

El soviético K-3 fue, en muchos aspectos, superior a la USS *Nautilus*, con velocidad significativamente mayor, mayor profundidad de operación, y una mayor supervivencia después de sufrir daños. Sin embargo, los primeros submarinos soviéticos sufrieron importantes problemas de ingeniería, bastante más graves que los submarinos americanos. En los submarinos nucleares de los EE.UU. se hizo más hincapié en consideraciones de seguridad.

Al principio sólo fue una empresa la designada para llevar a cabo el K-3, sin embargo al poco tiempo se añadieron diferentes compañías para construir los sucesivos proyectos.

Incluso antes de que el K-3 se hiciera a la mar, se tomó la decisión de emprender la producción en serie del diseño, además varios diseños de submarinos con misiles ya estaban en marcha. Esto fue lo contrario que hizo EE.UU., fue más cauteloso en la producción en serie de estos submarinos. Esta diferencia, fue una manifestación de la decisión Soviética de concentrarse sobre todo en la aviación naval, submarinos y misiles anti-buque, mientras que los objetivos de la Armada de EE.UU. eran otros y exigían una más "equilibrada" flota con buques de guerra de superficie más importantes, como son; portaaviones, buques anfibios, así como también submarinos.

Otras dos interesantes e importantes consideraciones de los primeros submarinos nucleares, fue el alto nivel de apoyo del gobierno en ambos bandos, y que el programa de submarinos EE.UU., se estaba llevando a cabo a plena luz de la publicidad, mientras que el programa soviético se llevó a cabo como el mayor de los secretos, como era típico en aquella sociedad.

Tabla 4: comparación entre los dos submarinos con refrigerante de metal liquido

	U.S. Seawolf (SSN 575)	***Proyecto 645/November modificado***
En servicio desde	1957	1963
Desplazamiento		
en superficie	3.721 t	3.414 t
en inmersión	4.287 t	5.078 t
Eslora	102.9 m	109.8 m
Manga	8.43 m	8.3 m
Calado	6.7 m	5.8 m
Reactor	1 SIR/S2G	2 VT
Turbinas	2	2
potencia	15.000 HP	35.000 HP
Hélices	2	2
Nudos		
en superficie	19	15
en inmersión	21.7	29
Profundidad máxima	213 m	300 m
Tubos de torpedos	6 tubos de 533mm B	8 tubos de 533mm B
Torpedos totales	22	20
Tripulación	105	105

7. Segunda generación de submarinos nucleares americanos

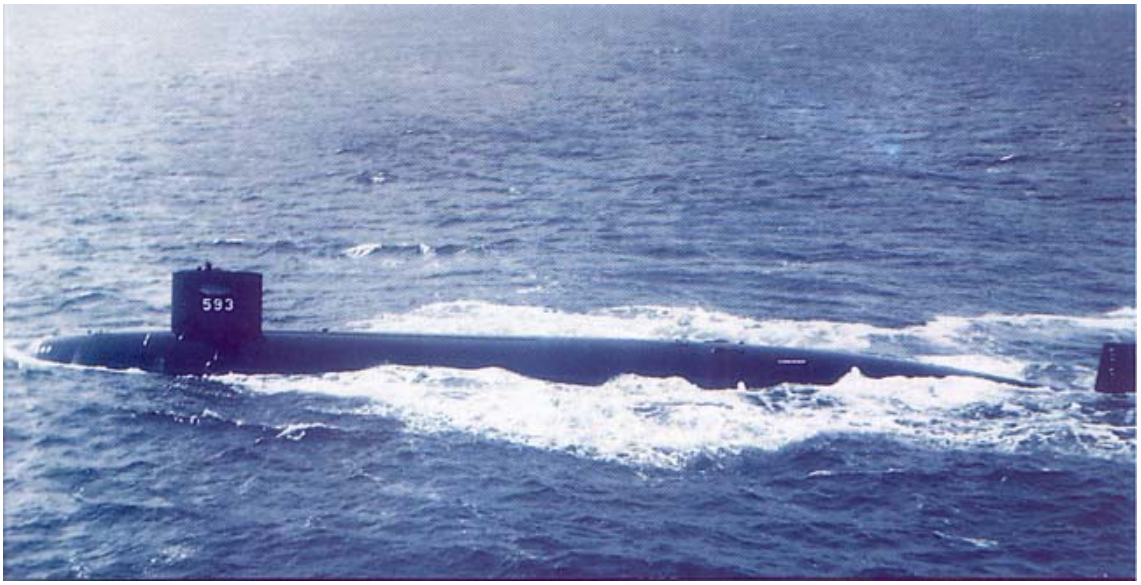


Imagen 19: submarino Thresher el primero de clase que llevaría su mismo nombre, este buque protagonizó uno de los momentos más amargos de la Marina de Estado Unidos.
Fuente: http://www.histarmar.com.ar/InfGral/SubmarinosAcc/Thresher.htm (20-3-2013)

Los Estados Unidos y la Unión Soviética comenzaron a desarrollar los submarinos nucleares de segunda generación cuando aun los primeros submarinos nucleares estaban en periodo de pruebas. En la Marina de los EE.UU., el primer submarino de segunda generación nuclear fue el SSN-585, de alta velocidad, se hizo a la mar en 1959. Sus principales características con la planta del reactor S5W y la forma del casco como la del submarino *Albacore* (AGSS 569)[12] dieron excelentes resultados bajo el agua. Se mantuvieron las mismas armas, sensores y profundidades máximas operacionales de sus predecesores inmediatos, tanto nucleares como convencionales. Y el Skipjack, tal y como sus predecesores, era muy ruidoso.

Este último factor era cada vez más significativo. El sistema de vigilancia de sonido de Estados Unidos (SOSUS) confirmó los altos niveles de ruido de los submarinos estadounidenses. En 1961, el USS George Washington (SSBN 598) fue rastreado continuamente a través del Atlántico por el SOSUS a lo largo de toda la costa este.

[12] El submarino *Albacore* (AGSS 569) fue entregado a la marina de guerra norteamericana en 1953 y el diseño del casco marcaría el de los siguientes submarinos americanos hasta nuestros días, anteriormente los submarinos disponían de armas en cubierta, además la forma de su revolucionario casco hidrodinámico.

Los altos niveles de ruido de los submarinos estadounidenses, convencionales y nucleares, eran ya conocidos tiempo atrás. Una década antes el Almirante Charles Brand L. había afirmado:

> *"No ha habido prácticamente ningún avance en el silenciamiento de la maquinaria submarina. De hecho, nuestros submarinos son más ruidosos ahora que durante la guerra debido al hecho de que no hemos mejorado la maquinaria, el personal se ha deteriorado y no tienen tanto interés en mantener bajo el nivel de ruido. Las tripulaciones tienen menos experiencia y en realidad el nivel de ruido de nuestros submarinos actuales no es tan bueno como durante la guerra".*

Poco cambió en la década siguiente, los primeros submarinos nucleares estadounidenses tenían altos niveles de ruido. La alta velocidad del Skipjack agravó aun más la situación.

Un submarino tiene cinco fuentes de ruido:

1. La maquinaria en funcionamiento; la principal maquinaria y las maquinarias auxiliares, especialmente las bombas en las plantas propulsión nuclear donde circulan fluidos refrigerantes, la maquinaria rotativa desequilibrada y los engranajes pobremente mecanizados contribuían al ruido.

2. Propulsión; el flujo inducido por las palas de la hélice provocaba vibraciones y cavitación, de esta manera se formaban burbujas.

3. Perturbaciones transitorias; ruidos creados en un momento determinado, como por ejemplo el ruido que se crea cuando se cierran las escotillas de los tubos de torpedos u otras actividades propias del submarino.

4. Tripulación; esta crea continuamente sonidos sucesivos al moverse dentro del submarino, ya sea abrir escotillas, trabajar con herramientas…etc.

Silenciar a los submarinos, sería tarea muy complicada debido principalmente a las dos primeras fuentes de ruido mencionadas anteriormente: bombas, turbinas y propulsor. Dick Landing, primer comandante del Seawolf (SSN 575), recordó al almirante Rickover diciendo que: *"….hacer submarinos nucleares silenciosos es una tarea aun más complicada que la de la propulsión nuclear en sí….".*

En realidad, Rickover demostró gran interés en el silenciamiento de los submarinos, además se buscaron innovaciones para las plantas nucleares. Pero sus atenciones disminuyeron con los submarinos que se disponían, especialmente si los próximos SSN albergarían la misma planta de propulsión nuclear que el Skipjack, la S5W. Después de perder al *Thresher* (SSN 593), Rickover argumentó al comité del congreso que no tuvo la responsabilidad del hundimiento del Thresher, ya que este

submarino era un clase Skipjack en todo excepto en que equipo había sido montado de manera que fuese mas silencioso, y por tanto él no tenia nada que ver con el diseño de este.

El siguiente submarino de segunda generación sería altamente innovador en varios aspectos, especialmente en la reducción del sonido generado por la planta de propulsión. Estos fueron el *Thresher* y *Tullibee* (SSN 597). Los seis submarinos de la clase Skipjack fueron construidos entre 1955 y 1957, siendo diseñados un año anterior con un nuevo diseño de SSN. En gran parte, el *Thresher* sería el último submarino de combate diseñado por Portsmouth Naval Shipyard. Este submarino fue provisto con el reactor S5W y con un diseño similar al del casco del *Albacore,* pero con mejores armas, sensores, más profundidad operativa y mas insonorizado.

El personal de diseño de Portsmouth, realizó amplios avances de diseño, en parte debido al empleo del reactor S5W, y en parte también al diseño paralelo de los submarinos *Polaris*, nos referimos a la clase Ethan Allen (SSBN 608), por ello el departamento de proyectos especiales buscó mejorar las características de insonoridad y de profundidad a la que podría operar el submarino. El *Thresher* fue mejorado sustancialmente en la profundidad operacional, insonoridad, sonar, armas y refuerzo en el casco para aguantar impactos.

La principal característica del *Thresher* era su sonar, denominado AN/BQQ-2, este sonar reemplazaba al viejo sonar BQB-2 y el BQB-4 ambos sonares pasivos. El AN/BQQ-2 fue albergado en una esfera de 4,6 metros de diámetro con 1.241 hidrófonos. Comparado con viejos sonares, el BQQ-2 podría lograr mayores rangos de detección pasiva mediante su capacidad de distinguir entre el ruido de un blanco, los ruidos del propio buque y los sonidos del fondo del mar, tenía también la capacidad de buscar electrónicamente en tres dimensiones, permitiendo aprovechar al máximo la energía de propagación rebotada en el fondo marino. El BQQ-2 también tuvo un componente acústico activo, aunque por aquel tiempo la doctrina de sonar en los submarinos americanos se basaba sólo en operaciones pasivas.

El sonar BQQ-2, se dispuso a proa, un óptimo sitio para que el sonar pudiese operar de la mejor manera alejado de la maquinaria y de los ruidos que emanaban de la hélice. Dicha localización hizo que los tubos de los torpedos de 533 mm fueran movidos hacia popa dispuesto dos tubos por lado y con una inclinación hacia los lados del submarino de 15 grados. Los tubos de torpedos a media eslora ya habían sido propuestos por los alemanes en la segunda guerra mundial en los diseños de Type XXIB, XXIC, y XXVI. La compañía *Bereau of Ships*, encargada del diseño de los submarinos, era consciente de que el disparo en ángulo de un torpedo podría limitar la velocidad. La reducción en los tubos de los torpedos fue causada por las limitaciones del casco siendo aceptada debido a la eficiencia con respecto a los torpedos soviéticos. Se creía que el torpedo Mk 37, en servicio desde 1956, que tendría una probabilidad de

matar por cada torpedo disparado de casi 1.0, es decir, un acierto por torpedo disparado.

La clase SSN *Thresher* sería el elegido para el lanzamiento de misiles submarinos SUBROC (Submarine Rocket) a partir de 1964. Esta arma proporcionaba un medio para atacar blancos detectados por el sonar a distancias mayores del rango que tenía el Mk 37 o el Mk 45. Cuando el SUBROC fue lanzado desde un tubo de torpedos convencional, emergió del agua y proyectó una parábola recorriendo una distancia total de unas 25 millas. En el punto en el que el misil cayó, la cabeza nuclear volvió a sumergirse y detonó a la profundidad establecida. La ojiva pudo haber sido detonada con una fuerza de uno a cinco kilotones. Antes de ser lanzado el SUBROC, el sonar del submarino retransmitió una señal acústica para determinar la distancia del blanco, inicialmente detectado ya por el sonar pasivo. Este uso de sonar activo, fue breve y evitado por los capitanes de submarinos estadounidenses, que durante toda la guerra fría utilizaron el sonar pasivo.

El *Thresher* también tuvo mejor operatividad, tenía un casco fabricado en acero HY-80, el cual había sido previamente usado en la clase Skipjack, pero esta clase aun tenía una máxima profundidad de 215 metros, similar a la profundidad que alcanzaban los submarinos americanos de la segunda guerra mundial. Provistos de mejoras en las soldaduras, tuberías y otros elementos, el submarino pudo descender entonces hasta los 400 metros de profundidad. Más allá de las ventajas operacionales, ya que es mejor tener más margen para descender en profundidad (como por ejemplo, para escapar de un rango de detección de sonar), pero al mismo tiempo un incremento en la profundidad supone aumentar el margen de error para el control del buque durante algunas maniobras.

El incremento en profundidad llegó a ser el más controvertido aspecto del diseño del *Thresher*. El capitán Donald Kern, cabeza de diseño en Bureau of Ship, dijo del almirante Rickover lo siguiente:

> *"Él no quería saber nada de navegar a profundo. Pensaba que estábamos perdiendo el tiempo y que era una tontería ir a más profundidad más de la habitual, por esto luché con uñas y dientes. Tuve que discutir con él para poder desarrollar estos diseños".*



Imagen 20: la clase Thresher fue quizás la clase de submarinos más representativa de la segunda generación de submarinos nucleares. Esta se caracterizaba estéticamente por sus grandes planos de inmersión situados en el puente que proporcionaban gran habilidad para romper el hielo.
Fuente:http://navy.togetherweserved.com/usn/servlet/tws.webapp.WebApp?cmd=PublicUnitProfile&type=Unit&ID=4024 (20-3-2013)

Tres años más tarde, después de perder el USS *Thresher* en el océano, la cuestión sobre la profundidad fue de nuevo debatida en el congreso. En una audiencia ante el comité de energía atómica, el vicealmirante Lawson P. Ramage, un submarinista muy condecorado a lo largo de su actividad en la Marina y a la vez subjefe de operaciones navales de la Marina, expuso las ventajas de una navegación a mayores profundidades, incluyendo mejoras en las situaciones de maniobrabilidad. Rickover, después de haber insistido al comité sobre la importancia de ampliar la profundidad de operatividad, cambió de punto de vista:

"Seguro que nos gustaría ir navegar a mayores profundidades. Es bueno tener una máquina que pueda funcionar mejor a más profundidad. Sin embargo, hemos de ser realistas y valorar para saber que es lo importante, porque ahora mismo tenemos en cuenta demasiados factores de cara a la construcción de estos buques".

Entre muchos aspectos, el aspecto más importante del diseño USS *Thresher* fue su silencioso reactor S5W, no fue fácil para los ingenieros reducir el ruido de la planta propulsora. Previamente a esto, se había hecho algún avance en cuanto al silenciamiento de los submarinos americanos en el ruido de las bombas refrigerantes, fluidos en las tuberías de refrigeración y el ruido de turbina.

La *Royal Navy* desarrolló el concepto de *rafting* en la maquinaria de propulsión de la clase de buques dragaminas Ton[13], construidos en la década de los años cincuenta y sesenta, se basaba en aislar la maquinaria del resto del casco para reducir la vulnerabilidad de las minas acústicas. Este método no hacía disminuir el ruido de los motores, sólo aislaba. Este concepto fue adquirido por la clase de submarinos nucleares *Thresher* en abril de 1957; el primer submarino con esta característica fue construido en los astilleros Portsmounth Naval Shipyard nueve meses más tarde. Pero esto no mejoró demasiado la situación.

En el Thresher las dos turbinas y demás maquinaria de la planta nuclear fue montada siendo aislada acústicamente, de esta manera la planta propulsora no tocaba el casco. Este método incrementó el volumen que ocupaba la planta propulsora y por lo tanto suponía mayor volumen y mayor eslora del submarino, que se incrementó aproximadamente en 0.6 metros de diámetro del casco con respecto al diseño previo basado en el casco del submarino. El submarino *Thresher* tenía un desplazamiento en superficie de 3.750 toneladas, el sumarino era un 22% más largo que el Skipjack y la sección central de la eslora era del diseño del casco del submarino *Albacore*, sin embargo, el puente era alrededor de la mitad del puente del Skipjack, con estas características el submarino alcanzaba los 28 nudos.

La reducción del puente fue posible debido a la supresión de elementos de inteligencia electrónicos de estos submarinos. Se consideró que los planos de inmersión podrían ser montados en la estructura del puente y así fue construido el el submarino.

El submarino Thresher fue entregado a la marina estadounidense el 3 de agosto de 1961, con el comandante Dean L. Axene como primer capitán del submarino. El diseño del *Thresher* dio a conocer que su configuración como submarino de ataque era

[13] Fueron una clase de dragaminas construidos por la *Royal Navy*, sirvieron a esta desde 1951 hasta 1994, además de la *Royal Navy*, la clase Ton sirvió en muchas otras marinas de guerra como son; la *Royal New Zealand Navy*, la *Royal Australian Navy*, entre otras.

básica. En el año 1961, la marina estadounidense mandó construir 14 SSN con este diseño.



Imagen 21: oficiales del submarino Thresher en el puente del submarino a principios de los años 60. Nótese los importantes planos de inmersión de los submarinos Thresher.

Fuente: http://www.navsource.org/archives/08/08593a.htm (20-3-2013)

De estos 14 submarinos, sólo dos no fueron construidos en Portsmouth, el *Jack* (SSN 605) y el *Tinosa* (SSN 606). Ya que, el equipo de diseño de los astilleros ya habían construido el *Albacore*, siendo construido el submarino *Jack* con la misma configuración de doble hélice contra posicionada del *Albacore*. La cámara de maquinas del submarino Jack era tres metros más larga que otras unidades de la misma clase, debido a la modificación de la hélice y la capacidad de navegar a bajas revoluciones. Esto provocó un incremento en la eficiencia de la turbina que proporcionaba una fracción de nudo más.

La planta fue tomada como potencialmente silenciosa, en parte debido a su reactor estándar S5W similar al del submarino *Thersher*. Poco a poco, las dos turbinas del *Jack* fueron desarrollaron problemas, principalmente con los sellos y rodamientos concéntricos de las hélices, estos problemas no pudieron ser solucionados. Aún así, la

opinión de los ingenieros de Portsmouth, comprometieron mejoras en la rodamientos de las hélices. El *Jack* también usó un nuevo polímero en su casco, aparentemente este polímero reducía los ruidos de fricción del casco con el agua que pudieran interferir con el sonar.

El USS *Thresher* se hundió en 10 de abril de 1963 mientras realizada las pruebas de mar, fue el primer submarino nuclear que se perdió. El *Thresher* se hundió con toda la tripulación a bordo, 112 tripulantes más 17 civiles, fue uno de los episodios más dramáticos de la marina estadounidense.

El desastre hizo que se llevasen a cabo exhaustivos exámenes de los procedimientos de emergencia a bordo de los submarinos, porque en un primer momento aparentemente se creyó que el reactor falló. Esto pudo ocurrir por diversos motivos, como por ejemplo un desfallecimiento del reactor, un reactor defectuoso entre otras muchas hipótesis.

El almirante Rickover ordenó una reducción en el tiempo necesario para reactivar el reactor en una emergencia. La marina ordenó una cuidadosa revisión de todas las tuberías y juntas de los submarinos de la misma clase que el USS *Thresher*. El sistema de deslastrado fue demostrado que no sería capaz de elevar al submarino de grandes profundidades oceánicas, por eso este sistema fue modificado; y también se realizaron otros cambios además del sistema de deslastrado, muchos denominaron a este paquete de medidas de seguridad como SUBSAFE (Submarine Safety).

Las críticas de Rickover a la construcción de los submarinos, hechas con un comité conjunto, hicieron que los procedimientos estándares fueran forzados a cambiar rápidamente. Esto significó un incremento de la influencia por parte de la marina americana en el diseño y construcción de los submarinos, que hasta entonces no era tan importante.

Los submarinos que aun estaban por finalizar en los astilleros de la clase *Thresher* fueron retrasados para implantar el paquete de medidas de seguridad SUBSAFE, esto afectó a tres submarinos, SSN 613, 614 y 615, fueron alargados 4,2 metros, ya que se añadió una sección delante de la sección del mamparo. Esta sección contaba con las medidas del SUBSAFE, estas medidas eran principalmente una mayor reserva de flotabilidad, pero también se incluyeron sistemas de inteligencia, y así también se añadieron diversos sistemas al puente del submarino todos ellos de inteligencia.

Los diseñadores soviéticos de submarinos, siguieron cuidadosamente y muy de cerca las acciones de la marina estadounidense sobre las consecuencias de la pérdida del USS *Thresher*.

7.1. Submarinos *Hunter-Killer*

Casi paralelamente al diseño de la clase *Thersher*, se desarrollaron submarinos pequeños, denominados como *hunter-killer*, el primero de esta clase fue el *Tullibee*. En un primer momento, la clase K1 de submarinos fue un fracaso, en parte, porque tenían un rango de operatividad demasiado limitado, ya que no contaban con propulsión nuclear, pero esta le podría proporcionar el límite que pusiese la propia tripulación o hasta que se gastasen los torpedos. Estos, submarinos SSK, al ser más pequeños que un submarino normal serían también menos caros que un SSN y por lo que podrían ser producidos en cadena para contrarrestar el incremento de la amenaza submarina soviética.

La propuesta de los SSKN tuvo un diseño inicial de 900 toneladas de desplazamiento en superficie y sería propulsado gracias a un reactor con agua presurizada. Los reactores que serían dispuestos en este tipo de submarinos serían los S1C/S2C que producían un total de 2,500 hp, una sexta parte de la potencia que desarrollaba la planta S5W de los submarinos Skipjack y Thresher. El *Tullibee* tuvo un reactor eléctrico, por lo que prometía ser más silencioso que la propulsión nuclear de aquél entonces. Además este tipo de propulsión tendría una buena respuesta que permitiría en cuestión de pocos segundo toda avante o toda atrás (alcanzaba 200 revoluciones por minuto aproximadamente). El submarino tendría sólo una hélice, como los otros submarinos de segunda generación. Pero a diferencia de los otros submarinos contemporáneos, el *Tullibe* no disponía de un sistema de emergencia para subir a la superficie. El reactor prototipo fue el S1C instalado en tierra, y una planta similar fue instalada en el submarino Tullibe, denominada S2W.

Electric Boat fue la empresa elegida para construir el SSKN. El reactor del *Tullibe* y otras características del submarino fueron alcanzando mayores dimensiones, conforme se desarrollaba la construcción, tal fue así que el desplazamiento final del submarino en superficie fue de 2.117 toneladas. La forma del casco del submarino, similar al casco del submarino *Albacore*, fue modificada. La mitad de la estructura era paralela un lado del otro y el puente de navegación más pequeño. Sin embargo, el *Tullibe* fue construido con HTS (High Tensile Steel), y no con HY-80 que limitaba la profundidad operativa de los submarinos a 215 metros de profundidad. A este submarino se le instaló el AN/BQQ-1 y así se le instalaron los correspondientes torpedos a media eslora y en ángulo de 15 grados respecto a la línea de crujía.

El *Tullibee* fue comisionado el 9 de noviembre de 1960. El submarino fue designado como, SSN 597 y no como se había denominado a lo largo de su diseño y

construcción, con las siglas SSKN. Su tripulación estaba compuesta por 6 oficiales y 50 marineros, 32 tripulantes menos que los que precisaba la clase Thersher.

El submarino fue empleado en la búsqueda/rescate y, llevó a cabo desarrollos para los SSN. Operacionalmente, el *Tullibee* superó las mayores limitaciones, incluyendo las bajas velocidades para el tránsito en un área concreta de operaciones, en el área operacional, algunos cuestionaron la baja velocidad del buque, 16 nudos, "*….en mi experiencia con los submarinos, yo nunca vi que esto fuera un problema real*", dijo un oficial del submarino.

La construcción de más submarinos de este carácter, no se llevó a cabo, la decisión fue tomada por la marina, con el fin de procurar solo la construcción de submarinos más largos y más versátiles que los de la clase Thresher y así construir sólo submarinos de ataque.

Los siguientes 14 submarinos de la clase *Thresher* fueron más largos que los submarinos de la clase *Sturgeon*. El reactor que llevaban a bordo era el S5W, mas tarde estos submarinos mejoraron en sus características silenciosas y se incrementó su eslora, así esto último permitió que volviera a bordo la inteligencia electrónica, que había sido eliminada en la clase Thresher, además se mejoraron los planos de inversión, podían rotar 90 grados, esto hacia que fuera más fácil romper el hielo del ártico para emerger. El coste de esta serie de mejoras fue un incremento en el desplazamiento de 510 toneladas más que en el diseño original del Thresher y unos nudos más lento. Los últimos nueve *Sturgeon* fueron alargados en 3,1 metros, durante su construcción y se le añadió espacios adicionales para dispositivos de inteligencia y al mismo tiempo ganar más espacio en el submarino para cualquier circunstancia, como operaciones con submarinistas… etc.

Un submarino clase Sturgeon, el *Parche* (SSN 683), fue extensamente modificado para misiones especiales. El submarino fue sometido a las modificaciones en los astilleros de Mare Island, fue repostado y modificado de enero de 1987 a mayo de 1991. Estas tardías modificaciones incluyeron la adición de una sección de 30,5 metros lo que significó una remodelación en todo su repertorio de sistemas de inteligencia como por ejemplo, un dispositivo para mantener comunicación con los satélites y equipamientos para estudios del fondo oceánico.

El programa, conocido como Ivy Bells, llegó en 1971 con una extensa reconversión del submarino *Halibut* (SSN 597) y desde 1976, el *Parche* fue empleado para instalar dispositivos de comunicación que podían retrasmitir datos hasta los 400 metros de profundidad, de esta forma se llevaron a cabo misiones de espionaje en el mar de Ojotsk, en este mar se encuentra la península de Kamchatka donde existían bases militares soviéticas. También los submarinos llevaban a bordo cámaras presurizadas donde submarinistas podrían ejercer de espías de escuchas telefónicas desde el fondo

del mar. (Estas operaciones fueron reveladas a los soviéticos en enero de 1980 por un traidor americano, Ronald Pelton; los comunistas a raíz de saber esto rápidamente comenzaron una ofensiva de espionaje a Estados Unidos).



Imagen 22: submarino Tulibee realizando pruebas de mar en el verano de 1960.
Fuente:http://www.navsource.org/archives/08/08597.htm (20-3-2013)

Con el final a la vista del proyecto Polaris, construyéndose 41 submarinos en este proyecto, (submarinos especializados en lanzar misiles), el congreso aprobó fondos para acelerar la producción de submarinos SSN, con lo que se completaron, entre 1967 hasta 1975, un total de 37 submarinos clase SSN Sturgeon. El ritmo de construcción, un ritmo de cuatro SSN por año, fue debido a que el programa Polaris había finalizado, el último SSBN (polaris) fue finalizado en 1967, por tanto los astilleros se quedaron libres.

Se produjo una modificación en la construcción de un submarino de la clase *Sturgeon*, el *Narwhal* (SSN 671) que fue ampliado. Este submarino tuvo un reactor S5G con una configuración de "circulación normal", donde la convección movía el agua presurizada a bajas velocidades, elevando el ruido que venía del circuito de las bombas. Velocidades bajas y el accionamiento directo de las turbinas fueron empleadas en el *Narwhal*, tal y como en el submarino *Jack*. Completado en 1969, el *Narwhal,* demostró

rápidamente la eficiencia de la circulación normal, la cual fue adoptada por las plantas de los futuros submarinos estadounidenses.

Un adicional SSN sería construido con una planta S5W modificada, este submarino fue el *Glenard P.Lipscomb* (SSN 685). El S5W representó exactamente lo que había buscado Rickover, en los reactores nucleares simplicidad y practicidad.

Además, el *Thersher* sirvió como diseño, del modelo de la clase *Ethan Allen* (SSBN 608) del programa Polaris, en términos de diseño interior, sistemas y capacidad de profundidad operativa; de la misma manera que el *Skipjack* había sido el modelo para la clase de submarinos *George Washington* (SSBN 598).

Los Estados Unidos habían construido 98 submarinos con el reactor S5W, 57 de la segunda generación de submarinos SSN y 41 submarinos SSBN. Los Británicos construyeron su primer submarino nuclear SSN, el HMS *Dreadnought*, con un reactor S5W facilitado por Estados Unidos.

Con las habilidades de la clase *Sturgeon*, los submarinos americanos volvieron a las operaciones bajo el hielo del ártico. A raíz a la pérdida del *Thersher* a consecuencia de las limitaciones de los SSN, la marina se abstuvo de enviar submarinos a este tipo de misiones, esta abstinencia concluyó con la implantación del programa SUBSAFE. El *Queenfish* (SSN 651) fue el primero de varios submarinos de la clase *Sturgeon* que llevaron a cabo grandes operaciones bajo el hielo ártico, fue el primer submarino que, en febrero de 1967, con sólo una hélice logró romper la capa de hielo que cubría la superficie del polo norte geográfico. El *Whale* (SSN 638) y el *Pargo* (SSN 650) fueron los siguientes submarinos de su clase en llegar al polo norte y emerger con éxito (rompiendo la capa de hielo), ambos lo hicieron en abril de 1969, operando bajo el hielo sin problemas, incluyendo las dificultades que existían para lanzar los torpedos bajo el hielo debido a las vibraciones que provocaban la reverberación.

Innegablemente, las operaciones en el ártico fueron más numerosas con el fin de observar el rápido crecimiento de la flota submarina soviética. En 1970 la marina soviética superaba a la marina americana en número de submarinos nucleares.

8. Segunda generación de submarinos nucleares soviéticos



Imagen 23: submarino Alfa, podemos observar el diseño del puente que lo caracterizaba, este diseño además proporcionaba al submarino una muy alta velocidad en inmersión. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Clase_Alfa (20-3-2013)

Como la marina estadounidense, la marina soviética también desarrolló la segunda generación de submarinos. Ambas marinas desarrollaron a la vez múltiples clases de submarinos nucleares, aunque la marina soviética se esforzó más con esta segunda generación.

En la década de los años 50, estrechamente antes de que el Proyecto 627/*November* se hiciera a la mar, tres diseños estaban siendo propuestos para su construcción con características innovadoras. Más allá de los programas Proyecto 661/*Papa* SSGN y Proyecto 705/*Alfa* SSN, en 1958 el comité de construcción de la marina soviética inició una competición entre tres compañías para la construcción de submarinos de segunda generación, estas eran; TsKB-18/Rubin, TsKB-112/Lazurit y SDB-143/Malachite.

Con esto se pretendía construir cuatro proyectos, es decir cuatro clases de submarinos, estas eran:

- ✓ Proyecto 667: submarino nuclear de misiles balísticos (SSBN)
- ✓ Proyecto 669: gran submarino nuclear con torpedos pesados (SSN), continuación del November.
- ✓ Proyecto 670: submarino nuclear pequeño especializado solo en torpedos (SSN)
- ✓ Proyecto 671: submarino con torpedos y sonar (SSKN)

El último submarino (proyecto 671) tendría un desplazamiento en superficie de no más de 2.000 toneladas para que se pudiera construir submarinos en serie; estos tendrían un armamento de cuatro tubos de torpedos y cargarían 8 torpedos, tendrían una velocidad de 30 nudos y podrían llegar a descender hasta 300 metros de profundidad, según los criterios occidentales se catalogarían en un SSKN.

A principios de 1961, el principal portavoz de la marina soviética, el almitante Vasily I. Platonov, escribió en un documento altamente clasificado lo siguiente:

> *"Las armas antisubmarinas provistas con equipo hidro-acústico pueden ser las armas reales con las que se pueden combatir a los submarinos balísticos.*
>
> *Bajo del agua el sonar busca, bajo el agua patrulla y bajo el agua tiende emboscadas gracias a métodos tácticos. Los submarinos de misiles deben ahora tener la capacidad de sumergirse a grandes profundidades para tener margen de caza y destrucción y olvidar los combates en aguas someras. Este es el único camino a seguir".*

Pronto fue evidente que el Proyecto 671 sería solo SSN y que por lo tanto sería construido para atacar mediante torpedos, pero al final el proyecto tomo otra vertiente y se construyó un submarino de carácter multipropósito. Su desplazamiento fue el máximo que se podía construir en los astilleros "Leningrad", se trataba de un desplazamiento en superficie de 3.500 toneladas, al ser tan grande no era posible una correcta construcción por lo tanto el submarino aun incompleto se transportó a otro astillero en Severodvinsk a través del canal Baltico-Belomor[14] (conecta el báltico con el océano ártico), para terminar la construcción.

Una única hélice fue puesta en el submarino de 4,5 metros de diámetro, inmediatamente después se situaban en la eslora del buque las ayudas pasivas a la navegación. El submarino además contaba con dos hélices de maniobra, cada una de ellas en horizontal como apoyo a los planos de popa, para poder maniobrar con

[14] Este canal une el mar Báltico con el mar Blanco, a través de los lagos; *Lagoda*, *Onega* y *Vygozero*. Su construcción fue terminada en 1933 bajo el gobierno *stalinista*, siendo los prisioneros del GULAG quienes lo construyeron cobrándose un total de 10.933 vidas humanas.

precisión a velocidades bajas propias de entrada a puerto, estas son las ayudas activas del submarino.

El submarino contaba además con la propulsión en modo emergencia, las hélices de maniobra podían ser encendidas con las bobinas del buque, las cuales se cargaban mediante la planta nuclear, o si esto fallaba el submarino contaba además con un *snorkel* para su motor auxiliar diesel.

El proyecto 671/*Victor*, tuvo una modificación en el caso, fue provisto de un amplio diámetro de casco que permitió que a ambos costados se instalase dos VM-MP reactores y dos turbinas OK-300.

El diseño del proyecto 671/*Victor*, fue iniciado en SDB-143 en 1958, bajo las órdenes de Leonid A. Samarkin. Un año más tarde, cuando el proyecto 671 estaba propulsado por una única hélice, aquí se introdujo este nuevo concepto en la marina soviética. Esta característica fue aceptada debido a que así bajaría el nivel de ruido que las hélices provocaban, también esto provocaba menor desplazamiento y velocidades más altas, es decir, con la misma potencia, un submarino con una hélice navegaba más rápido que un submarino con dos hélices.

El submarino se diseño un puente hidrodinámico que facilitaba la navegación y disminuía vibraciones. Los dos reactores con una sola turbina y con una sola hélice desarrollaba 31.000 hp.

Una sola hélice incrementó la propulsión, alrededor de un 30% con respecto a la propulsión de dos hélices, esta única hélice estaba propulsada por dos reactores totalmente independientes, además de sus sistemas de propulsión auxiliares y equipos. Con la reducción de la eslora con un menor desplazamiento en inmersión y más velocidad. Aunque el proyecto 671/*Victor* tuvo un 30% más de desplazamiento que el *November*, los dos diseños tenían mucho que ver. Con una potencia similar, el Proyecto 671 tuvo una velocidad máxima de 33 nudos.

Los siguientes submarinos de segunda generación tuvieron reactores de agua presurizada con un diseño mejorado a los anteriores reactores, tenían una configuración de doble reactor. Las planta propulsoras del Proyecto 671/*Victor* SSN del Proyecto 667/*Yankee* SSBN fueron similares, sin embargo el proyecto 670/*Charlie* SSGN era de menor dimensión y con un único reactor similar a los nombrados anteriormente. La introducción de corriente alterna, 380V 50 Hz en el proyecto 671 /*Victor* proporcionando una mejora muy importante en la fiabilidad de la red eléctrica del buque.

Donde más empeño se puso en el diseño del Proyecto 671/*Victor* fue en la reducción de su propio ruido, así se dotó al submarino de compuertas automáticas en las aperturas de los tanques de lastre para reducir el ruido. Los submarinos siguientes al proyecto 671/*Victor*, tuvieron un casco anecoico (anti ruidos), y una amortiguación

de una acero especial que evitaba las vibraciones del interior del submarino se propagasen al casco exterior y de ahí al medio.

Con una configuración de doble caso, el Proyecto 671/*Victor* tenía un total de 7 compartimentos, sala de torpedos/batería/maniobras, sala de gobierno, reactores, turbina, equipos auxiliares, sala de motores diesel, y por último cámara de motores eléctricos.

El doble caso, con tanques de lastre a lo largo de toda la eslora, hizo que los submarinos soviéticos continuasen teniendo una gran reserva de flotabilidad.

En los diseños también se introdujeron aceros más fuertes como AK-29, este acero era el equivalente al acero HY-100 de la marina estadounidense. Este acero hizo que se incrementara la profundidad en un 33% es decir, hasta los 400 m. de profundidad operativa, la misma profundidad que alcanzaban el proyecto 661/Papa, el proyecto 705/*Alfa*, y el americano *Threster* (SSN-593).

El proyecto 671/*Victor* estaba dotado con 6 tubos lanzatorpedos con 12 recargas y con un calibre de 533 mm. Todas las armas eran manejadas automáticamente, los torpedos se recargan automáticamente, mediante un sistema hidráulico. Los torpedos podían ser lanzados a una profundidad máxima de 250 m. Los tubos lanzatorpedos estaban dispuestos en la parte superior del caso en la proa. Esta característica permitía lanzar los torpedos a una velocidad superior de la del submarino y superiores también a los torpedos lanzados en ángulo que caracterizaba a los submarinos americanos.

En la parte inferior de la proa se situaba el sonar Rubin MGK-300, la unidades más tardias se las instaló el Rubikon MGK-503.

El K-38, fue el primer submarino del proyecto 671, puesto en grada en abril de 1963 en los astilleros de Leningrado. Este submarino fue el primer submarino nuclear construido en estos astilleros, anteriormente, en 1959, fue construido, en estos mismos astilleros, el primer buque rompehielos. El K-38 fue lanzado en el rio Fontanka, en julio de 1966. En el otoño, de dicho año, durante un test de la planta nuclear, se produjo un accidente a consecuencia de la sobrepresión en un generador de vapor.

Las reparaciones fueron concluidas y la construcción siguió adelante. En julio de 1967 el submarino fue transportado a través de un canal que une el mar Báltico con el mar Blanco a Severodvinsk para terminar las pruebas de mar. Durante las pruebas de mar, el K-38 batió tres records, estos fueron: velocidad bajo el agua, máxima profundidad y armas utilizadas a máxima profundidad. También tuvo una excelente maniobrabilidad.



Imagen 24: observamos un submarino Victor con las dos escotillas del reactor, que caracterizaban a las tres versiones de submarinos Victor. Pintadas en rojo y blanco una en popa y otra en proa.
Fuente:http://dodimagery.afis.osd.mil/imagery.html#guid=754fc912a659337cb482fb5b7160fb753339d558 (20-3-2013)

Con el Capitán Rank E.D. Chernov al mando, el K-38 se entregó a la marina, el 5 de noviembre de 1967. El proyecto 671 tuvo un diseño relativamente conservador, era el sucesor directo del *November.* Después de esto se empezó a diseñar y construir 15 submarinos de la misma clase, la construcción del último de estos 15, finalizó en 1974, todos ellos fueron construidos en los astilleros de Leningrado.

Mas tarde, el diseño de estos submarinos fue alargado, 9,3 m. y el diámetro del caso se incrementó en 0,5 m., la mayor parte de la modificación se basó en alargar el buque con la finalidad de mejorar las características de las zonas del armamento y del silenciamiento. Esta versión del proyecto 671, se llamó proyecto 671RT/*Victor II*.

Dos de los seis tubos lanzatorpedos de 533 mm, fueron reemplazados por dos de 650 mm. El total de torpedos cargados sería 18 de 533 mm. Y 6 torpedos de 650 mm. Además, fue instalado el sonar Skat, reemplazando al sonar Rubin, y se mejoró en características de silenciamiento.

El proyecto 671RT, introdujo cambios en las bases de los diseños soviéticos, significativamente se redujo la maquinaria y por tanto una reducción del ruido. La

inteligencia norteamericana estimó que el Proyecto 671RT tuvo los mismos niveles de ruido que la clase de submarinos Sturgeon, completada 5 años antes.

Solo se construyeron 7 submarinos del Proyectos 671RT, entre los años 1972 y 1978, tres de ellos en Leningrado y los cuatro restantes en los astilleros Krasnoye Svmoro en Gorkiy. El Proyecto 671RT, fue truncado debido a que se buscaron más mejoras en el diseño, así nació el proyecto 671RTM/*Victor III*. El diseño se alargó de nuevo, unos 4,8 metros, fue más silencioso, tuvo mejoras electrónicas (incluyendo el sonar Skat-K) y cargó más armas y mejores. Estas mejoras en las armas incluyeron el nuevo torpedo RPK-55 Grumat.

El proyecto 671RTM, incluía mejoras de hidrófonos, se trataba de un sonar montado en la aleta del timón de popa en forma de bulbo. Esta pieza estructural, medía de largo 7'8 metros y tenía un diámetro de 2,2 m., es decir el tamaño de un microbús.

Varias propuestas fueron valoradas por los observadores occidentales cuando observaron por primera vez este "bulbo" en la popa, se barajaron las siguientes hipótesis, podía tratarse de: una torre de comunicación, un torpedo señuelo o un sistema de propulsión auxiliar para una navegación extremadamente silenciosa en operaciones bajo el agua a velocidades menores de 12 nudos.

Los conceptos teóricos de propulsión incluían MHD (Magnetohudrodynamic) o EMT (Electromagnetic Thrust) estos sistemas de propulsión jugaban mucho con las características del caso para penetrar en el fluido, esto es comparable a la propulsión a reacción en agua. Por diversas cuestiones técnicas, el uso de este dispositivo no fue ni MHD ni EMT no era práctico, ya que necesitaría esto diversas instalaciones eléctricas demasiado complejas.

Estos "bulbos" en la popa que dieron mucho que hablar en occidente, fueron también incluidos en los diseños de el Proyecto 945/*Sierra*, el Proyecto 971/*Akula* y en la reconversión de un submarino del Proyecto 667A/*Yankee*. El alargamiento del casco de los 671RT y 671RTM no aumentó la velocidad sino que perdió algo de velocidad, su velocidad máxima se redujo hasta 31 nudos.

Los astilleros *Admiralty* de Leningrado construyeron el primer Proyecto 671RTM, este fue el K-524, completado en 1977. En estos astillero *Admiralty* y en los astilleros Komsomolsk en el extremo oriente de la URSS se construyeron hasta 1992, 13 submarinos del Proyectos 671RTM. En total se construyeron 48 submarinos SSN del Proyecto 671/*Victor*, en tres versiones diferentes, fue el Proyecto que más se construyó

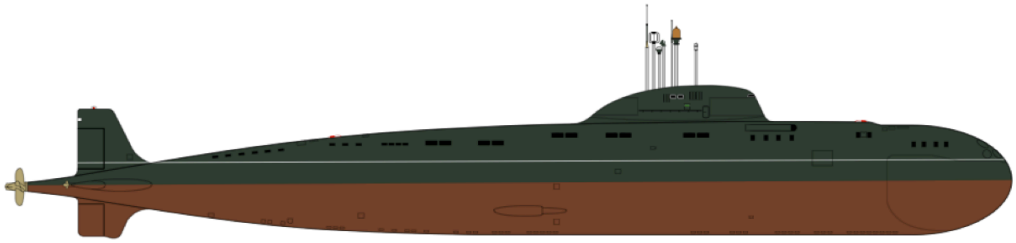
en la URSS, el submarino homólogo a este sería la clase americana *Los Angeles*, de la cual se construyeron 62 submarinos casi simultáneamente con los soviéticos.

El proyecto 671 abarcaba el concepto de submarino SSKN y el submarino multi-propósito SSN, así los proyectos 669 y 673 no fueron diseños de submarino de ataque ya que está función la ocupaba el proyecto 671. El proyecto 669 fue concebido como la continuación del *November*, este submarino fue provisto con 8 tubos lanzatorpedos y cargaba hasta 30 torpedos. La compañía SBD-143 fue la elegida para el diseño del Proyecto 669, el cual tuvo un solo reactor y un desplazamiento entre 4.000 y 5.000 toneladas.

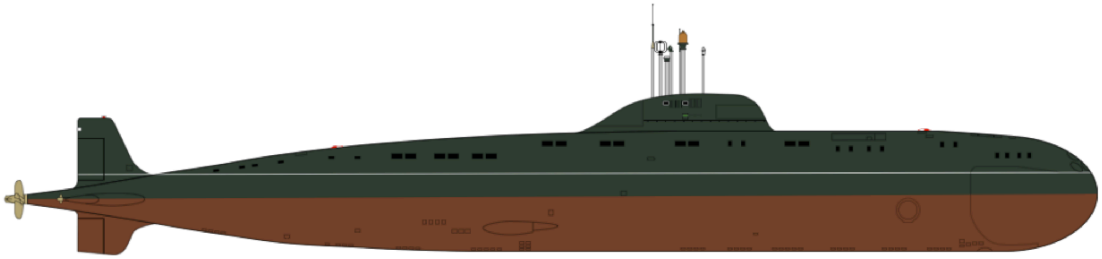
El proyecto 673, se llevó a cabo por la compañía SBD-112 en 1960, fue pensado como un SSN de mayor tamaño, con un desplazamiento en superficie de 1.500 toneladas y con un único reactor que produciría 40.000 hp y alcanzaba los 35-40 nudos. Esta rápida embarcación, estructuralmente no tendría la forma del puente. Su armamento serían 6 tubos lanzatorpedos y un total de 12 a 18 torpedos. Al final no se llegaron a construir ni el Proyecto 673 ni el 669.

Estos submarinos tuvieron como primera misión la de ASW (Anti-Submarine Warfare). De acuerdo con la inteligencia de la marina, la misión más importante que desarrollaban los submarinos *Victor* SSN, era operar en conjunto con los SSBN soviéticos, como escoltas. En efecto, la adopción del proyecto 671/*Victor* como principal SSN, marcó un cambio en las fuerzas de ataque submarinas, hacia campañas anti-buques, con énfasis en la lucha contra los portaviones.

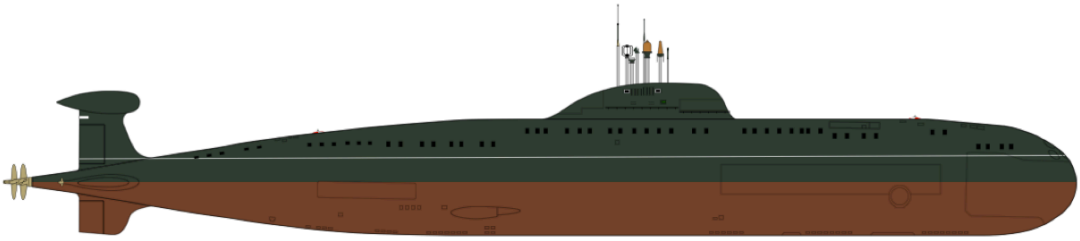
El director de la inteligencia naval, señaló a principios de la década de los 80, que la versión *Victor III*, tendría como misión más importante la de ASW, fuera de las costas americanas.



Victor I



Victor II



Victor III

Imagen 25: en esta pagina observamos las diferencias de las tres versiones de los submarinos Victor, observándose las hélices de maniobra en las tres versiones y diferencias más notables entre dos primeros y el tercero, en este último observamos el bulbo y la doble hélice. La diferencia más significativa entre la versión I y la II es la eslora. (Dichas diferencias descritas en el anterior párrafo son sólo a simple vista). Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Clase_Victor (20-3-2013)

Un *Victor III*, el K-324, operaba frente a las costas del Este de Estados Unidos, cuando su puente fue dañado por la fragata americana *McLoy* (FF-1038) en Noviembre de 1983. El Submarino navegó a Cuba para ser reparado.



Imagen 26: momento del accidente del K-324 con la fragata McLoy en 1983.
Fuente:http://www.acig.org/artman/publish/article_477.shtml (20-3-2013)

8.1. Proyecto 670/Charlie SSGN

EL alto coste del Proyecto 661/*Papa* SSGN, obligó a los líderes soviéticos de la marina a considerar la adopción del misil P-70, era un misil más pequeño y de menor coste destinado al SSGN.

El Proyecto 672, fue desarrollado por la compañía SDB-143, desde 1958 hasta 1960, como un pequeño SSGN, con un desplazamiento en superficie menor a 2.500 toneladas, pero con una planta nuclear, entre la planta del Proyecto 627 (VM-A) y el proyecto 645 (VM-T), esta planta produciría un total de 40.000 hp y una velocidad de entre 30-35 nudos. Con un casco de titanio que hacía que el submarino pudiese descender hasta los 500 m. El armamento consistía en tubos lanzatorpedos y misiles crucero de medio alcance. Para proporcionar estas capacidades a un submarino tan pequeño se encontraron demasiadas dificultades, por lo tanto este diseño se desestimó.

En lugar de este diseño, los soviéticos desarrollaron el Proyecto 670, como un submarino de misiles crucero.

Originalmente el Proyecto 670 fue más pequeño para poder fabricarlos en masa. En mayo de 1960 el diseño fue completado y revisado por SKB-112 en *Gorkiy* y fueron cargados los misiles crucero *Amethyst*. La empresa constructora del submarino sólo había construido submarinos diesel-eléctricos. SKB-112, desarrolló el Proyecto 670, siendo su principal diseñador V.K. Shaposhnikov desde 1958 al 1960, este submarino fue diseñado para atacar portaaviones y blancos de tamaño importante.

Siendo un SSGN, el proyecto 670/*Charlie* fue relativamente pequeño con un desplazamiento en superficie de sólo 3.574 toneladas, cargado de 8 misiles crucero *Amethyst*. Fue un submarino de doble casco con siete compartimentos; la estructura del puente fue construida de aluminio para reducir el peso. Este proyecto fue el primer submarino soviético en tener un solo reactor nuclear, era el reactor VM-4. La turbina OK-350 proveía a la única hélice un total de 18.800 hp. El reactor del Proyecto 670 llegaba a producir el 60% de la potencia que producían dos reactores del proyecto 671. El SSGN, podía navegar hasta los 26 nudos y a descender hasta los 350 metros de profundidad.

El casco en muchos aspectos era similar al casco del proyecto 671, el SSGN tendría una gran proa, ya que en la proa, el submarino albergaba 4 misiles cruceros *Amethyst*, a cada lado, estos misiles estaban dispuestos entre los dos cascos, exterior e interior, en un ángulo de 32,5 grados. Los torpedos consistían en 4 tubos lanzatorpedos de 400 mm. Contaba con el sonar Kerch-670, con un sistema de hidrófonos a lo largo de toda la proa.

Once fueron los submarinos que se construyeron del Proyecto 670/*Charlie I*, fueron construídos en Krasnoye Sovmoro y en *Gorkiy* entre los años 1967 y 1972.

Entre los muchos atributos, los misiles *Amethyst* tenían un relativo radio de acción amplio, 38 millas náuticas, esta característica limitaba al submarino que serviría para asegurar el territorio soviético pero no para un ataque al enemigo, aún con las limitaciones del misil este necesitaba un sistema complejo a bordo para su correcto funcionamiento.

Además, el misil no fue estandarizado, por lo que sólo podía utilizarse desde submarinos en superficie y sumergidos. Consecuentemente, en 1963 se desarrolló el avanzado misil P-120 Malachite/SS-N-9. La mayor diferencia entre el Malachite y el anterior fue el nuevo combustible sólido y que aumentó el radio de ataque en 1,5 veces.



Imagen 27: submarino Charlie I navegando en la década de 1970.
Fuente:http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charlie_class_submarine.jpg (20-3-2013)

La compañía SKB-112 diseñó el proyecto 670M/*Charlie II*, 8,9 m. más largo y 680 toneladas más pesado en superficie, que su predecesor. A esta segunda versión se le instalaron misiles P-120 Malachite, además de un sonar mejor, el Skat-M, y de nuevos sistemas electrónicos. El proyecto ganó dos nudos con respecto a la primera versión.

Los astilleros Krasnoye Sovmoro produjeron seis submarinos del Proyecto 670M desde 1973 a 1980. Mientras el Proyecto 670/*Charlie* fue superior a los submarinos predecesores del Proyecto 675/*Echo II*, porque podían lanzar misiles estando sumergidos pero aún no tenían la suficiente velocidad bajo el agua para alcanzar a un portaaviones. Esta cuestión fue corregida con el Proyecto 661/*Papa*, y con la tercera generación de submarinos SSGN, es decir, el Proyecto 949/*Oscar*.

Después de 20 años de servicio a la armada Soviética el submarino, K-43 del Proyecto 670, fue vendido a la Armada India. Este fue el primer submarino nuclear en la historia en ser transferido de una marina a otra. Los marinos indios comenzaron en 1983 en la ciudad oriental de Vladivostok sus entrenamientos en tierra y en mar del K-43. Los colores de la bandera India no fueron izados en el submarino hasta el 5 de enero de 1988, fue renombrado con el nombre de *Chakra*. El K-43 estuvo operando en la marina India, hasta enero de 1991, el submarino tomó de nuevo los colores soviéticos hasta ser decomisado en julio de 1991. El K-43/*Chakra*, entrenó en torno a

150 marinos indios para ejercer un servicio de propulsión nuclear. Desde el K-43 ningún otro submarino nuclear a operado para la marina india.

Menos gloriosa fue la carrera que tuvo uno de los submarinos gemelos del K-43: se hundió dos veces. El K-429, un *Chalie I* SSGN, se hundió a 50 m. de profundidad frente a las costas de Petropavlovsk , en el extremo oriente, el 24 de Junio de 1983, murieron 16 tripulantes de un total de 90 tripulantes que llevaba a bordo. Las fuerzas de rescate localizaron el submarino hundido, y al día siguiente se pudo rescatar a los supervivientes del hundimiento, este se produjo a causa de una serie de errores. El submarino fue rescatado en agosto del mismo año. Mientras era reparado el K-429 se hundió de nuevo la mañana del 13 de septiembre de 1985. Fue de nuevo rescatado pero no volvió a prestar servicio a la marina soviética. Otro submarino gemelo, K-314, sufrió una fusión del reactor mientras estaba en Pavlosk en el extremo oriental de la Unión Soviética, de nuevo se produjo por un error humano. Ningún tripulante murió, ni tampoco hubieron fugas en el reactor que hubiesen provocado radiación, este accidente se produjo en diciembre de 1985.

Otro de los submarinos de misiles crucero, que fueron diseñados en este período fue el Proyecto 705A, un SSGN variante del *Alfa* SSN. Inicialmente las escotillas de este submarino se situaban en la elongación del puente, a popa de los periscopios de este. Tenía 6 tubos lanzamisiles que albergarían misiles crucero *Amethyst* anti-buques. Internamente, el diseño del Proyecto 705A tuvo significativos cambios con aproximadamente la misma eslora que un submarino de ataque y un desplazamiento en superficie, un poco mayor.

El número de tubos lanzatorpedos se mantuvo, pero en esta etapa de la guerra fría sólo se produjo en serie el Proyecto 670/*Charlie* SSGN para ocupar la misión de anti-buques de superficie.

Mientras el diseño y construcción de la segunda generación de submarinos estaba en marcha, en octubre de 1964, Nikita Khrushchev fue derrocado en un golpe de estado pacífico. Su sucesor a la cabeza del partido comunista y por tanto, al mando de la Unión Soviética fue Leonid Brezhnev.

Khrushchev tuvo practicamente detenido el desarrollo y producción de armas convencionales, y en su lugar hizo hincapié en las armas estratégicas nucleares y en los submarinos.

Bajo Brezhnev las fuerzas armadas se sometieron a una reducción presupuestaria; el desarrollo y producción de armas convencionales y estratégicas adquirieron más protagonismo. El almirante Gorshkov tuvo que seguir el dictamen de Khrushchev, disponiendo de anticuados buques de superficie y así desviar todos los recursos hacia los submarinos, buques con misiles y aviones armados con misiles. Se

aprobó la construcción de un helicóptero que estaría armado con misiles y pesaría alrededor de 19.000 toneladas totalmente cargado.

Bajo el régimen de Brezhnev, el almirante Gorshkov propuso un extenso programa de construcción naval. Grandes buques con misiles y aviones de combate, también con misiles, fueron construidos, con este último programa se encargaron en Ul'yanovsk, algunos contaban con un desplazamiento de 75.000 toneladas, los cuales fueron puestos en grada en 1988, pero nunca se completaron debido a la disolución de la Unión Sovietica.

8.2. Resumen

Mientras que Estados Unidos, tuvo relativamente pocos submarinos de primera generación, la Unión Soviética construyó 56 submarinos entre SSN, SSBN y SSGN. Estados Unidos inició la segunda generación mucho antes de que lo hiciese la URSS, los americanos utilizaron exclusivamente para la segunda generación los reactores S5W, así se construyeron un total de 100 buques entre SSN y SSBN durante un período de 17 años. La Unión Soviética produjo unos 137 submarinos de segunda generación entre SSN, SSBN y SSGN durante 26 años.

Los diseños soviéticos buscaron submarinos robustos y de gran manga ya que tenían doble casco. Los submarinos americanos de segunda generación, sin embargo, buscaron sus diseños a partir de la clase Thesher. Las características de los submarinos comunistas se basaban en alta velocidad y la alta automaticidad del Proyecto 705 /*Alfa* SSN, este era el submarino más innovador del momento. Mientras el Proyecto 661/*Papa* y el Proyecto 670/*Charlie*, ambos SSGN, introdujeron los misiles crucero que podían ser lanzados estando sumergido el submarino.

La clase *Alfa* y *Papa* también fueron innovadoras en la construcción de su casco, los submarinos de estas clases estaban construidos con titanio entre otros materiales. Y, mientras los submarinos estadounidenses eran más silenciosos, los soviéticos progresaban en el empleo de los materiales de construcción.

Desde el punto de vista del rol que jugaban los submarinos, este fue el período más importante, el submarino *Víctor* cambió la estrategia de anti-buque o batalla naval en mar abierto a operaciones ASW contra submarinos americanos de misiles estratégicos y contra portaaviones. Ambos buscaron la protección contra un ataque nuclear americano.

El proyecto 670/*Charlie* SSGN amparó muchas asignaturas pendientes de los primeros proyectos de SSGN, como los proyectos 651/*Juliett* SSG y 675 /*Echo II* SSGN, así el proyecto *Charlie* supuso la mayor amenaza para los Estados Unidos.



Imagen 28: avión espía americano fotografiando a un submarino Victor III en la década de 1980. Fuente:http://www.acig.org/artman/publish/article_477.shtml (20-3-2013)

La planta propulsora del proyecto *Charlie* fue muy segura, y podía lanzar misiles estando sumergido, los misiles de poco rango de acción fueron eliminados y se sustituyeron por misiles de medio alcance guiados, que volaban más rápido y a más baja altitud, que los misiles predecesores a estos. La segunda generación de submarinos de ambas naciones fueron los submarinos más numerosos durante la guerra fría, estos submarinos operaron hasta la década de los 90, la segunda generación se puede decir que cargó con el peso de la guerra submarina, en la segunda mitad de la guerra fría.

Tabla 5: segunda generación de submarinos americanos comparativa

	Thresher SSN 593	Tullibee SSN 597	Sturgeon SSN 637
En servicio desde	1961	1960	1967
Desplazamiento			
en superficie	3.750 t	2.177 t	4.250 t
en inmersión	3.310 t	2.607 t	4.780 t
Eslora	84.9 m	83.16 m	89 m
Manga	9.65 m	7.09 m	9.65 m
Calado	7.93 m	5.88 m	8.8 m
Reactor	1 S5W	1 SWC	1 S5W
Turbinas	2	1	2
HP	15.000 HP	2.500 HP	15.000HP
Hélices	1	1	1
Velocidad			
en superficie	15	13	15
en inmersión	27-28	16	26-27
Profundidad máxima operativa	400 m	215 m	400 m
Tubos lanzatorpedos	4 de 533 mm A	4 de 533 mm A	4 de 533 mm A
Número de torpedo	23	12	23
Tipo de misiles	Harpoon/ SUBROC	No	Harpoon/ SUBROC
Número de tripulantes	88	56	99

Tabla 6: segunda generación de submarinos soviéticos comparativa

	Proyecto 671 Victor I	Proyecto 671RTM Victor III	Proyecto 670 Charlie I	Proyecto 670M Charlie II
En servicio desde	1967	1977	1967	1973
Desplazamiento				
en superficie	3.650 t	4.750 t	3.580 t	4.250 t
en inmersión	4.830 t	5.980 t	4.550 t	5.270 t
Eslora	93 m	107.1 m	94.3 m	104.5 m
Manga	10.6 m	10.6 m	9.9 m	9.9 m
Calado	7.2 m	8 m	7.5 m	8.1 m
Reactor	2 VM-4P	2 VM-4P	1 VM-4	1 VM-4
Turbinas	1	1	1	1
Potencia	31.000HP	31000HP	18.800 HP	18.800 HP
Hélices	1	1	1	1
Velocidad				
en superficie	12	18		12
en inmersión	33	31	26	24
Profundidad máxima operativa	400 m	400 m	350 m	350 m
Tubos lanzatorpedos	6 de 533 mm B	4 de 533 mm B 2 de 650 mm B	4 de 533 mm B 2 400 mm B	4 de 533 mm B 2 de 400 mm B
Número de torpedos	18	18+6	12+4	12+4
Tipo de misiles	No	Varios	8 SS-N-7	8 SS-N-9
Número de tripulantes	76	82	90	90

9. Tercera generación de submarinos nucleares americanos



Imagen 29: el submarino Hyman G. Rickover (SSN 709) de la clase Los Angeles una de las clases más representativas de la tercera generación. Fuente:http://base.mforos.com/1091340/5136531-submarinos-clase-los-angeles-ssn/ (20-3-2013)

Entre 1967 y 1968 la marina de los Estados Unidos, planificó nuevas clases de submarinos que continuarían a la clase *Permit* y a la clase *Sturgeon*, la última unidad de la clase *Sturgeon* había sido completada en 1967. La oficina principal de operaciones navales impuso las características de la siguiente generación de SSN, la *Naval Sea Systems Command* (*NavSea*) inició el diseño de un submarino que cubriese las necesidades dictadas. Esta empresa fue denominada con el nombre de *CONFORM*, abreviatura de *Concept Formulation*.

9.1. El Proyecto *CONFORM*

El capitán Myron Eckhart Jr., al frente en los inicios de este nuevo proyecto que llevaba a cabo *NavSea*, dijo que se empezó a trabajar en el diseño a mucho más nivel del que se había trabajado hasta entonces, así la marina llevaba a cabo sus investigaciones a fondo en sectores como diseño y nuevos sistemas para los submarinos. El proyecto *CONFORM* contaba para su diseño con los mejores especialistas del mundo, nunca antes

en las primeras etapas de diseño de un submarino se había puesto tanto empeño e innovación, tanto fue así que *CONFORM*, se dice que empezó desde una hoja en blanco, es decir, totalmente desde cero.

El submarino del *CONFORM* utilizaría una variación del reactor S5G de circulación natural (NCR, Natural Circulation Reactor) que Rickover desarrolló para el submarino *Narwhal* (SSN 671). Un ingeniero que participó en el diseño del reactor S5G de accionamiento directo dijo que este ha sido el mejor (reactor) jamás construido. La planta de NCR utiliza la convección natural de los fluidos de intercambio de calor (enfriadores) a bajas velocidades, en lugar de bombas de circulación, una importante fuente de ruido en la maquinaria de los submarinos nucleares.

La planta S5G se estimó que era capaz de proporcionar una velocidad en inmersión de más de 30 nudos, con un diseño de casco *CONFORM* que era aproximadamente del mismo tamaño que el Sturgeon, es decir, aproximadamente 4.800 toneladas sumergido. Las características innovadoras estaban siendo planteadas para el submarino *CONFORM*, con el objetivo de mejorar las capacidades de combate esto incluye la forma del casco, armas, sensores, e incluso periscopios; este último incluía una propuesta de periscopios y mástiles que se abatían sobre el casco en lugar de plegarse verticalmente en el casco. Esta característica reducía la posibilidad de que hubiesen penetraciones a causa de la presión, puesto que desaparecían orificios que tuvieran que ser tapados, una vez en inmersión, es decir el periscopio estaba el 100% en contacto con el medio marino.

Pero el almirante Rickover desestimó el proyecto *CONFORM*. En paralelo con el proyecto *CONFORM*, Rickover estaba trabajando en la planta de un futuro submarino de última generación, que tendría como objetivo primordial la alta velocidad. El plan Rickover era adaptar la planta de propulsión D2G de agua a presión que era utilizado en los buques de guerra de superficie, que desarrollaría alrededor de 30.000 caballos de fuerza por hélice, en una configuración submarino. Esto desarrolló la planta S6G, fue evaluada en un único submarino, el SSN 688. Otros submarinos también albergaron nuevas plantas de propulsión, como; el *Nautilus* (SSN 571), el *Seawolf* (SSN 575), el *Triton* (SSRN 586) , el *Tullibee* (SSN 597), el *Narwhal* SSN 671, y el *Glenard P. Lipscomb* (SSN 685).

La búsqueda de un submarino de alta velocidad fue debido principalmente por dos factores: en primer lugar, las velocidades que alcanzaban los submarinos soviéticos, estas habían superado las expectativas de la armada americana, lo que se pudo constatar con el suceso que se produjo entre el submarino soviético *November* y el portaaviones *Enterprise* en enero de 1968, y por los 33 nudos que alcanzaba los submarinos soviéticos *Victor*.

En segundo lugar, fue que la clase *Thresher* así como la *Sturgeon*, desarrollaban 15.000 caballos, gracias al reactor S5W, que se introdujo en 1959 en el submarino *Skipjack* (SSN 585), los siguientes diseños al *Skipjack*, fueron más grandes, con más obra viva, y por lo tanto no llegaban a los 33 nudos del Skipjack. El SSN 688 tuvo como objetivo desarrollar el mayor numero de nudos y así convertirse en el submarino más rápido de la armada norteamericana hasta la fecha.

El diámetro del casco del SSN 688 se incrementó ligeramente, hasta 10.1 m en comparación a los 9,65 m. del *Thresher* y *Sturgeon*, pero si que sería significativamente más largo, con una eslora de 110.3 m. El incremento de diámetro se debía a que albergaría más cables y tuberías y una planta de propulsión más grande, con sus características de silenciamiento, y así resultó un submarino más largo, con prácticamente las mismas armas y sensores.

Un tamaño más grande sacrificaría parte del incremento en velocidad que se esperaba. Desde el principio, los altos mandos de la armada vieron el SSN 688 como el referente mundial de submarino nuclear, el proyecto *CONFORM* fue destinado a producir la siguiente clase SSN.

En 1967 Rickover, el capitán Donald Kern, el gerente del programa de los submarinos de *NavSea*, y su jefe, el almirante Jamie Adair, firmaron un acuerdo en el cual se acordó que el rápido submarino SSN 688, recibiera prioridad en el nuevo diseño de submarino. Asimismo, se acordó que, tan pronto como el submarino fuera autorizado, el almirante Rickover respaldaría cada decisión en la medida de lo posible del diseño del nuevo submarino de ataque como defendería PMS-8 l (la parte de diseño bajo la dirección de Kern).

El acuerdo "duró un día", según Kern. El Departamento de Defensa, para poder pagar la guerra en Vietnam, se vio envuelto en recortes de los programas de nuevos buques. La Marina se encontraba desarrollando tres tipos diferentes de submarinos: el *CONFORM*, el SSN/S6G, y el *Lipscomb*. El *Lipscomb*, iba a ser dotado de una turbina de conducción eléctrica (TEDS, Turbine Electric-Drive Submarine), fue otro intento de reducir los niveles de ruido con una propulsión turbo-eléctrica, aliviando la necesidad de engranajes entre la turbina y el eje de la hélice, un concepto similar al submarino *Tullibee* de propulsión eléctrica, construido en la década anterior. Al final el *Lipscomb* fue equipado con la planta del reactor S5Wa debido a la ineficiencia del accionamiento eléctrico, ya que desarrollaba 15.000 caballos de potencia, menos que una planta de S5W. El submarino era grande, con un desplazamiento sumergido de 6.480 toneladas, un 35% mayor que el del *Sturgeon*, y una velocidad sumergido de sólo 23 nudos. Además, el *Lipscomb* sufría problemas de calefacción, debido principalmente a que disponía de corriente de accionamiento eléctrica.

El proyecto *CONFORM*, iniciado a mediados de la década de 1960, contempló una multitud de diseños alternativos posibles. En noviembre de 1968, en los inicios de los estudios del *CONFORM*, se produjeron 36 diseños, tales diseños albergaban muy pronunciadas características como por ejemplo reactores gemelos, turbinas individuales, contra-rotación de hélices, mayor diámetro de tubos lanzatorpedos entre otras ideas. Según el capitán Eckhart, la disposición contra-rotativa de hélices para el diseño *CONFORM* garantizaba una velocidad de al menos dos nudos superior al SSN 688, mientras que el diseño y el uso de HY-100 de acero podría proporcionar una profundidad máxima de 610 m.

La proa del submarino *CONFORM*, iba a ser mejorada en gran medida, en relación con otros submarinos, así fue dotado con un aumento del número de armas, sonar avanzado, y un alto grado de automatización. Y, con la mayoría de los diseños *CONFORM*, es decir, más pequeño que el SSN 688, así un diseño *CONFORM* probablemente habría sido menos costoso de construir que el SSN 688.

Pero Rickover tomó la decisión de producir en serie el SSN 688, independientemente de las preferencias de los dirigentes de la Marina o del Departamento de Defensa (DoD). El Dr. John S. Foster Jr., Subsecretario de Defensa para Investigación e Ingeniería del DoD era el "hombre clave" para el nuevo SSN. Él era el científico superior del Pentagono, que había pasado basado la mayor parte de su carrera científica en el desarrollo de armas nucleares.

El Dr. Foster tuvo varios grupos técnicos que examinaron las opciones para el nuevo SSN, estos equipos de ingenieros fueron los mismos que trabajaron en el *CONFORM*. Mientras Rickover estudiaba el diseño del casco de "alta velocidad" del SSN 688, Foster expresó su preocupación porque la planta del reactor S6G era casi dos veces más grande que la anterior planta la S5W del *Sturgeon*, esto se traduciría en un submarino más grande que sería más de dos nudos más rápido, pero costaría el doble. Además el SSN 688, no sería capaz de sumergirse más de lo que se sumergían las clases de submarinos antecesoras.

Rickover ni esperaba ni toleraba alternativas al SSN 688. Él utilizó sus ya habituales tácticas como decir a sus partidarios en el Congreso que Foster y otros funcionarios del Departamento de Defensa y la Armada estaban interfiriendo en sus estudios, que eran más arduos y que tardarían más tiempo en solventarse, por esto no eran prácticos para poder proporcionar una fuerza de submarinos efectiva para contrarrestar la creciente amenaza submarina soviética. El reportero del célebre periódico estadounidense Washington Post, Patrick Tyler describió brevemente el proceso de decisión que tuvo lugar en marzo de 1968:

"Al final, fue una decisión política. Muchas historias comenzaban a circular en Washington acerca de la naturaleza siniestra de la amenaza submarina soviética.

El Congreso tenía la intención de financiar el SSN 688 si el Departamento de Defensa ponía el submarino en el presupuesto. ¿Por qué debería fomentar Foster innecesariamente el enemistarse con gente que tenían el poder de actuar sin él? El Pentagono, la Casa Blanca, o en la marina de guerra obligaba a Rickover a considerar alternativas, Foster, por tanto era, al menos políticamente impotente para medirse con Rickover en un intercambio de opiniones en cuanto al futuro de la flota submarina."

Aunque los niveles de la fuerza de submarinos están más allá del alcance de cualquier persona, salvo de la marina estadounidense, el secretario de Defensa Robert S. McNamara[15], en enero de 1968, anunció que se necesitarían 60 submarinos SSN de primera línea; los pre-Thresher SSN fueron clasificados en segunda línea. Incluyendo todos los buques activos y en construcción, sólo cuatro SSN adicionales serían necesarios para alcanzar el número de 60 submarinos de primera línea. Los dos últimos submarinos SSN de la clase Sturgeon fueron autorizados en el año fiscal 1969. Otros dos Sturgeon SSN estaban programados para el año fiscal 1970, pero este plan dejó de tener sentido cuando McNamara dejó el gobierno a principios de 1968.

Rickover situó al SSN 688 en el DoD y la Armada como el mejor diseño, afirmando que ningún otro estaba listo para llevar a la producción en serie. En 1969 el secretario de Defensa Clark Clifford comunicó al Congreso que las tres primeras unidades de "alta velocidad" (SSN 688) se solicitarían en el año fiscal de 1970 y que cuatro unidades adicionales que se solicitarán entre el año fiscal de 1971 y 1972. "Al que tiempo, que el diseño *CONFORM* deberá estar listo para la construcción", explicó ingenuamente el secretario de defensa. Mientras el optimista diseño *CONFORM* seguiría adelante.

Clifford se mostraba aprensivo al submarino *Lipcomb*. Señaló que, el proyecto *TEDS* había aumentado considerablemente su coste: "creemos que *TEDS* vale su coste, ya que nos proporcionan única y valiosa experiencia operativa con este nuevo tipo de propulsión además de otras características importantes de silenciamiento". Los tres primeros submarinos de la clase *Los Angeles* (SSN 688) fueron estimados a un coste promedio de 178,7 millones de dólares cada uno, el *Lipscomb* costaría 152 millones de dólares, pero al final los cargos del DoD estimaron que esta cifra se incrementaría hasta los 200 millones de dólares.

[15] Robert S. McNamara (1916-2009) fue secretario de defensa estadounidense entre 1961 y 1968, coincidiendo con gran parte de la guerra de Vietnam, abandonó su puesto en 1968 para ser, hasta 1981 presidente del Banco Mundial.

El submarino SSN 688 y el casi simultáneo *Lipscomb* representada nuevas plantas de propulsión, eran intereses "sine quanon de Rickover". Estos dos submarinos tendría las mismas armas, 4 tubos lanzatorpedos de 533 mm y con capacidad para albergar 25 torpedos, sonar actualizado AN/BQQ-2; como en el anterior de las clases *Thresher* y *Sturgeon*.

no quiso certificar el reactor previsto para el Las propuestas *CONFORM* estaban marcadas por la innovación, la planta del reactor era una derivación de la S5G del *Narwhal* esta era NCR. El Capitán Eckhart escribió más tarde, "*Rickover dio por terminado el asunto cuando se dio a conocer que, bajo su autoridad civil, CONFORM, por lo menos, no para su aplicación en ese diseño*".

El Departamento de Defensa, gracias a la influencia de Rickover en la política americana, se vio obligado a aceptar la producción en serie del SSN 688. El proyecto *CONFORM* se esfumó, y Rickover ordenó que todos los documentos referidos al programa *CONFORM* fuesen archivados. La financiación del único submarino *Lipscomb*, tan cuestionado en el seno de la armada y en el congreso, fue finalmente *Los Angeles* aprobada. El *Lipscomb* fue construido en Electric Boat y comisionado el 21 de diciembre de 1974. Fue una construcción difícil y lenta debido en parte a su planta de propulsión, estuvo en servicio 15 años y medio, la mitad de la vida útil de submarino SSN.

9.2. Clase Los Angeles

La marina se dispuso a la construcción en serie de la clase, con su planta S6G de agua a presión (derivado de la D2G) producía un total de 30.000 hp, lo que le hacía alcanzar una velocidad de 33 nudos, unos cinco nudos más rápido que la clase predecesora, la clase *Sturgeon*. Su velocidad de 33 nudos era la misma que alcanzaba el *Skipjack* de 1959 (con la configuración de hélice original) y también alcanzaba la velocidad de su homólogo soviético, el proyecto 671/*Victor* (SSN), que se había hecho a la mar en 1967.

Los submarinos de la clase *Los Angeles*, desplazaban un total de 6.927 toneladas sumergidos, un 45% más que la clase Sturgeon, mientras que estaban provistos esencialmente con las mismas armas y sensores aunque con maquinaria más silenciosa. Los costes comparativos eran difíciles de determinar, de acuerdo con la secretaría de marina.

Originalmente, la clase *Los Angeles* fue pensada para ser construida de acero HY-100, permitiendo al submarino operar hasta por lo menos una profundidad de 390 metros, al igual que las clases de SSN anteriores. Sin embargo, se encontraron dificultades con la quilla, y el submarino tuvo que recortarse en peso a causa de la planta del reactor que era más pesada (S5W pesaba 650 toneladas, mientras que el S6W pesaba 1050 toneladas). Debido a esto, el submarino fue construido con un acero de menor resistencia HY-80 y por tanto de menor peso, limitan la profundidad

operativa del buque hasta los 290 metros. Además, para ahorrar peso y espacio, la clase *Los Angeles* no se le proporcionó capacidad para operar bajo el hielo ni tampoco la capacidad de ser armado con minas.

En 1971 la marina adjudicó contratos para 12 submarinos clase *Los Angeles* siendo autorizados durante los años de 1970 hasta 1972. El primer submarino fue ordenado en Newport News Shipbuilding, en Virginia, a estos astilleros se le adjudicaron más tarde cinco submarinos más y a Electric Boat siete, un total de doce. Esta fue la primera vez que Newport News tomó parte de manera protagonista en la construcción de submarinos nucleares, estos astilleros completaron su primer submarino en 1905, para la armada Rusa, el primer sumergible nuclear que construyeron fue en 1960, el Robert E. Lee SSBN 601.

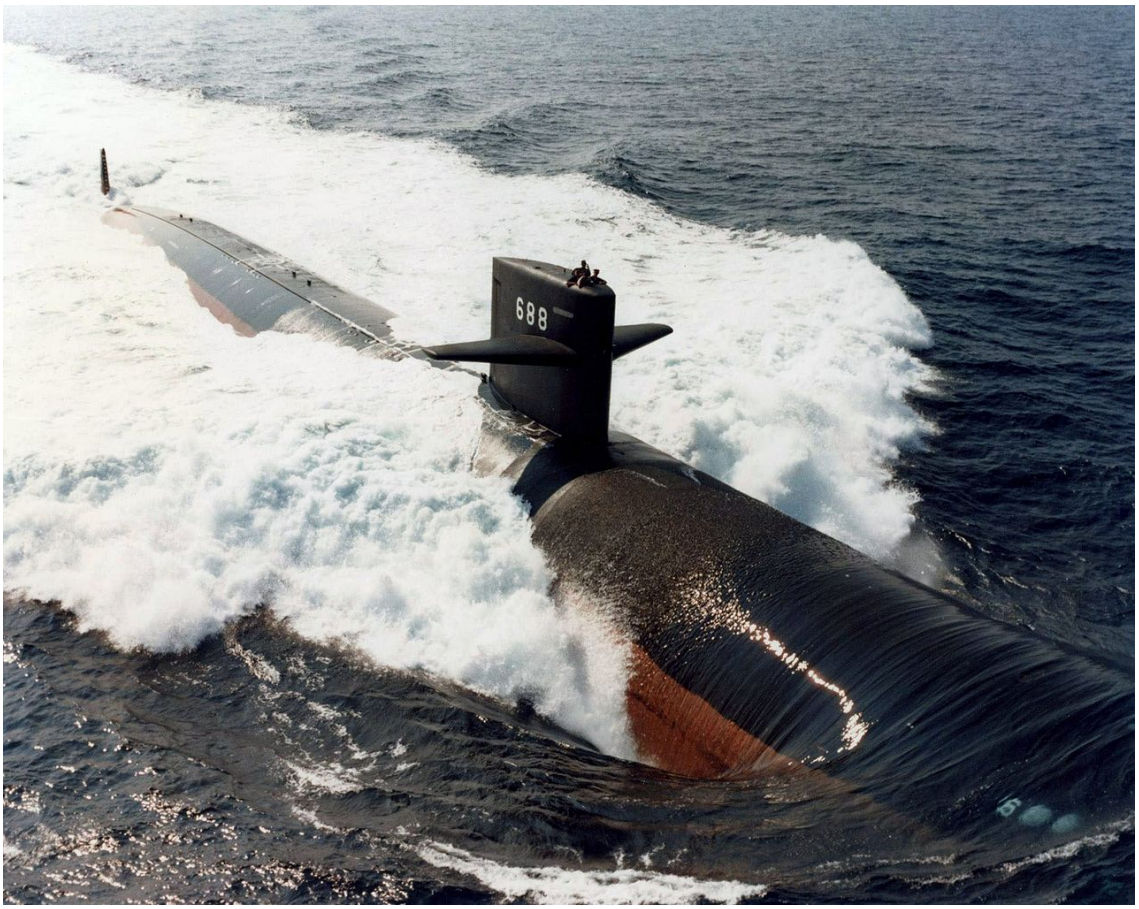


Imagen 30: primer submarino de la clase Los Angeles (SSN688) en pruebas de navegación en 1976. Las primeras unidades de estos submarinos se caracterizaron por los planos de inmersión situados en el puente a modo de "cuernos". Fuente: http://www.foro.pieldetoro.net/foros/showthread.php?t=66002 (20-3-2013)

Desde 1974, Newport News y Electric Boat fueron los únicos astilleros estadounidenses que construían submarinos. Anteriormente, ambos astilleros estaban construyendo los *Sturgeon* SSN, además Electric Boat se preparaba para la construcción de los SSBN *Trident.* Newport News puso la quilla de su primer submarino clase *Los Ángeles* en 1972, el primer de esta clase que se construiría en

Electric Boat fue el Philadelfia (SSN 690), también puesto en quilla en 1972. En ese momento ambos astilleros se enfrentaron a problemas con sus programas de submarinos y Electric Boat llegó a estar en una situación crítica.

La crisis fue causada por Newport News que, ahora eran los principales astilleros, a Electric Boat le llegaban tarde los dibujos; tenían altos costes de energía; cambios de diseño e interferencias de *Naval Sea Systems Command* y de Rickover, esto dio lugar a problemas, como la producción de números cascos defectuosos.



Imagen 31: en la foto observamos el Annapolis (SSN 760) en el Ártico. Como vemos el diseño de las unidades de la clase Los Angeles iban evolucionando y fueron descartados los planos en el puente y puestos esta vez en la proa, con el fin de mejorar las operaciones bajo el hielo. Fuente: http://foundwalls.com/uss-annapolis-ssn-760/ (20-3-2013)

A finales de 1974, los astilleros de Electric Boat tenían 18 submarinos clase *Los Angeles* bajo contrato, su coste era de un total de 1,2 billones de dólares. Según la curva de la experiencia en la construcción de este tipo de embarcaciones, se suponía que más adelante los submarinos costasen menos que las primeras unidades. Esta proyección resultó ser falsa, una auditoría interna de Electric Boat concluyó con un rebasamiento de 800 millones de dólares, con la mayoría de submarinos aún ni siquiera empezados.

Las estimaciones del coste de los submarinos seguían incrementado. El primer submarino clase *Los Angeles*, *Los Angeles* (SSN 688) fue botado el 6 de abril de 1974 y entregado a la marina el 13 de noviembre de 1976. Este primer submarino sería el progenitor de la serie más grande de submarinos nucleares jamás construida, con un total de 62 unidades concluidas, la construcción de esta clase concluyó en 1996 y actualmente 20 de las 62 unidades han sido dadas de baja, la mayoría de unidades restantes pasaron por programas de modernización.

En agosto de 1977, la Marina anunció un retraso de seis meses en la finalización del primer submarino *Trident*, cuya construcción estaba siendo llevada a cabo en los astilleros de Electric Boat, su construcción se inició a mediados de 1974 en los mismos astilleros. En noviembre de 1977, un portavoz de la Marina anunció que el primer SSBN Trident tendría un retraso de un año y que su coste había aumentado hasta un 50%, es decir un incremento de 800 millones de dólares, esto significo que el coste total del submarino de 1,2 billones de dólares.

Cargos, contraataques, encubrimientos, mentiras, reuniones secretas grabadas, y audiencias del Congreso siguieron a esto. Los problemas del *Trident* se extendieron al programa de submarinos de ataque. El vicealmirante Charles Bryan culpó a Electric Boat de ser causante de los problemas. Sólo la alta prioridad de los submarinos de misiles Trident impidió acabar con la construcción de submarinos en Electric Boat. Fue al llegar John Lehman a la secretaria de la marina, en febrero de 1981, cuando este consideró cambiar de astilleros y encargar la construcción del submarino *Trident* a los astilleros de Newport News.

Todo el programa de construcción de submarinos nucleares de EE.UU., estaba en riesgo. La administración Carter (1977-1981) negoció un acuerdo con General Dynamics, empresa matriz de los astilleros Electric Boat, pero aun así los problemas no fueron resueltos. Cuando la administración Reagan asumió el poder, Lehman tomó la decisión de cortar por lo sano e ideó un plan para limpiar el desastre de una vez por todas. La liquidación final entre la Marina y General Dynamics se anunció el 22 de octubre de 1981. El acuerdo llegó tres semanas antes de la puesta en marcha del primer *Trident*, con un retraso total de 2 años y medio y con el despido del almirante Rickover, este despido era uno de los puntos clave del plan de Lehman.

Durante la década de los años 70, la construcción de la clase *Los Angeles* se retrasaba cada vez más y los costes se incrementaban. Curiosamente, no hubo una diferencia significativa en los costes entre las dos compañías constructoras. De acuerdo con Rickover, aunque Electric Boat y Newport News estaban construyendo submarinos idénticos, las unidades que se construían en Electric Boat costaban alrededor de 50 millones más que en Newport News: "*la única explicación posible es que Electric Boat es menos eficiente que Newport News*"



Imagen 32: puente del Annapolis (SSN760) en operaciones en el ártico, sin planos de inmersión en el puente. Fuente: http://www.navy.mil/view_single.asp?id=69906 (20-3-2013)

A petición de la Comisión de Servicios de la armada, el Departamento de Defensa examinó el potencial de una producción de bajo coste de los SSN y de los SSBN. El aumento de tamaño del submarino de ataque en las clases sucesivas se había acompañado de un consiguiente aumento de los costes. Una comisión del DoD efectuó un estudio de los factores que más afectan a la calidad del submarino, estos son:

- Casco
- Profundidad operativa
- Resistencia
- Ruido propio
- Confiabilidad
- Velocidad
- Vulnerabilidad
- Armas
- Carga explosiva abordo
- Contramedidas
- Sensores
- Capacidad de espionaje

Dos opciones se propusieron para reducir los costes de los SSN. En primer lugar, el jefe de diseño de los buques de NavSea, el Dr. Reuven Leopold, argumentó que *"……hay un potencial mucho mayor del que existe actualmente para aumentar la efectividad en el combate, ya que mejorando el rendimiento de los sistemas de combate a través de mejoras en el rendimiento de los aspectos no relacionados con el armamento, se*

puede llegar a mejorar sustancialmente la capacidad de combate."; es decir mejorar la capacidad de combate de manera indirecta. Este punto de vista, por tanto se caracterizaba por renunciar a características como puede ser la habilitación, entre otras muchas cosas, y ganar en capacidad de armas. El segundo enfoque consistía en reducir el tamaño del submarino a través de mejoras en la tecnología, el Departamento de Defensa concluyó que los dos puntos de vista debían ser considerados como candidatos para ser estudiados en profundidad.

Los estudios indicaron que un submarino SSN más pequeño, conocido como Submarino de ataque rápido, *FAS* tal vez con un desplazamiento de 5.000 toneladas en inmersión utilizando conceptos avanzados de propulsión, podría llevar aproximadamente el mismo armamento que un submarino de la clase *Los Angeles*. El coste sería la pérdida de unos cinco nudos de velocidad, es decir, a aproximadamente la misma velocidad que tenían los submarinos de la clase *Sturgeon*, 27 nudos. El nuevo submarino más pequeño que los de la clase *Los Angeles*, sería más barata su construcción. El jefe de investigación de la secretaría de la marina, el Dr. David E. Mann, estimó que miles de millones de dólares se podrían ahorrar si la marina desestimaba la construcción de submarinos grandes defendidos por Rickover y en su lugar se construyesen los submarinos *FAS*.

Rickover desestimó la propuesta contundentemente, a veces los *FAS* eran llamado *"Fat Albert",* debido a su pequeña longitud y su gran diámetro de sección. En unas 49 páginas, reiteró la historia del desarrollo del submarino nuclear, subrayando lo siguiente,

> *"Me di cuenta de que el potencial de la alta velocidad sostenida podría utilizarse para ampliar el papel del submarino de ataque más allá de las misiones tradicionales de guerra antisubmarina y guerra anti buques de superficie. Con alta velocidad prácticamente ilimitada sentí que podría proporcionar una mejor escolta a nuestros buques de superficie, como por ejemplo portaaviones."*

Rickover continuó con su interés sobre el papel que jugaba la velocidad en la guerra naval. Rickover concluyó justificando continuidad de la construcción de la clase *Los Angeles*, declarando:

> *"Recordemos que fue el Congreso el que obligó a la armada construir la clase Los Ángeles en el primer lugar, debido a nuestra continua pérdida de velocidad en comparación con lo observado en los submarinos nucleares soviéticos. La idea de construir intencionadamente un submarino lento sólo para ahorrar dinero es absurdo."*

Sin embargo, previamente Rickover había defendido construcción del *Lipscomb*, un submarino relativamente lento y costoso. En una audiencia en el Congreso, dijo,

"*….las ventajas de los nuevos diseños de propulsión (refiriendose a la propulsión eléctrica del Limpcomb), luego se incorporarán a los submarinos venideros".*

El *Fast Albert* se desestimó y, de nuevo, Rickover demandó la destrucción de todos estos documentos que proponían enfoques más innovadores para la propulsión de submarinos. Mark Henry, alto cargo de NAVSEA, dijo sobre *FAS* que, *"….no era un buen diseño. Se ahorra tanto espacio que seguramente una vez bajo construcción habría que haberlo agrandado significativamente".*

Rickover también derrotó las propuestas que apostaban por construir un nuevo SSBN más pequeño y menos costoso que los submarinos *Trident* de la clase *Ohio* (SSBN 726). Había varios partidarios de pequeños SSBN. Todavía en 1983, después de la eliminación de Rickover, se observó, *"la Comisión toma nota de que a pesar de que la fuerza del submarino balístico tendrá un alto grado de supervivencia durante mucho tiempo, una fuerza de submarinos que consiste únicamente en un número relativamente reducido de grandes submarinos en el mar, también presenta un pequeño número de objetivos valiosos a los soviéticos".*

Enviar pequeños SSBN *Trident* a la mar *"…sería en la medida de lo posible, reducir el valor de cada unidad y también presentarían problemas radicalmente diferentes a un ataque soviético del que haría la fuerza submarina Trident actual*", dijo el informe. En un momento dado el Dr. Mann también sugirió que un nuevo SSBN, también podría cargar 24 misiles *Trident* C-4 o D-5, con un desplazamiento sumergido un poco más pequeño que el de la clase *Ohio* (unas 15.000 toneladas, frente a 18.750 toneladas de los *Ohio*) costaría alrededor de un 30% menos que los 1,5 billones que costaba una unidad *Ohio*, mediante el uso de una planta de propulsión de menor tamaño. A consecuencia, estos submarinos tendrían una velocidad algo inferior a los de la clase *Ohio*.

Mann sugirió parar el programa existente, el *Trident*, de 12 submarinos, y empezar con la construcción del nuevo SSBN más pequeño, denominado SSBN-X. Probablemente, los costes de diseño de una nueva clase de submarinos habrían anulado los ahorros esperados. Como con el caso del *FAS*, las propuestas de pequeños SSBN se desestimaron. Los sucesores de Rickover se opusieron categóricamente a tales propuestas.

A pesar de la habilidad para detener alternativas a sus programas, en la década de 1970, el poder de Rickover en el congreso se había erosionado hasta el punto de que era incapaz de iniciar un programa nuevo de su más ambicioso plan hasta la fecha, en contraposición se situó el Jefe de Operaciones Navales. Esta planta nuclear estaba pensada para un submarino de misiles de crucero (SSGN), se designó el plan con el nombre de *AHPNAS Advanced High-Performance Nuclear Attack Submarine*, y más tarde llamado *CMS*, *Cruise Missiles Submarine*.

A finales de 1960 había interés en proporcionar a los submarinos armas tanto anti buques como con armas de ataque a tierra. La primera estaba destinada a contrarrestar el creciente número de grandes buques de superficie soviéticos que se hacían a la mar, la segunda fue considerada como un arma adicional para atacar la a las bases soviéticas en tierra, ya que ambas súper potencias continuaron aumentando sus arsenales nucleares. La precisión de los misiles crucero permite ser cargados con pequeñas ojivas nucleares para destruir objetivos discretos.

El intento de un arma anti-buque, se llamaba el misil submarino táctico *STAM*. El arma, tendría un diámetro de 760 mm, y requería tubos especiales de lanzamiento. Rickover inmediatamente se aferró al submarino *STAM* y propuso su proyecto *AHPNAS* con 60.000 hp de potencia en su planta. Cargando 20 *STAM* y con un rango de ataque de 30 millas náuticas, el proyecto de SSGN tendría aproximadamente el doble del desplazamiento que un submarino de la clase *Los Angeles*. La planta de reactor *AHPNAS* haría que el submarino alcanzase más de 30 nudos. El diseño del submarino comenzó en 1970 y el diseño preliminar se completó en 1972.

Rickover dijo al Congreso que el programa de *AHPNAS* era el proyecto más ambicioso de la marina y el que lo debían aprobar, Rickover explicó:

> *"El misil de crucero proporcionaría una dimensión totalmente nueva en la capacidad ofensiva submarina. Principalmente, el submarino estadounidense tendría la capacidad de reaccionar rápidamente para enfrentarse al enemigo, y presionar de esta forma para tener la iniciativa hasta que cada unidad hubiera sido atacado con éxito, independientemente de la velocidad y la táctica del enemigo. La existencia misma de este submarino de ataque avanzado constituiría ya una amenaza para cualquier fuerza marítima".*

Continuando:

> *"El submarino podría actuar como escolta en una operación muy por delante de una fuerza de portaaviones de alta velocidad, limpiando el área oceánica de posibles buques enemigos. Así, tendrían un el papel de escolta, y además podrían actuar en solitario o en conjunto con otros buques escolta.*
>
> *Además de tener buenos atributos en la lucha anti buques de superficie, incluso más que ningún otro buque de la armada americana, tiene actualmente o están en proceso de diseño o construcción también poseen, como mínimo, las mismas capacidades antisubmarinas del submarino clase SSN 688, y sería capaz de detectar y atacar a submarinos sumergidos. Este nuevo submarino será plenamente capaz de sobrevivir en el mar frente a las más sofisticadas fuerzas soviéticas"*.

A priori, la propuesta *AHPNAS* de Rickover cubriría todos los aspectos que podía ofrecer un submarino.

En julio de 1970 el almirante Elmo Zumwalt R. Fue nombrado jefe de operaciones navales. Zumwalt y su personal se opuso al concepto AHPNAS. En primer lugar, Zumwalt temía que un gran SSGN se produjera en cantidades significativas, causando estragos en el presupuesto de la construcción naval. En segundo lugar, como especialista en la guerra de superficie, Zumwalt quería proporcionar capacidad de ataque ofensivo en cruceros y destructores, así como a submarinos. En ese momento, la fuerza de ataque convencional de la armada consistía en 15 grandes portaaviones.

El Almirante Zumwalt promovió la colocación del misil *Harpoon* y el *Tomahawk* de usos múltiples en barcos de superficie. Zumwalt quería un misil de tamaño más pequeño para que cupiesen en tubos lanzatorpedos convencionales. La decisión de proporcionar a los submarinos misiles *Harpoon* se hizo en 1972, a raíz de que Zumwalt convocase una convención en la que argumentó la idea de instalar esta serie de misiles (*Harpoon* y *Tomahawk*) en los submarinos ya que sería la manera las rápida de instaurar misiles crucero a bordo de los submarinos. Los primeros lanzamientos de misiles *Harpoon* llegaron en diciembre y entraron a formar parte del armamento de buques de superficie y de submarinos en el año 1977.

Los submarinos *Los Angeles* tenían 4 tubos lanzatorpedos de 533 mm además de 21 recargas. Llevar, por ejemplo, ocho misiles de crucero *Tomahawk* dejaría 17 espacios para torpedos, cohetes antisubmarinos *SUBROC* o para misiles de corto alcance *Harpoon*, surgiendo así preguntas, como, ¿Podrían los submarinos *Los Ángeles* aumentar la carga armamentística sin modificar su diseño?, además, con sólo cuatro tubos de lanzamiento, probablemente dos tubos se mantendrían cargados con torpedos, dejando los demás tubos de lanzamiento para misiles. ¿Podrían superar estas limitaciones?.

En uno de los programas de diseño de submarinos más innovadores de la época, los ingenieros de Electric Boat apostaron por 12 tubos de lanzamiento vertical de misiles *Tomahawk* en los tanques de lastre delanteros de la clase *Los Angeles*, proporcionando un aumento de casi un 50% de armas. Rickover rechazó la propuesta, prefiriendo su diseño *AHPNAS/CMS*. Pero este proyecto de Rickover se desestimó en 1974 tanto el *AHPNAS como el CMS*.

Con el programa de misiles crucero *Tomahawk* planificado para su producción a gran escala, terminado a finales de los años 70, poco antes de que Rickover fuera destituido, se trabajó en la configuración del lanzamiento vertical de misiles en submarinos. La instalación de los tubos de misiles *Tomahawk* se inició con el submarino *Providence* (SSN 719), puesto en servicio en 1985, en cada submarino clase *Los Angeles* se instalaron 12 tubos verticales en la proa para el lanzamiento de *Tomahawk*.

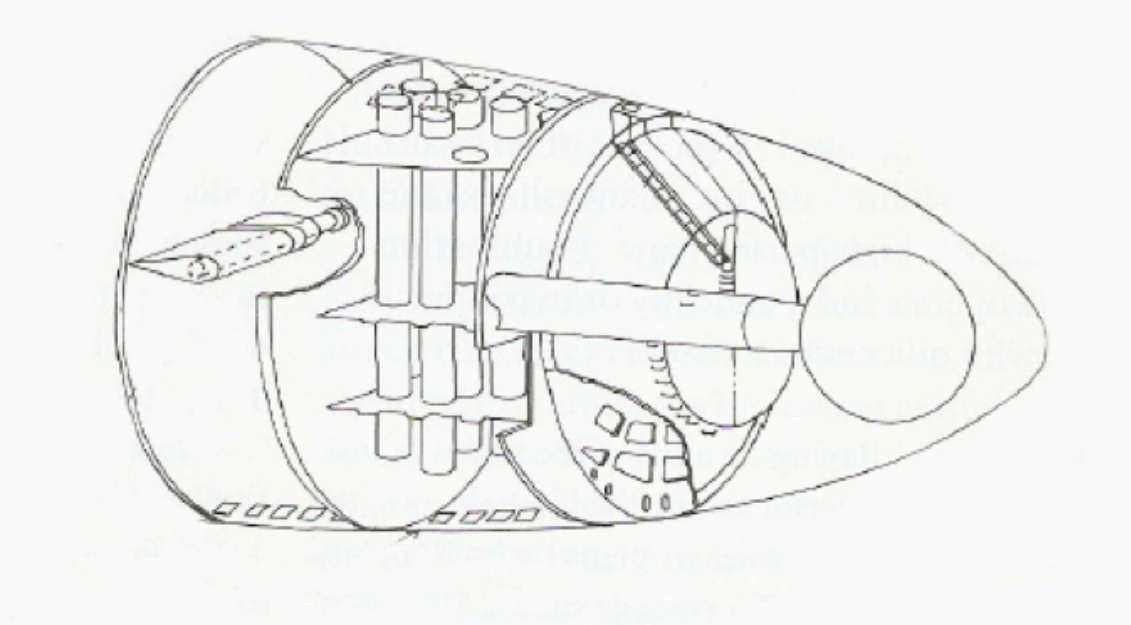


Imagen 33: sección de proa de un submarino clase Los Angeles, con la configuración de los 12 VLS. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

El primer lanzamiento vertical de un *Tomahawk* se efectuó desde el submarino *Pittsburgh* (SSN 720) el 26 de noviembre de 1986 en el Atlántico.

Treinta y un submarinos, de un total de los 62 de la clase *Los Angeles,* tenía tubos de lanzamiento vertical. Los primeros submarinos (SSN 688-718) podían llevar hasta ocho tubos lanzatorpedos que pudiese lanzar Tomahawks, los submarinos más tardíos podrían llevar hasta 20, además de 12 tubos verticales de lanzamiento de misiles.

A partir del submarino *San Juan* (SSN 751), los últimos 23 submarinos clase *Los Angeles*, fueron designados como 688I. Además de los misiles verticales *Tomahawks*, estos submarinos podían estar equipados con minas, con capacidad de maniobra bajo el hielo y maquinaria mas silenciosa.

En la década de los 60, fue construido un prototipo de submarino, era el *NR-1*, se trataba de un pequeño submarino nuclear. El servicio de esta embarcación a la marina fue básicamente de investigación oceánica. Rickover dijo al congreso: "*el desarrollo de este submarino y de sus investigaciones serán de gran valor para los submarinos de la marina, tanto como lo fue el Nautilus*". Rickover previó una serie de estas naves, de ahí su denominación *NR-1*.

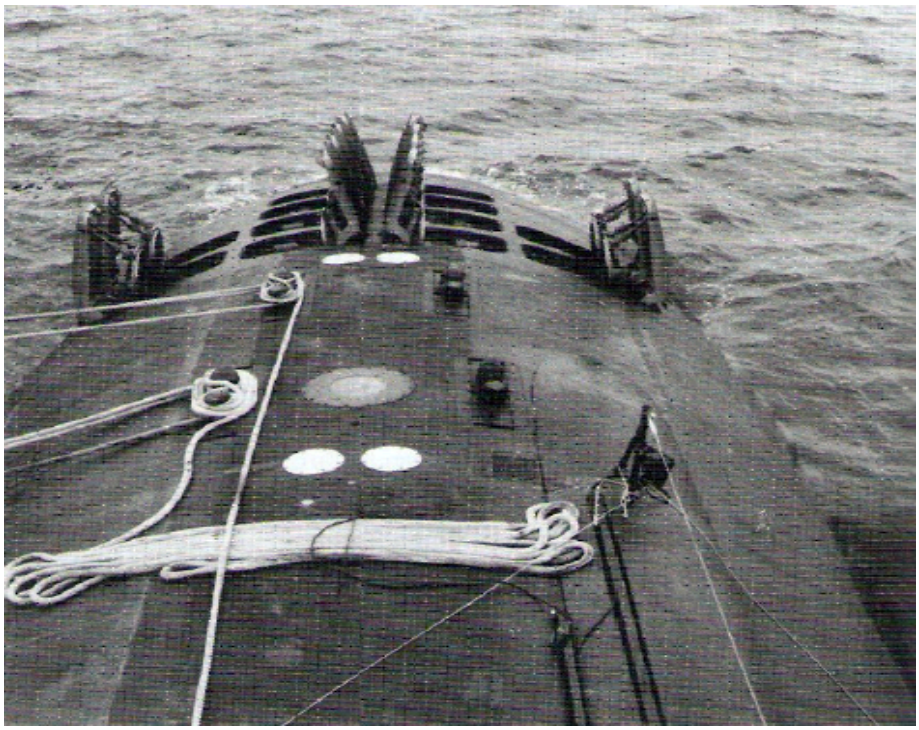


Imagen 34: proa del submarino Oklahoma City (SSN 723), se muestra las 12 escotillas donde se sitúan los VLS. Fuente: U.S. Navy

El *NR-1* tenía un desplazamiento en superficie de 365,5 toneladas, y de 393 toneladas sumergido; con una eslora total de 44,44 metros. El *Knolls Atomic Power Laboratory* de Schenectady, Nueva York, diseñó el reactor, mientras que el sumergible fue diseñado y, posteriormente, construido en Electric Boat en Groton. El *NR-1* se puso en marcha el 25 de enero de 1969, se sometió a ensayos iniciales en el mar ese verano, y fue puesto en servicio, el 27 de octubre de ese año.

La nave estaba fabricada de acero HY-80 con los espacios de habilitación y trabajo en proa en la parte de popa del buque contenía el reactor sellado y espacios de máquinas. Está equipado con dos grandes ruedas que permitían que rodase y descansase en el fondo oceánico. Los neumáticos eran normales de camión, la cámara de aire del neumático esta estaba rellena de alcohol. Además de sus dos hélices gemelas, que proporcionaban al submarinos una velocidad de 3,5 nudos sumergido, la embarcación contaba también con dos hélices de maniobra una en proa y otra en popa, proporcionando un alto grado de maniobrabilidad al buque. Contaba también con luces externas, puertos de visualización, sonares la gama cercana, un brazo mecánico controlado a distancia, y una jaula de recuperación. Sólo contaba con tres literas para una tripulación de cinco operadores de la marina y dos científicos; las misiones tenían una limitación máxima de 30 días, principalmente a causa de los víveres.



Imagen 35: el NR-1 en la actualidad, entre otras virtudes, su color hacía que fuera aún más diferente del resto de la flota submarina.Fuente:http://www.aviacionargentina.net/foros/armada-argentina.36/5148-justificacion-de-la-construccion-de-un-submarino-nuclear-la-experiencia-uss-nr-11-a.html (20-3-2013)

La principal limitación del *NR-1* era la movilidad. Debido a sus lentas velocidades, debía ser remolcado a su área de operación, por un buque de superficie o bajo el agua por otro submarino. Su velocidad de remolque en superficie era de hasta seis nudos y de 4 nudos sumergido. Participó en numerosas investigaciones de ingeniería oceánica y misiones en aguas profundas de recuperación, además de apoyar el programa SOSUS.

Sobre el año 1971, Rickover inició el programa de *NR-2*. Este sería un submarino que iría un poco más allá que su predecesor el *NR-1,* capaz de sobre pasar los 915 metros de profundidad. La embarcación tendría una planta de propulsión similar a la de la *NR-1*. Sin embargo, ni la Marina ni el Congreso apoyaron un *NR-2* en ese momento. En el año 1978, los altos mandos de la marina decidieron sacar adelante el NR-2 como un vehículo de prueba de casco HTV para probar la idoneidad del acero HY-130. En 1983, la Marina decidió que se añadieran secciones de HY-130 al submarino de investigación *Dolphin* (AGSS 555) en lugar de que se construyese el HTV.

A pesar de la predicción de Rickover de que el *NR-1* sería el primero de una serie de submarinos destinados a la investigación, ingeniería oceánica, y otras tareas, no se construyeron más submarinos gemelos al *NR-1*.

10. Tercera generación de submarinos nucleares soviéticos

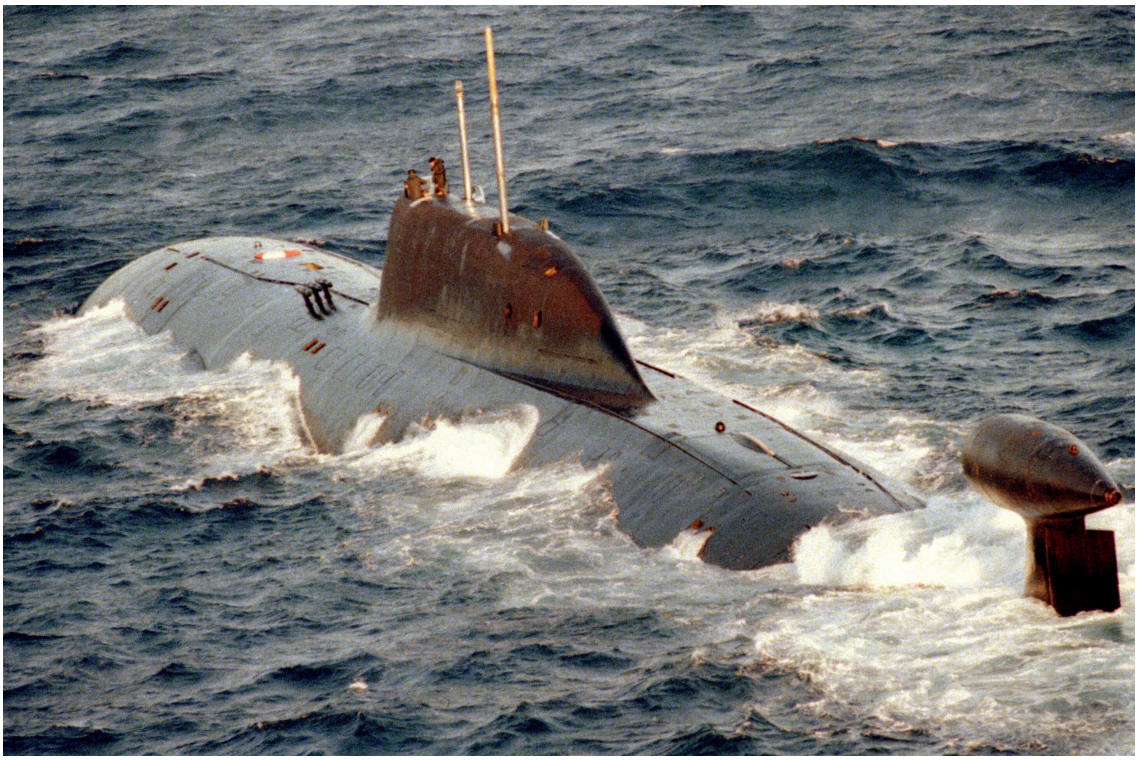


Imagen 36: en la imagen vemos el submarino soviético Akula. Una de sus características más remarcables son la forma de su casco, que le permite alcanzar altas velocidades y su bulbo en popa.
Fuente:http://qualityweapon.com/ship/akula-class-russian-submarine/ (20-3-2013)

El programa de submarinos de tercera generación de la Unión Soviética era mucho más amplio que el de la marina de los Estados Unidos. En los Estados Unidos, había gran controversia, discusiones y debates debido al desarrollo y producción de las clases, *Los Ángeles* SSN (62 unidades) y *Ohio* SSBN (18 unidades), más la clase *Lipscomb*. En comparación, el programa de los últimos submarinos nucleares de segunda generación (que incluimos en la tercera generación) y de tercera de los soviéticos consistió en cinco diseños, así como varios diseños especiales de submarinos. Pero la producción de la mayoría de estas clases se verían truncadas por la caída de la URSS en 1991.

El primer submarino de tercera generación nuclear fue el proyecto *949/Oscar* era el mejor submarino de misiles de crucero de la época ya que sus misiles tenían un alto rango de ataque, un año más tarde vendría el proyecto *941/Typhoon*, el *Typhoon* fue y sigue siendo el submarino más grande jamás construido. El desarrollo del sistema de misiles anti buque *P-700 Granit/SS-N-19* se inició en 1967 para reemplazar al misil *P-6/SS-N-3* como un arma anti-buque y de bastante radio de acción. El *Granit* sería una mucho más grande, más rápido, más apto para su propósito, y tendría la ventajosa característica de poder ser lanzado estando sumergido el submarino. El misil podría localizar los blancos enemigos mediante los satélites.

Tabla 7: submarinos de tercera generación soviéticos

Numero	Tipo	Proyecto	Nombre OTAN	Año de entrada
8	SSGN	949	Oscar	1980
6	SSBN	941	Typhoon	1981
1	SSN	685	Mike	1983
3	SSN	945	Sierra	1984
14	SSN	971	Akula	1984
7	SSBN	667BDRM	Delta IV	1984

Poco tiempo después se inició el diseño de un submarino de misiles crucero en la oficina Rubin bajo la dirección de Pavel P. Pustintsev, que había diseñado anteriormente varios SSG y SSGN. La posibilidad de poner el *Granit* en el proyecto 675/Echo II SSGN también fue considerada, pero el tamaño y las capacidades del misil requerían un nuevo submarino.

El *Granit* se lanzaría bajo el agua y tuvo un mayor rango que el anterior misil P-6/SS-N-3 ó P-70/SS-N-7. Al ser supersónico, el misil no requeriría a mitad de camino actualizar la situación del blanco, en cambio el P-6 si que debía actualizar a mitad de camino. La decisión de armar al proyecto *949/Oscar SSGN* con 24 misiles, es decir tres veces más que el *Echo II* o el *Charlie*, significó que el nuevo submarino sería muy grande. Los misiles fueron colocados en tubos de lanzamiento en ángulo entre el casco de presión y el casco exterior, y llevaría 12 misiles por cada costado. Como consecuencia, el submarino tuvo y tiene una amplia manga. La manga medía un total de 18,2 metros, así el submarino requería una eslora de 144 metros y dividido en 9 compartimentos.

A pesar de que el submarino no tuviera más eslora que la clase *Ohio,* tenía más manga que este y por lo tanto tenia un desplazamiento sumergido de 22,500 toneladas, es decir un 20 % más que los de la clase *Ohio*. Además de los 24 misiles anti-buque, el SSGN *Oscar* tiene cuatro tubos lanzatorpedos de 553 mm y otros cuatro tubos de 650

mm. El submarino también contaba con un sonar MGK-500/Shark Gill de baja frecuencia, que también es montado en el *Thyphoon*.

El gran tamaño de los *Oscar* y la necesidad de una velocidad superior a 30 nudos para hacer frente a los portaaviones americanos hizo que el submarino tuviera dos reactores OK-650b y dos hélices. El submarino producía un total de 100,000 hp de potencia, según los informes publicados. Esta planta fue también puesta en los submarinos *Typhoon* siendo la planta de propulsión que más potencia desarrollaba jamás instalada en un submarino.

La quilla del primer submarino *Oscar* fue puesta el 25 de junio de 1970 en los astilleros de Severodvinsk. El submarino fue encargado el 30 de diciembre de 1980, con el nombre de Minskiy Komsomolets (K-525). Fue el inicio de la producción en serie. Aunque sólo se construyeron dos submarinos con el diseño original clase *Oscar*, la tercera unidad fue rediseñada, pasó a llamarse el Proyecto *949A/Oscar II*, a esta segunda versión se le otorgaron 10 metros más de eslora, el submarino pasó a medir 155 metros. El espacio adicional fue principalmente para aquietar la acústica y mejora de la sonar MGK-540, en vez de nueve compartimentos del diseño original, esta segunda versión contó con 10, con objeto de mejorar los mecanismos internos. Estos SSGN, así como otros de tercera generación soviéticos se consideran que son extremadamente silenciosos en comparación con los proyectos soviéticos antecesores. Estos cambios hicieron aumentar el desplazamiento en superficie del submarino en 1.300 toneladas aproximadamente.

El gran tamaño y el coste de estos submarinos llevó a cierto debate dentro de la marina de guerra soviética, sobre los medios de lucha contra los portaaviones estadounidenses. Se consideraron 20 submarinos del Proyecto 949, aunque según algunas fuentes, el coste de cada unidad era la mitad del coste de un portaaviones clase *Almirante Kuznetsov*. Dos oficiales navales escribieron: “Es obvio que el desarrollo del Proyecto 949, sobrepasa los límites del pensamiento sensato y lógico”.

El Proyecto *949/Oscar SSGN*, planteó una grave amenaza para los Estados Unidos especialmente para los portaaviones y otras fuerzas de superficie debido a su armamento de misiles y su sigilo. La inversión masiva en estos submarinos demostró el temor soviético a los portaaviones estadounidenses.

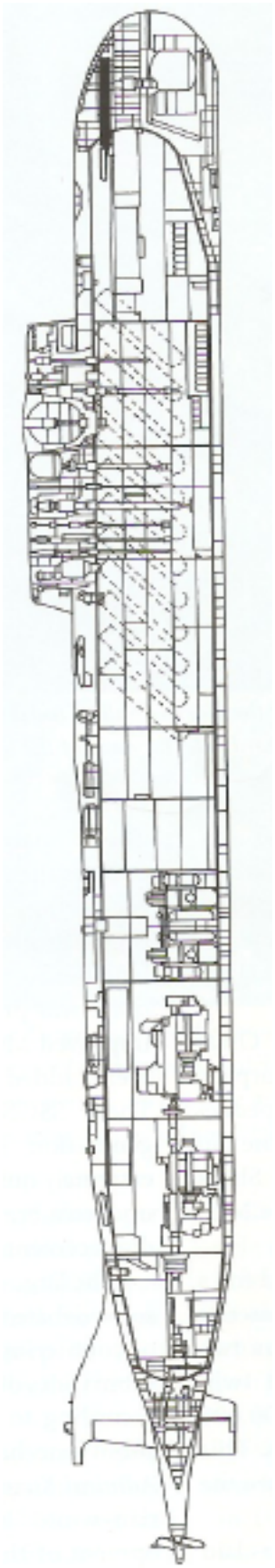


Imagen 37: Proyecto 949ª/Oscar II. Eslora: 155 metros. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.



Imagen 38: en esta foto observamos el gran desplazamiento del buque al tener los misiles albergados a ambos lados del casco. Fuente: http://www.hazegray.org/features/russia/ssgn.htm (20-3-2013)

Hasta 1996, los astilleros de Severodvinsk completaron 12 submarinos clase *Oscar*, es decir, dos submarinos del proyecto 949 y diez del proyecto 949A (*Oscar II*). Estos submarinos periódicamente realizaron operaciones de largo alcance, preocupando a los portaaviones estadounidenses, debido a que eran muy difíciles de detectar.

El 12 de agosto de 2000, la marina rusa se encontraba realizando unas maniobras en el mar de Barents, allí se encontraba el submarino *Kursk* de la clase *Oscar II*, el cual sufrió dos violentas explosiones en la sala de torpedos, desgarrando la proa del submarino y enviando al submarino al fondo del mar. Toda la tripulación murió, 23 hombres, que se encontraban en el compartimento del reactor, pudieron aguantar horas o incluso un máximo de dos días pero no más debido a las bajas temperaturas. La causa del accidente fue, en principio por dos explosiones de torpedo con una diferencia de 2 minutos y 15 segundos, la primera explosión fue más pequeña que la segunda. Pese a todo aún hay gran controversia en este tema.

El Kursk, destrozado por las dos explosiones, se hundió rápidamente. Los cuatro accidentes anteriores de submarinos soviéticos que habían ocurrido estando sumergidos y pudieron salir a la superficie donde muchos de sus tripulantes habían podido sobrevivir. Los tripulantes del *Kursk* también podrían haber reflotado el submarino, si no hubiera sido por que las explosiones destrozaron literalmente el submarino, ya que este contaba con una amplia reserva de flotabilidad para poder haber sido reflotado del fondo marino.



Imagen 39: submarinos Kursk en dique seco después de ser rescatado del fondo marino, un año después de su accidente. Fuente:http://www.taringa.net/posts/imagenes/850090/El-submarino-nuclear-Kursk---La-tragedia-.html(20-3-2013)

El diseño de los submarinos de ataque de tercera generación soviético se inició en 1971 en *TsKB Lazurit*. El titanio fue el material utilizado para el diseño los proyectos *661/Papa* y *705/Alfa*. Más allá de la reducción de peso, el titanio proporcionaría una mayor profundidad operativa a los SSN de tercera generación, hasta los 600 metros, que se unió a los avances de los SSN, incluyendo un mayor silenciamiento, armas y sensores. El progreso de la investigación de la aleación de titanio 48-0T3V, permitió que este fuera soldado al aire libre, aunque en algunas zonas especiales y limpias, las piezas o zonas más pequeñas fueron soldadas en una atmósfera de argón.

Desarrollado bajo el jefe de diseño Kvasha Nikolay, el nuevo submarino de ataque Proyecto *945/Sierra*, sería un diseño de una sola hélice con un único reactor nuclear. Este fue el primer submarino de ataque soviético en tener un solo reactor, a excepción del Proyecto *SSGN 670/Charlie*, también diseñado por Lazurit. La planta de propulsión del *Sierra*, denominada OK-650a, producía un total de 50.000 hp, bastante más energía que el *Charlie*. Además de sus avances en cuanto a silenciamiento, el reactor empleaba la convección natural a bajas velocidades, hasta los 5 o 6 nudos, con el fin de aliviar el uso de bombas. La planta de propulsión de los submarinos *Sierra* produciría una velocidad máxima de 35 nudos sumergidos.

El *Sierra* estaba bastante bien armado, el proyecto *945/Sierra I* tenía dos tubos lanzatorpedos de 650 mm y cuatro de 533 mm, y el proyecto 945a/*Sierra II* cuatro de 650 mm y cuatro de 533 mm, es decir mas armamento que un submarino clase *Los Angeles*. Además, los *Sierra* podían albergar entre torpedos y misiles un total de 40, en comparación con los 25 torpedos más 12 misiles que podían albergar las ultimas unidades de los submarinos clase *Los Angeles*. Los *Sierra* tienen un sistema de recarga completamente automatizado.

El *Sierra* estaba dotado de un avanzado sonar, el MGK-500 y de sistemas de control de incendios, también adoptó el sonar adicional en la popa de su antecesor *Victor*. Construido con una configuración de doble casco, el *Sierra* tenía una gran estructura, un puente amplio, disminuyendo hasta fusionarse con la estructura del casco, el *Sierra* como todos los submarinos soviéticos de tercera generación tendría una cámara de escape en el puente.

Asimismo, la tercera generación de submarinos soviéticos tendría una tripulación más reducida que los antecesores. El *Sierra* inicialmente estaba tripulado por 31 oficiales y suboficiales, y 28 marineros, en comparación con los 75 tripulantes del submarino *Victor*. (De manera similar, la tripulación del Oscar era de 107 hombres en comparación con los 160 hombres de los submarinos clase *Ohio*).

La construcción iba progresando a un ritmo rápido. Después de botar el siguiente submarino, este fue transportado a través de canales entre ríos hasta

Severodvinsk, donde fue finalizado y por último entregado el 21 de septiembre de 1984.

Con posterioridad, la construcción en los astilleros Krasnoye Sormovo progresaba más lenta de lo previsto. Al construirse las dos primeras unidades *Sierra*, las siguientes fueron rediseñadas, pasando a denominarse Proyecto *945A/Sierra II*, este era un submarino ligeramente más grande, el espacio adicional se añadió, con el fin de mejorar sus características de insonorización, el numero de compartimento pasó de seis a siete. Los niveles de ruido fueron menores al del Sierra I. Durante las primeras etapas de planificación, algunos oficiales de la marina prepararon un programa de 40 submarinos *Sierra*, que se construirían entre los astilleros de Krasnoye Sormovo y Severodvinsk. Las dificultades para producir placas de titanio, provocó el retraso de la construcción en los astilleros Krasnoye Sormovo de estos submarinos de ataque. Al final, sólo dos *Sierra I* y otros dos *Sierra II* se completaron, todos en Krasnoye Sormovo, la última en 1993, es decir, cuatro submarinos entregados en más de diez años.



Imagen 40: un submarino del Proyecto 945A/Sierra II, con los planos de inmersión desplegados y con sus antenas y periscopios también desplegados, este submarino también estaba provisto con el bulbo característico. Fuente:http://www.taringa.net/posts/noticias/16470099/Rusia-modernizara-submarinos-de-titanio-Karp-y-Kostroma.html (20-3-2013)

Cuando el programa se detuvo, quedaron dos aún sin terminar que habían sido puestos en quilla en los astilleros de Gorkiy. Con excepción de dos submarinos enanos del Proyecto 865, no habría ninguna construcción más de submarinos de titanio de cualquier nación. Los *Sierras* fueron los últimos submarinos nucleares que se construirían en Krasnoye Sormovo; los siguientes submarinos fueron los submarinos del proyecto 636/ *Kilo* que se construyeron para China, no eran nucleares sino, de propulsión diesel-eléctrica.

Los retrasos previstos en la construcción de los submarinos *Sierra* de titanio, llevaron tomar la decisión de seguir las construcciones con un "casco de acero Sierra", esencialmente sería el mismo submarino pero construido en acero, respondiendo a las mismas exigencias. Este cambio fue propuesto por la Oficina de Diseño Malaquita y, después de su la valoración por los altos cargos de la marina y por el ministerio, el diseño se llevó a cabo en 1976 en la Malaquita por un equipo dirigido por Georgi N. Chernishev, el mismo había sido anteriormente jefe de diseño del proyecto *671/Victor*.

Lógicamente tuvo consecuencias el cambiar de titanio al acero, el nuevo diseño eliminó la limitación de desplazamiento, esto se tradujo en que el submarino pudría albergar más sistemas eléctricos y más armas. El nuevo Proyecto 971/*Akula*, era de mayor tamaño que el Sierra, su casco era de acero AK-32, con más de 1000 toneladas mas que el Sierra y manteniendo la profundidad misma operativa de 600 m. En el *Akula* se redujo la reserva de flotabilidad con respecto al *Sierra* entre un 26 y un 29%, aun así estos submarinos tenían casi el doble reserva de estabilidad que los submarinos de ataque estadounidenses. El *Akula* tuvo 6 compartimentos. Curiosamente el tardío submarino americano *Seawolf* SSN 21, fue muy criticado debido a que era demasiado grande, el *Akula* fue aun más grande que el *Seawolf*, tenían una eslora de 113 m., el *Akula II* (*Akula I* 110,3 m) y el *Seawolf* con 107 metros de eslora.

Estaban provistos con la misma planta de propulsión que los *Sierra*, la OK-650, el mayor tamaño del *Akula* redujo la velocidad máxima que esta planta proporcionaba al *Sierra* hasta los 33 nudos. Las principales innovaciones del *Akula* se basaban en la reducción del ruido y el ahorro de peso, por ejemplo multitud de sistemas construidos de acero fueron construidos en plástico ahorrando un total de 10 toneladas. Los primeros Akula incluyen cubiertas que anulaban los ruidos. El recubrimiento anecoico de los posteriores submarinos del mismo proyecto contaba con un espesor de unos 64 mm.

El *Akula* estaba equipado con los sistemas más avanzados de la época como su sonar MGK-540. Armamentísticamente contaba con cuatro tubos lanzatorpedos de 533 mm. y otros cuatro de 650 mm. Los *Akulas* más tardíos tenían 6 tubos lanzatorpedos a proa y cerca de la escotilla de torpedos dos MG-74, esto era un dispositivo que producía un señuelo acústico. Estos dispositivos se suman a otros señuelos acústicos más pequeños propios tanto de los soviéticos como de los americanos con objeto de evadir a los sonares enemigos y torpedos.

El primer submarino del proyecto 971/ *Akula*, el *Karp*/K-284, fue puesto en grada en los astilleros de Komsomolsk en 1980. Este fue el primer submarino en ser construido en el extremo oriental de la Unión Soviética desde el Proyecto Echo I en 1958. Después de ser botado el 16 de julio de 1984, el *Karp* fue trasladado mediante un remolcados a Bolshoi Kamen (cerca de Vladivostok) para terminar en el astillero de Vostok. Una vez efectuadas las pertinentes pruebas de mar, el submarino fue entregado a la marina soviética el 30 de diciembre de 1984. Esto fue sólo tres meses después de la

que la primera unidad *Sierra* fuera puesta en servicio. El *Karp* pasó a desarrollar ensayos de armas.

La producción en serie del *Akula* continuó entre Komsomol'sk y en Severodvinsk, en este último astillero de completó el primer submarino, el K-480, nombrado como *Bars*, en 1989. El *Akula* se convirtió en el submarino estándar de tercera generación soviética. Las mejoras en el diseño se iniciaron al principio del programa *Akula*, el noveno *Akula* introdujo aún más mejoradas de silenciamiento, con cuatro unidades producidas. Posteriormente, en Severodvinsk comenzó la producción de una variante mejorada, el *Akula II*. Este proyecto contó con una variación en el casco y fue significativamente más silencioso. El *Vepr*, el primer submarino de esta segunda versión, fue construido en el astillero de Severodvinsk, el 21 de diciembre de 1993, el astillero fue renombrado con el nombre de Sevmash. A pesar de la desaceleración en su construcción debido a la desintegración de la Unión Soviética, el *Vepr* fue entregado el 8 de enero de 1996. Sin embargo, la segunda unidad *Akula II*, el *Gepard* , no fue entregado hasta el 4 de diciembre 2001.

10.1. Submarinos Silenciosos

Los *Akula II* tienen un desplazamiento en superficie de casi 230 toneladas más y 2,5 metros más de eslora que su versión anterior el *Akula I*, el espacio añadido fue para la instalación de un sistema de auto-silenciamiento. El *Vepr* llego a ser el primer submarino soviético en ser más silencioso a velocidades bajas que los últimos submarinos de la clase *Los Angeles*. Este logro soviético se tradujo en una gran preocupación para los países occidentales y especialmente los Estado Unidos, durante mucho tiempo la acústica en los submarinos americanos fue la principal ventaja sobre los submarinos soviéticos, esta era la cuestión de por qué los submarinos soviéticos habían llevado a cabo investigaciones y altos costes para superar la insonoridad de los americanos. Los ingenieros soviéticos pudieron llegar a un diseño de mayor insonoridad gracias a los avances que hubieron en la década de 1980.

En los Estados Unidos, se cree que el suboficial de la marina, John A. Walker vendió secretos a los soviéticos desde 1967 hasta que fue arrestado en 1985. Aunque principalmente se vendió el acceso a las maquinas encriptadoras americanas, indudablemente vendió material secreto de los submarinos americanos, el traidor sirvió en dos SSBN en su período inicial de su espionaje. El material robado incluía el SOSUS (Sound Surveillance System), esto puede ser la clave de cómo los soviéticos llegaron a construir submarinos de igual o incluso menor ruido que los americanos.

Entre 1983-1984 la empresa japonesa Toshiba vendió nueve sofisticados ejes a la URSS, mientras Kongsberg Vaapen-fabrikk, una empresa armas noruegas, vendió ordenadores avanzados a la URSS. Congresistas y oficiales de la marina americana denunciaron que esta tecnología hizo posible que los soviéticos pudieran

desarrollar submarinos más silenciosos. Esta interpretación es bastante discutida debido a que los diseños *Sierra,* y sus hélices son desarrollos de mucho antes a estos hechos. Esto no es ninguna excusa de que en realidad las ventas japonesas y noruegas provocaron una producción más eficiente.

Las mejoras de automatización también se fueron efectuando en las variantes sucesivas de cada submarino Akula. El gobierno del submarino y el control de las armas fueron concentradas en un mismo compartimento como en el proyecto 705/ *Alfa*. Reduciendo el número de tripulantes que se necesitarían.



Imagen 41: Proyecto 971/Improved Akula, debido al secretismo entorno a estos submarinos es difícil obtener fuentes fiables de sus características. Fuente: http://www.naval-technology.com/projects/akula/akula2.html

Sin embargo, la producción de *Akula* se vio severamente desacelerada debido a la desintegración de la Unión Soviética en 1991. Los astilleros Komsomolsk entregaron la séptima y última unidad en 1995; la última unidad entregada por los astilleros de Severodvinsk del proyecto *Akula II*, fue el *Gepard* (K-335), terminado a finales de 2001.

Ya no se han hecho más Akulas, periódicamente se especula con la posibilidad de que los *Akula* que hay empezados se completaran para la marina China ya que esto ya ha ocurrido con la marina India.

La marina rusa concluyó en 2009, el K-152 *Nerpa*, un Akula II que estaba en construcción desde 1993. Este submarino fue parte de la flota del pacifico desde que concluyeron sus pruebas de mar en 2009 hasta el 4 de abril de 2012, momento en que pasó a ser parte de la marina india, bajo el nombre de INS *Chakra*.



Imagen 42: observamos en la fotografía al INS Chakra anteriormente K-152 Nerpa, ya con bandera de la marina india. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:INS_Chakra.jpg (19-3-2013)

Un adicional y único submarino de ataque, fue construido con una serie de características que lo sitúan entre la segunda y tercera generación, se trata de proyecto 685/*Mike.* Aunque en la década de 1960 las empresas Lazurit y Malaquita fueron las responsables de la construcción de los submarinos soviéticos, concretamente la empresa Rubin fue capaz de convencer a la armada de la necesidad de un submarino de combate avanzado con el fin de evaluar nuevas tecnologías.

El diseño del proyecto 685/*Mike*, fue dirigido por un equipo de profesionales bajo las órdenes de N.A. Klimov, después de su muerte en 1977, fue sustituido por Kormilitsin.

El desarrollo del diseño fue lento. El submarino sería grande y su casco estaría hecho de titanio con el principal objeto de reducir el desplazamiento y sobre todo,

alcanzar grandes profundidades. De hecho este submarino alcanzaría una profundidad operacional de hasta los 1000 metros, más profundidad que cualquier otro submarino de ataque. Tuvo un sistema de emergencia de emersión a base de un combustible sólido que producía gas que hacia que el submarino emergiera. La propulsión fue proporcionada por un único reactor, el OK-650b-3 y por una sola hélice capaz de desarrollar más de 30 nudos. La hélice fue equipada con cuatro palas (una disposición similar a otros submarinos soviéticos). El doble casco *Mike* tenía siete compartimentos.

Inicialmente, sería un submarino de ataque totalmente capaz, siendo instalados seis tubos lanzatorpedos de 533 mm y un sonar de última generación, aunque los detalles de sus doce experimentos nunca han sido publicados. Los submarinos soviéticos que actualmente siguen en uso tienen la característica de ser altamente automatizados, el Proyecto 685 lo era también. Este submarino contaba con una tripulación total de 57 hombres, más tarde su dotación fue aumentada hasta 64 hombres, 30 oficiales y 22 suboficiales y 12 marineros. Mientras las tripulaciones de occidentes eran más pequeñas.

La construcción del submarino se prolongó en los astilleros de Sverodvinsk, en parte debido a las características experimentales del submarino. El K-278 fue puesto en grada en 1978, pero no fue botado hasta el 9 de mayo de 1983, y finalmente fue entregado a la marina a finales de 1984. El 5 de agosto 1985 alcanzó los 1000 metros de profundidad. Bajo las órdenes de su primer oficial, el capitán Rank Yu. A. Zeleuski, el K-278, nombrado con el nombre de *Kamsomolets* en 1988 llevó a cabo extensas pruebas y evaluaciones de sus innovadores sistemas.

La inteligencia estadounidense estima que el *Kamsomolets*, debido a su gran tamaño y la disponibilidad del misil crucero RPK-55 *Granat*/ SS -N-21, fue el primer submarino diseñado para atacar a objetivos terrestres en Eurasia y también en Estados Unidos. La inteligencia norteamericana también evaluó la aparente ausencia, de algunas de las características que se han observado en otras nuevas clases soviéticas, por ello se plantea la alternativa, aunque menos probable, de que la clase *Mike*, pueda servir como una plataforma de investigación para las pruebas de desarrollo del submarino relacionadas con tecnología.

Varios altos cargos de la compañía de diseño Rubin, propusieron la construcción de más proyectos 685, sin embargo las propuestas no fueron aceptadas, aunque los comandantes de la flota norte estaban de acuerdo en esta propuesta para seguir con las construcciones de este proyecto.

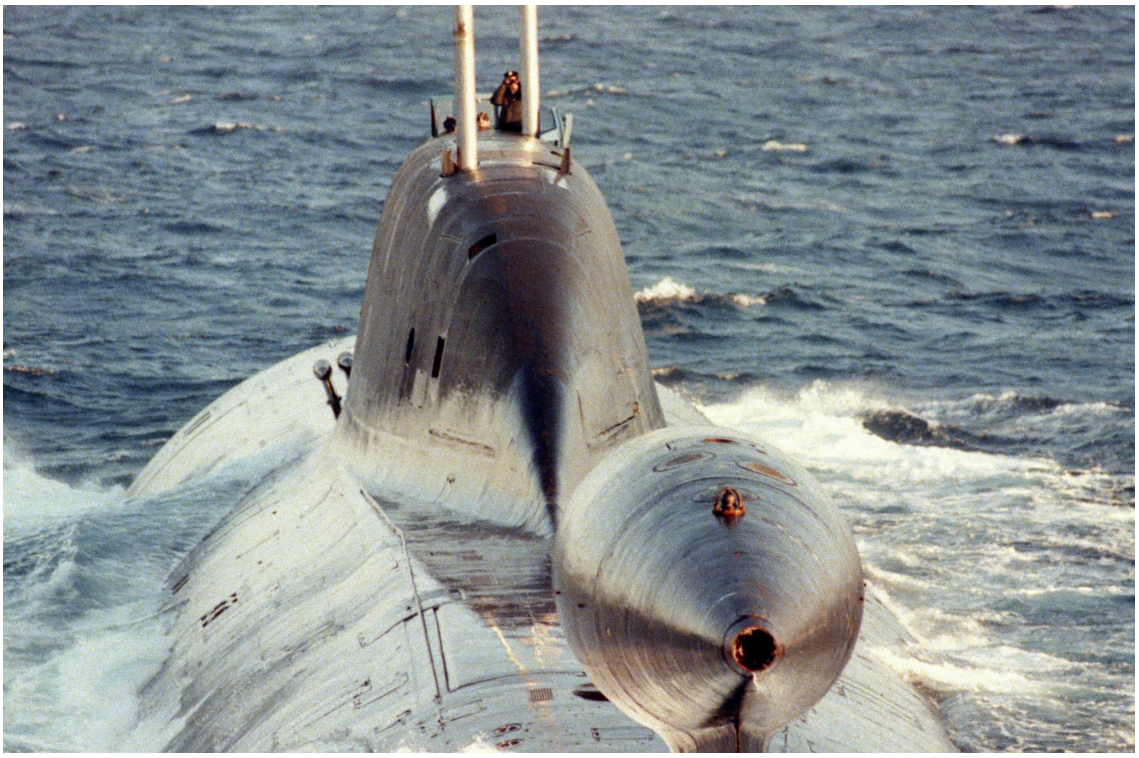


Imagen 43: submarino Akula II, foto actual vista desde popa y con el bulbo tan característico en la proa observamos unos dispositivos, estos son los señuelos.
Fuente:http://www.defenseimagery.mil/imagery.html#guid=47260620bbc3c24200bef0afe7a0de72a41caddd (20-3-2013)

Mientras tanto, una segunda tripulación, al mando del capitán Ye. A. Vanin, había empezado a entrenar para desarrollar las funciones a bordo del submarino. El 28 de febrero de 1989, la segunda tripulación tomó el *Komsomolets* y se hicieron a la mar en una patrulla en el Atlántico Norte. Este equipo era bastante pobre ya que no carecía de una división de control de daños en combate. Y el equipo carecía de la experiencia que había tenido la primera tripulación durante cuatro años.

El submarino estuvo como máximo 39 días en la mar. En la sala de torpedos habían torpedos convencionales y otros dos nucleares. En la mañana del 7 de abril de 1989, mientras navegaban en el mar de Noruega, dirigiéndose a su base en la península de Kola, se incendió el séptimo compartimento. Las llamas quemaron la válvula de suministro de aire de alta presión. Los intentos para inundar el compartimento con productos químicos identificados como LOKh, que estaban destinados a actuar como un supresor de fuego fracasaron, y pronto se llegó a temperaturas entre los 800 y 900°C.

El submarino que navegaba a una profundidad de 385 metros, tuvo que emerger a la superficie. El fuego se extendió. La tripulación luchó para salvar el buque durante 6 horas. Con el inicio de las inundaciones de popa del submarino, el capitán ordenó a la mayoría de los miembros de la tripulación a salir a la cubierta del submarino. En la cubierta, los hombres vieron las secciones de los revestimientos

anecoica desintegrarse del casco debido al intenso calor de la parte de popa del submarino. El capitán Vanin se vio obligado a ordenar el abandono del submarino. Una de las dos balsas alojadas en el puente se puso en servicio después de algunos contratiempos, entre otras cosas, debido a la mala formación de la tripulación, la temperatura del agua estaba cerca de los cero grados. Después de que la tripulación abandonase el buque, cumpliendo ordenes del capitán, este volvió a entrar en el Komsomolets, ya prácticamente hundido.

Al parecer, algunos hombres no habían escuchado la orden y seguían allí. Con los rescatados, cuatro oficiales y suboficiales, Vanin entró en la cámara de escape del puente, acto seguido el Komsomolets se inclinó, hasta un ángulo de unos 80 grados. El agua entró en la cámara de escape y los hombres tenían dificultades para alcanzar la escotilla inferior y preparar el lanzamiento. Los gases tóxicos entraron en la cámara (probablemente monóxido de carbono). Se hicieron esfuerzos para liberar la cámara, pero fracasó. Cuando la nave al fin se hundió en el fondo del océano, a 1.600 metros de profundidad, la cámara, debido a la presión, se disparó y subió a la superficie. A medida que la cámara la abría uno de los supervivientes, la presión interna voló la escotilla superior. Los gases tóxicos habían hecho perder el conocimiento a tres hombres, entre ellos Vanin. Dos suboficiales cayeron de la cámara debido a las malas condiciones de la mar, la cámara que les había rescatado acabó inundándose enviando a las profundidades al inconsciente Vanin y a los otros dos. Las aeronaves sobrevolaron la zona donde el submarino se hundió, dejando caer dispositivos de ayuda para facilitar el rescate de los supervivientes, los barcos también se dirigían al lugar, a unas 100 millas al sur de la isla del Oso. Una hora después de que el Komsomolets desapareciera, un barco de pesca sacó a 30 hombres del mar. De los 69 hombres a bordo del submarino, 39 hombres ya se habían perdido, incluyendo a su capitán y los que había ido a rescatar este además de un tripulante que murió en el incendio. Los efectos de la congelación del agua y el humo, finalmente, se cobraron la vida de 3 tripulantes más, la cifra de fallecidos ascendió a 42. Así desapareció uno de los principales bancos de pruebas de la siguiente generación de submarinos de la marina soviética.

En este período de la tercera generación de submarinos nucleares, tanto los Estados Unidos y la URSS produjeron gran cantidad de submarinos. Varios submarinos de investigación capaces de bajar a mucha profundidad fueron construidos en el astillero de Malaquita, todos estos submarinos fueron hechos de titanio. El Proyecto 1851/ *X-ray* fue relativamente un submarino pequeño, análogo al americano NR-1. La nave soviética, terminó en 1986, tenía un desplazamiento de superficie de aproximadamente 300 toneladas y una longitud de unos 30 metros. Su profundidad máxima operativa fue de 1000 metros.



Imagen 44: si misterioso eran y son aún los submarinos Akula, el Proyecto 1910 Kashalot/Uniform lo es aún más, sólo se construyeron dos y queda una unidad en funcionamiento en la marina rusa. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

Menos se conoce sobre los siguientes submarinos soviéticos como es el caso del Proyecto 1910 *Kashalot*/*Uniform*. Desde 1986 se produjeron hasta tres unidades *Uniform*, la última unidad concluyó su construcción en 1993, con un cuarto casco que no se llegó a construir debido a la desintegración de la Unión Soviética. Estas embarcaciones tenían un desplazamiento sumergidas de 2.500 toneladas y una eslora de 73 metros. Las misiones que desempeñaban estos submarinos no fueron nunca publicadas, además de las misiones de búsqueda, ya que podían alcanzar profundidades de hasta los 1.220 metros, por supuesto su casco era de titanio.

10.2. Resumen

Después de una gran controversia, discusiones y debates, los submarinos de tercera generación estadounidenses se basaron en dos diseños, la clase *Los Angeles* (62 unidades) y la clase *Ohio* (18 unidades), más un submarino de la clase *Glenard P. Lipscomb*. La mayoría de los ingenieros que diseñaban los submarinos apostaron por el potencial que tenía el proyecto *CONFOR,* aunque no se llevaron a cabo ya que Rickover no dio su visto bueno al proyecto*, encontrándose este en el zenit de su carrera, cuando* se inició la tercera generación de submarinos.

Así, los últimos submarinos de segunda y tercera generación soviéticos consistieron básicamente en cinco diseños más un submarino de avanzada tecnología el *Komsomolets* y varios de propósito especial, así como algunos de propulsión diele-electrica. Sin embargo, la producción de estos submarinos se vio truncada debido a la desintegración de la Unión Soviética.

A finales de 1991, la Unión Soviética contaba con 45 submarinos de tercera generación, mientras que los Estados Unidos tenían 81 unidades.

Es importante remarcar que, en las generaciones anteriores el numero de submarinos soviéticos siempre había sido superior a los americanos, sin embargo en esta generación ocurrió al contrario, esto se produjo debido a que los soviéticos se dedicaron más exhaustivamente que antaño a la calidad de sus submarinos y a obtener mejores resultados con ellos, en cuanto por ejemplo a profundidad operativa o insonorización, de hecho en este último campo se pusieron a la par que los americanos incluso llegaron a estar por delante.

A pesar de esta incremento de la producción de submarinos soviéticos, los submarinos americanos aun mantuvieron el tipo de manera contundente, esto se refleja por ejemplo en la seguridad de los submarinos americanos, que no cuentan con ningún accidente de grandes proporciones en su haber, a diferencia de la marina soviética que perdieron, además, a muchos de sus tripulantes, como por ejemplo en el submarino Komsomolets.

En pocos años, todos los proyectos de la Unión Soviética se vieron diezmados.

Tabla 8: comparativa de los principales submarinos de tercera generación y del proyecto AHPNAS

	Los Angeles SSN 688	AHPNAS SSGN	Proyecto 949 Oscar I	Proyecto 945 Sierra I	Proyecto 971 Akula I	Proyecto 685 Mike
Operacional desde	1976		1980	1984	1985	1983
Desplazamiento						
en superficie	6.080 t	12.075 t	12.500 t	6.300 t	8.140 t	5.680 t
en inmersión	6.927 t	13.649 t	22.500 t	8.300 t	10.700 t	8.500 t
Eslora	110.3 m	143.9 m	144 m	107 m	110.3 m	118.4 m
Manga	10.06 m	12.2 m	18.2m	12.2 m	13.6 m	11.1 m
Calado	9.75 m	10 m	9.2 m	9.5 m	9.68 m	7.4 m
Reactor	S6G	1	2 OK-650b	1 OK-650a	1 OK-650b	1 OK-650b-3
Turbinas	2	2	2	1	1	2
Potencia	30.000 HP	60.000 HP	100.000 HP	50.000 HP	50.000 HP	50.000 HP
Hélices	1	1	2	1	1	1
Velocidad						
en superficie	25 nudos		15 nudos		13 nudos	14 nudos
en inmersión	33 nudos	30+ nudos	32 nudos	35 nudos	33 nudos	30+ nudos
Profundidad máxima operativa	290 m	395 m	600 m	600 m	600 m	1000 m
Misiles	12 Tomahawk	20 STAM	24 SS-N-19	SS-N-16	SS-N-16 SS-N-21	No
Tubos lanza torpedos	4 de 533 mm A	4 de 533 mm A	4 de 533 mm B 4 de 650 mm B	4 de 533 mm B 2 de 650 mm B	4 de 533 mm B 4 de 650 mm B	6 de 533 mm B
Torpedos	25	---	28	28 de 533 mm 12 de 650 mm	28 de 533 mm 12 de 650 mm	
Tripulación	141	111	107	59	73	64

11. Cuarta generación de submarinos nucleares americanos



Imagen 45: el USS Seawolf en sus primeras pruebas de mar en julio de 1996.
Fuente: http://www.navsource.org/archives/08/080021a.htm (20-3-2013)

El USS Seawolf (SSN 21), último diseño de submarino estadounidense de la guerra fría, es probablemente el submarino más controvertido de la historia de la marina americana. Los orígenes de Seawolf son complicados. La decisión de construir un nuevo submarino de ataque se valoró en julio de 1982, sólo un año después de que la marina estadounidense tomase la decisión de no desarrollar un nuevo submarino de ataque. En 1981, el jefe del Comando Naval Sea Systems dijo al congreso:

> *"No estamos diseñando un submarino de ataque avanzado. Hemos revisado todos los diseños hasta 1981 que había llevado a cabo Electric Boat y decidimos parar los diseños de nuevas clases de submarinos y centrarnos en una actualización de los submarinos clase Los Angeles".*

No se contempla ningún diseño económicamente viable para ser el sucesor de la clase Los Angeles. El CNO (Chief of Naval Operations) ordenó que las investigaciones hacia un diseño de submarino de ataque rápido que fuera más pequeño y más rápido y el SSNX más grande y con más características fueran parados. La CNO también ordenó que la máxima prioridad la tuviese el proyecto de actualización de la clase *Los Angeles*.

El interés en una clase sucesora de la clase *Los Angeles* comenzó en junio de 1982, cuando el almirante James D. Watkins se llegó a Jefe de Operaciones Navales. Fue el primer tripulante de submarino en alcanzar tal grado en la escala de oficiales de la marina estadounidense. Cuando Watkins llegó a la CNO, John Lehman llevaba de secretario de la marina más de un año. Lehman tuvo un fuerte apoyo del presidente Ronald Reagan para "reconstruir" la Marina de los Estados Unidos y creó un ambicioso programa para alcanzar una flota de 600 barcos, con especial énfasis en los portaaviones, acorazados y submarinos de misiles estratégicos; también quiso incrementar el número de submarinos de ataque de 90 a 100. La actitud de Lehman al frente de la secretaría de defensa deja a Watkins la libertad de acción, de hecho, al describir la forma en que se administraban los distintos componentes de la secretaría de Marina, Lehman dijo que había dejado Watkins con total libertad en el desarrollo de los programas de submarinos.

Casi al mismo tiempo, en enero de 1982, el almirante Rickover dejó el cargo después de más de 30 años al frente de la dirección de propulsión nuclear de la Marina. Lehman, con el pleno respaldo del personal de la Casa Blanca, había logrado apartar a Rickover de la marina con la escusa de que sobrepasaba la edad de jubilación legal. Muchos de los miembros del congreso que habían apoyado siempre a Rickover habían muerto o estaban fuera de la vida política, y los nuevos miembros carecían del fervor anti soviético que Rickover había explotado en los comités del congreso para llevar a cabo sus planes de construcción de buques nucleares y sus intereses.

El almirante Watkins, quien se convirtió en el principal impulsor de un nuevo submarino de ataque. Para propulsar un nuevo SSN el sector encargado del desarrollo de reactores navales había propuesto una planta de agua a presión de 45.000 hp, es decir, un 15.000 hp de incremento sobre la clase de Los Ángeles.

La “Naval Sea Systems Command” (NavSea) llevó a cabo un gran número de estudios conceptuales sobre un nuevo SSN, los diseños preliminares fueron luego revisados por un equipo compuesto por NavSea, Electric Boa y Newport News. Electric Boat y Newport News compitieron por el contrato para la construcción de los nuevos submarinos, al final ganó Newport News por su diseño “front end”, este diseño se basaba en poner el reactor más a proa.

11.1. La Clase *Seawolf*

El nuevo submarino sería denominado como SSN 21, en este diseño se hizo mucho énfasis en el silenciamiento, debido a que los soviéticos los habían alcanzado en cuanto a silenciamiento. El SSN 21 tendría un nuevo sistema de armas, sensores y tubos lanza torpedos, además sería un submarino innovador por su diseño *front end* esto

hizo que fuera un cambio en un diseño conceptual que llevaba en la marina más de dos décadas. Mientras que el SSN 21 estaba en la etapa de diseño preliminar, el vicealmirante Nils R. Thunman, convocó a un grupo de oficiales de submarinos e ingenieros para ayudar a determinar cuales serían las características del SSN 21.

Este grupo fue conocido como el "grupo Tango" (refiriéndose a Tango debido a que es el carácter fonético de la primera letra del apellido Thunman).

El grupo T concluyó con 7 características que debían ser enfatizadas por el SSN 21, estas fueron:

- Velocidad
- Profundidad
- Tubos lanza torpedos
- Carga de armas
- Habilidad de operar en el Ártico
- Mejora del sonar
- Silenciamiento

El grupo Tango estableció estos objetivos siendo realista y contando con que se podrían alcanzar, sin embargo, fuentes de la armada americana hablan de que el submarino sólo alcanzó tres de los siete objetivos marcados; capacidad de operativa en el Ártico, menor ruido y mejora del sonar; los objetivos que menos se lograron fueron la profundidad operativa y el numero de tubos lanza torpedos.

El SSN 21 sería un submarino grande, poco inferior o igual a 9.000 toneladas de desplazamiento sumergido, que es un 30% más que los mejores submarinos de la clase *Los Angeles*. La planta de reactor S6W fue pensada para proporcionar una velocidad de 35 nudos. La velocidad táctica del *Seawolf*, es decir la velocidad a la que el submarino puede detectar a un enemigo sin que el mismo sea detectado por el contrario, sería de más de 20 nudos en comparación con las velocidades tácticas de los soviéticos que se calculaban que rondarían entre los 6 y 8 nudos. Además, el SSN 21 irradiaba el menor índice de ruido que cualquier otro submarino. Un oficial de la marina comunicó al congreso que el *Seawolf* había alcanzado sus objetivos acústicos y que la marina soviética tardarían en alcanzar nuestro nivel entre 5 y 10 años.

Para contribuir al silenciamiento del SSN 21, el submarino contó con una innovadora hélice, en lugar de ser construido con una hélice convencional, tuvo una hélice con un sistema *pump-jet* o *ducted-thruster*, este sistema hacía que las vibraciones que desprendían los álabes se concentrasen y así se redujeran las vibraciones y con ello el ruido. Este sistema fue puesto en funcionamiento años atrás por el HMS Churchill de

la clase de submarinos británicos Trafalgar. La hélice está contenida en un anillo, formando un rotor, que se encarga de concentrar el flujo de agua que entra en la hélice para que el submarino se desplace, esta disposición reduce también el fenómeno de la cavitación y otras fuentes de ruido que caracterizan a la propulsión convencional.

El uso de polímeros en el casco del *Seawolf* (SSN 21) parece ser que se valoró. Después de que el *Albacore* (AGSS 569) iniciara la búsqueda de un polímero de eyección con el que ser construido su casco, en el periodo 1970-1972, en el *USS Jack* (SSN 605) también se habían utilizado polímeros en la construcción de su casco y, más tarde, el USS William H. Bates (SSN 680). En los ensayos con el Jack se observaron reducciones en los niveles de ruido, mientras que en los ensayos con el William H. Bates se observó una menor fricción. En todas estas investigaciones se tuvieron problemas con mezclas químicas y con la capacidad de almacenamiento limitada de polímeros. Un sistema efectivo en el momento de los ensayos habría requerido grandes cantidades de polímero, probablemente afectando a la extensión del submarino.

Posteriormente, la Armada y la universidad del estado de Pennsylvania realizaron pruebas en un simulador con una maqueta de 6,1 metros para demostrar que los polímeros pueden distribuir eficazmente y reducir la fricción. Con estos buenos resultados, el proyecto iba a ser llevado a escala real mediante un submarino de la clase *Los Angeles*, pero el proyecto fue cancelado a principios de los 90.

Una declaración de la Armada afirmó: "los nuevos polímeros y el sistema de inyección que se están proyectando incrementará la velocidad en un 20%. También se aumentara la velocidad táctica.

El casco del SSN 21 se fabricó a partir de acero HY-100, el cual no había sido utilizado por la clase *Los Angeles*. El uso HY-100 devolvería a la marina a profundidades considerables hasta los 395 metros que podían descender los antecesores de los submarinos clase *Los Angeles*. Se previó que a partir del cuarto SSN 21, la armada emplease el acero HY-130, proporcionando una profundidad aún mayor. Las dificultades iniciales con el acero llevaron a la decisión de construir todos con el acero HY-100. Asimismo, el SSN 21 tiene en la proa planos de inmersión que se pueden plegar dentro del casco para operaciones bajo el hielo, tal y como en los últimos SSN 688.

Para la principal misión del SSN 21, que era de ASW, el submarino sería dotado con un total de 8 tubos lanza torpedos de 670 mm. Este fue el primer cambio en el diámetro del tubo lanzatorpedos desde que en 1920 los submarinos de la clase S introdujeran los tubos lanzatorpedos de 533 mm. Los tubos más grandes proporcionan un crecimiento potencial para las armas futuras. El submarino no tenia tubos verticales de lanzamiento de misiles *Tomahawk*, sino que los misiles anti-buque, *Tomahawk* y *Harpoon*, y minas son puestos en marcha a partir de tubos lanza torpedos.

La misión de penetrar en las defensas soviéticas y operar en aguas poco profundas en el mar de Barents o en el mar de Ojotsk era de bastante dificultad, por lo tanto, el submarino fue diseñado para albergar una gran batería de torpedos. La gran sala de torpedos podía acoger a más de 40 torpedos, con ocho tubos lanza torpedo, pero además el submarino podría llevar un total de 50 armas entre misiles y torpedos, es decir un tercio más que los submarinos clase *Los Angeles* más desarrollados, que eran un total de 37 armas. Esta gran carga de armamento se ideó con objeto de permitir al SSN 21, una vez que hubiera penetrado en agua enemigas, atacar a blancos, tanto en agua como en tierra, a un ritmo prodigioso, habiendo permanecido durante largos periodos a la espera de órdenes. Los ataques con misiles *Tomahawk* contra ataques de tierra o barcos de superficie se consideraron de menor importancia y así se suprimieron los tubos verticales, VLS, típicos de la clase *Los Angeles* aunque como ya hemos dicho los *Tomahawk* podían ser lanzados desde un tubo lanza torpedos.

Junto con las armas, un nuevo sonar y un sistema de control de fuego, fue provisto, este nuevo conjunto fue denominado como SUBACS (*System Submarine Combat Advance*). Cuando se inició en 1980, estaba previsto que fuera instalado en los submarinos de la clase *Los Angeles*, así como en los SSN 21. La SUBACS estaría montado en el sonar activo y pasivo, a proa, a cada lado de estos. El SUBACS se considera un factor muy importante entre los submarinos estadounidenses y los soviéticos.

Desde el inicio del SUBACS se encontraron problemas en el desarrollo, coste y gestión. Para transmitir datos se quiso emplear fibra óptica, pero esto al final no pudo ser así por encontrarse demasiadas dificultades, así tuvo que rediseñarse y emplearse tecnologías más convencionales. A continuación hubieron problemas en la producción de los paneles de control de circuitos multicapa. Y por otra parte, habían problemas de gestión por parte del contratista principal (la corporación IBM) y la Marina. Esta serie de problemas contribuyeron al aumento del coste sin precedentes, en un sólo año los costes del SUBACS aumentaron a 1.000 millones de dólares del presupuesto inicial.

Varios rediseños, así como algunos cambios en la gestión fueron indispensables, así el SUBACS pasó a denominarse AN/BSY-1 (B, submarine system; S, special; Y, Multi-purpose). Este sistema se instalaría en los submarinos clase Los Angeles que se desarrollaban entonces, y más adelante serían instalados en el SSN 21 cuando había sufrido mejoras y pasó a denominarse AN/BSY-2. Los costes máximos fueron colocados en los sistemas BSY, que se superaron continuamente. A petición del congreso, la Oficina de Contabilidad General (GAO) siguió de cerca el desarrollo de las series BSY.

En 1992, el BSY-1 estaba siendo evaluado en el USS San Juan (SSN 751), la GAO informó:

"Hay dos temas críticos que asolan al AN/BSY-1, la fiabilidad y la facilidad de mantenimiento. Los fallos del sistema disminuyeron la fiabilidad del AN/BSY-1. Los fracasos no fueron corregidos en un tiempo hábil. Los cambios se estaban haciendo y se esperaba corregir estas deficiencias".

Ciertamente, los problemas de la serie BSY podrían ser corregidos a tiempo, pero sólo acosta de un altísimo coste, y esto se convertiría en una preocupación cada vez mayor en la era posterior a la Guerra Fría. Los problemas continuaron con la producción en serie del BSY, aunque esto actuó como un pararrayos de las críticas cada vez mayor al programa de submarinos SSN *Seawolf*. Ya en 1984, un estudio clasificado de la Subsecretaría de Defensa, el Dr. Fred Iklé, criticó el *Seawolf*, principalmente sobre la base del coste y el enfoque que la marina había dado al proyecto siendo su única misión la de ASW. La marina planeó construir tres submarinos *Seawolf* por año, el análisis presupuestario dio como resultado que los mismos fondos destinados a los tres *Seawolf* podrían producir un total de siete submarinos clase *Los Angeles*. Y tras la marcha del secretario de defensa, Lehman, entre 1986 y 1987 la financiación de la marina se redujo drásticamente, lo que hizo imposible construir los tres submarinos por año para alcanzar el objetivo de tener una fuerza de submarinos de ataque de 100 unidades.

Mientras que un *Seawolf* individualmente sería superior a un submarino de la clase *Los Angeles* en prácticamente todas las características, obviamente la relación en cuanto a producción era abrumadoramente a favor de la clase *Los Angeles* (3 a 7) esto significa que podrían estar más submarinos en el mar y además sería menos costoso el programa. Además, tres *Seawolf* cargarían un total de 150 armas (entre misiles y torpedos), mientras que siete submarinos Los *Angeles* transportarían consigo un total de 259 armas. Sin embargo, la ardua misión de las operaciones antisubmarinas en aguas soviéticas cercanas a la costa podrían necesitar un submarino más capaz que los de la clase *Los Angeles*, especialmente en vista de los niveles de ruido tan reducidos de los submarinos *Akula*.

El almirante Watkins rápidamente atacó el estudio, así como al análisis del proyecto. El asunto de la construcción del *Seawolf* fue incumbiendo ya al congreso, el gobierno de Reagan, y la prensa. Cuando se inició el programa, la marina planeaba pedir fondos para un SSN 21 en el año fiscal 1989 (a partir del 1 de octubre de 1988), dos en el año fiscal 1991, y luego tres por año hasta alcanzar 29 unidades *Seawolf*.

El *Seawolf* fue autorizado en el año fiscal 1989. Pero al año, aparecieron problemas de gestión y problemas técnicos con el proyecto, esto se tradujo en un incremento del presupuesto, debido a esto la Comisión de Servicios Armados del Senado eliminó todos los fondos para la construcción de los submarinos *Seawolf* que corresponderían al año fiscal de 1991, en lugar de estos dos submarinos *Seawolf* se construyeron dos

submarinos más de la clase *Los Angeles*; el Comité de Servicios aprobó la financiación de tres *Seawolf* después de un comunicado urgente por parte de ingenieros de la marina y almirantes. La audiencia pública que se efectuó por los problemas sobre el *Seawolf* se celebró el 24 de julio 1990 llevó a un periodista a escribir que el *Seawolf* fue aprobado "probablemente por lástima." Así fue como el segundo *Seawolf* se financió.

El secretario de defensa del Presidente Bush, Dick Cheney, redujo a la mitad las futuras tasas de construcción para los *Seawolf*, resultado de un exhaustivo examen de los programas de defensa, el 13 de agosto de 1990, Cheney anunció que sólo se construiría por año submarino y medio, en lugar de los tres que se quería conseguir previamente por la marina. Con una vida útil prevista de 30 años, la flota terminaría proporcionando a la marina 45 submarinos de ataque, esto era menos de la mitad que se había establecido anteriormente, que eran 100 SSN.

En 1991, con la Unión Soviética pasando por momentos de mucha tensión política, el programa de submarinos balísticos, los Ohio, se había reducido a 18 unidades. Con la reducción del ritmo de producción de los SSN, existía la preocupación de que sólo un astillero se dedicase a la producción de submarinos nucleares. En los inicios del programa de los *Seawolf*, los astilleros de Electric Boat en Connecticut se encontraban construyendo los submarinos *Los Angeles* y los Ohio, “Newport News Shipbuilding” en Virginia por su parte construía sólo de la clase *Los Angeles*, pero estos últimos también construían portaaviones de propulsión nuclear y buques mercantes. Con más control sobre los astilleros de Electric Boat debido a que sólo se dedicaban exclusivamente a la construcción de submarinos para la marina, el almirante Bruce DeMars, alto mando de la marina, dio la construcción de los *Seawolf* a Electric Boat.

Newport News presentó una demanda contra la Marina por la adjudicación del contrato de la construcción del Seawolf en Electric Boat. En Newport News los costes eran menores, pero la Marina se impuso en los tribunales, y después de algunos retrasos, Electric Boat comenzó a construir el SSN 21. Este contratiempo significó que en los próximos años Newport News estaría fuera de las opciones que la marina contemplaba para la construcción de sus embarcaciones, la armada habría pasado de siete astilleros que construyeran submarinos nucleares en los 60 a solo un astillero, Electric Boat.

Los problemas continuaron asolando al sistema BSY-2 de los *Seawolf*, por si no fuera poco el 1 de agosto de 1991, la marina reveló que habían sido descubiertos muchos fallos en las soldaduras del casco del *Seawolf*. El problema, identificado en junio de 1991, era resultado de un procedimiento que permite que la soldadura se enfriase a un ritmo demasiado rápido en la soldadura de carbono que se utilizó. Dando lugar a que las soldaduras eran demasiado frágiles. Según se informó, todas las soldaduras tuvieron que

ser sustituidas. Esto se produjo en un momento en el que el submarino estaba completado al 17%. Así, el precio se encareció de manera muy significativa además del retraso de la entrega.

Otro factor en el aumento de los costes fue la baja tasa de producción de submarinos de ataque. Electric Boat había comenzado la última unidad Ohio 1991, y el último submarino *Los Angeles* había empezado a construirse en 1993, por esto el *Seawolf* tenía que esperar que los astilleros se desocupasen para que pudiesen empezar su construcción, ya que necesitaba toda una dársena para ser construido porque era el primero de su clase y podrían haber contra tiempos, como los hubo.

En enero de 1992, con la Guerra Fría terminada, el secretario de defensa, Cheney, anunció que todo el programa *Seawolf* sería cancelado, sólo el SSN 21 se completaría. Los fondos, previamente votados en el congreso, para el SSN 22 y SSN 23 debían ser rescindidos. El gobierno de Clinton, que comenzó en enero de 1993, afirmó que solo se construiría un submarino clase *Seawolf*. No hubieron planes de construir mas submarinos Seawolf hasta que el SSN 21 que se construyó en el año 1997, cuando se inició un plan *low cost*.

Pero la presión de las delegaciones del congreso en Connecticut y estados vecinos, promovidos por DeMars, obligó a la construcción del SSN 22, que había sido financiado en el año fiscal de 1991. Del mismo modo, el SSN 23, que había sido parcialmente financiado en el año fiscal 1992, tuvo que ser apoyado por el congreso. DeMars afirmó que 1,5 mil millones de dólares ya se habían comprometido para la construcción del tercer submarino, por lo que se pudo completar por sólo un importe adicional de 1,5 mil millones de dólares. Aunque muchos de estos compromisos de dinero podría haber sido detenidos, el Congreso aprobó la tercera unidad con un coste estimado de 3 mil millones de dólares, es decir más de la mitad del coste de un portaaviones nuclear de 100.000 toneladas.

El *Seawolf* se hizo a la mar para efectuar las pruebas de mar, el 3 de junio de 1996. Varías partes del sonar de grandes dimensiones fueron dañadas durante estos ensayos, en parte debido a su pobre diseño y a que aun no habían sido instaladas las capas anecoicas. DeMars, a bordo en los ensayos, dijo que el *Seawolf* había ido más rápido que las anteriores estadounidenses clases de submarinos. Los informes de prensa dijeron que el submarino había superado los 40 nudos aunque esa cifra parece muy poco creíble. Estas pruebas de mar se llevaron a cabo antes de la instalación del revestimiento anecoico, y sin el instrumental completo del submarino, así que no fueron unas pruebas reales.



Imagen 46: el Seawolf en construcción, en Groton, Connecticut hacia 1995.
Fuente: http://www.navsource.org/archives/08/080021a.htm(20-3-2013)

El *Seawolf* fue comisionado el 19 de mayo de 1997, después de un período de construcción de más de ocho años. Los problemas persistieron. Las pruebas y ensayos se prolongaron y al final se detuvieron en el otoño de 2000 debido a problemas de soldadura relacionados con su sistema de aire de alta presión. También hubo problemas con; la capacidad de lanzamiento de los *Tomahawk*, el propulsor de la bomba de chorro, y el sonar. El *Seawolf* no se dispuso a su total despliegue operacional hasta junio de 2001, una vez pasados 4 años de ser sometido a trabajos en astilleros y ensayos.

El segundo submarino de la clase, el SSN 22 Connecticut, fue comisionado el 11 de diciembre de 1998. También este tuvo que pasar por muchas pruebas y arreglos en astillero una vez que ya había sido comisionado. Sin embargo, a mediados de 2001, el Connecticut realizó una breve travesía por el Ártico. La tercera unidad, llamada Jimmy Carter SSN 23, inició su construcción en diciembre de 1995. Este submarino sustituiría al submarino *Parche* SSN 683 en las operaciones de búsqueda, investigación y en

operaciones de recuperación. También se quiso dotar al submarino con la capacidad para desembarcar a unidades especiales SEAL. Estos cambios retrasaron la terminación del submarino durante más de dos años, al menos hasta mediados de 2004 con un incremento del precio total.

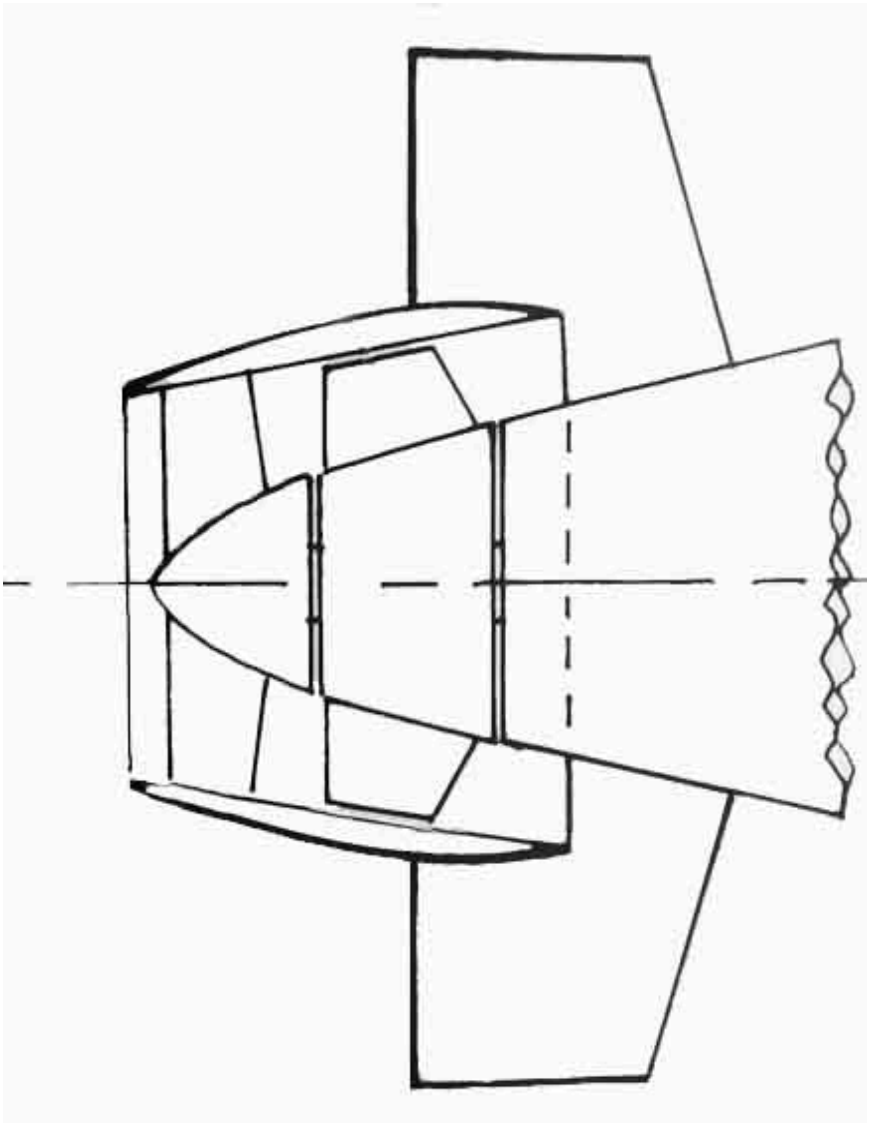


Imagen 47: hélice tipo "pump-jet" del submarino Seawolf. Fuente: A.D. Baker, Combat Fleets of the World 2000-2001.

Fue contradictorio que la marina tomase uno de sus últimos submarinos para darle la misión de búsqueda y rescate, siendo este un segundo papel, y el submarino al que se le otorgaba este papel el mejor submarino del momento. Aunque aun así el Carter mantendría todas las armas y sensores, pero observando las operaciones que había desempeñado el *Parche*, su predecesor, las misiones del Carter serían casi exclusivamente de búsqueda y rescate.

A mediados de la década de 1980 la estimación del coste oficial para un programa de 29 unidades *Seawolf* fue de 38 mil millones. En 1999, un oficial de submarinos, con

pleno acceso a las fuentes de la Marina y astilleros, estimó que el costo del programa de tres unidades *Seawolf*, eran de casi 16 mil millones de dólares. En el momento de esta estimación, ninguno de los submarinos estaba en pleno funcionamiento. Los tres *Seawolf* son, probablemente, el programa más caro jamás construido a excepción de los portaaviones de propulsión nuclear.

11.2. La clase *Virginia*



Imagen 48: primera unidad de la clase Viriginia, el Virigina, realizando las pruebas de mar a principios de 2004. El puente tiene características muy similares al Seawolf, sin embargo lleva a modo de periscopio dos mástiles no retráctiles.
Fuente:http://gambar-kapal.blogspot.com.es/2011/05/uss-virginia-ssn-774-wallpaper-1.html(20-3-2013)

La construcción de la clase *Virginia* fue autorizada para el año 1998.

Los siguientes pasos que tomó el gobierno americano en respuesta a la situación de un submarino con tantos problemas fue, que el congreso aprobó en el año fiscal de 1996 un proyecto de ley de autorización de defensa que incluía: 700 millones de dólares para la construcción del tercer *Seawolf* (SSN 23), 704.5 millones de dólares para el avance costes de construcción de un submarino de ataque para ser autorizado en el año fiscal de 1998 (es decir, la clase Virginia) que se construirán en Electric Boat,

y 100 millones de dólares en fondos de construcción avanzados para un SSN en el año fiscal 1999 para ser construido por Newport News Shipbuilding.

La comunidad submarina de la armada ignorada la burocracia del congreso desarrolló un programa en el cual Newport News Shipbuilding y Electric Boat compartiría la construcción de cada submarino de la nueva clase *Virginia*. Este concepto, aunque innovador, causó mayores costes unitarios.

Para contrarrestar las críticas del Congreso por la falta de innovación en el diseño de submarinos de Estados Unidos, la comunidad submarina propuso que los nuevos sistemas y características se le instalasen a cada submarino conforme iba evolucionando la tecnología y la construcción de submarinos, en vez de desarrollar nuevos diseños que encarecerían mucho los cada nuevo submarino.

Asimismo, la comunidad submarina se unió junto con la Agencia de Defensa de Proyectos de Investigación Avanzada (DARPA) para patrocinar un estudio amplio y objetivo de los conceptos submarinos futuros. El informe con el que concluyeron esta unión de trabajo, publicado en julio de 1998, hizo hincapié en la importancia futura de una clase nueva de submarinos de ataque nuclear, y resaltando ciertos conceptos de esta nueva clase:

- El SSN de próximo debe ser un buque de guerra de gran capacidad de respuesta rápida.
- Se debe de caracterizar por tener capacidad de combate en el agua, es decir utilizar sólo tubos lanzatorpedos, no VLS (sistema vertical lanzamiento) y otras interfaces para fines especiales.
- No se debe limitar el tamaño de la nave y de las armas, vehículos auxiliares, y otras cargas cuando se utilizan.

Más de dos años después, los dos equipos contratistas se reunieron para desarrollar tales conceptos respondiendo a las exigencias. Las indicaciones fueron que no habría innovaciones futuras. Mientras tanto, en respuesta a la presión del congreso y de la crítica profesional en esta área, el tercer *Seawolf*, el Jimmy Carter, fue rediseñado para transportar y operar cargas más grandes, vehículos submarinos no tripulados principalmente para reconocimiento, detección, búsqueda profunda del océano, y otras actividades, como ya hemos mencionado. Las dos empresas contratistas llegaron a la conclusión que las actuales plantas de propulsión nuclear eran excelentes y no necesitaban mejoras.

Los requisitos del diseño de la clase Virginia era principalmente que fuese menos caro que el *Seawolf* y con el mismo nivel de silenciamiento. El diseño resultante era un submarino de 7.700 toneladas de desplazamiento en inmersión, con una

longitud de 114,94 metros, el casco está equipado con cuatro tubos lanzatorpedos de 533 mm, esto era un acercamiento al diseño de los submarinos clase *Los Angeles*. Además de 12 tubos de lanzamiento vertical para los misiles Tomahawk dispuestos a proa, como la clase *Los Angeles*.

El nivel de ruido era una característica difícil de prever hasta que el submarino estuviese en funcionamiento y se efectuasen las pruebas de mar. La propulsión es proporcionada por un reactor de agua a presión S9G con una turbina de vapor proporcionando un total de 25.000 caballos de fuerza al propulsor, "pump-jet", al igual que el *Seawolf*.

Aunque el diseño recordaba mucho a *Los Angeles*, el Virginia tenía varias innovaciones en sus dispositivos, como por ejemplo, dos mástiles fotónicos AN/BVS-1, fijos, es decir que no se pliegan en el puente del submarino. Debido a esto, no hace falta que la sala de control esté justo debajo de ellos lo que da cierta ventaja. El sonar que alberga este submarino es el AN/BQQ-10 Acoustic Rapid COTS Insertion (ARCI), que es una actualización del BQQ-51 BQQ-6/BSY-1 siguiendo el legado de los primeros sonares de los anteriores submarinos de ataque. Otra innovación en el Virginia es la sala de torpedos que puede ser rápidamente reconfigurada, con la mayoría de las armas y bandejas porta torpedos eliminados, para proporcionar literas modo *Tokio Hotel* para un máximo de 50 miembros de las fuerzas especiales.

En relación con los SSN anteriores hay poco cambio en la automatización. El Virginia tiene una dotación total de 134 tripulantes; 14 oficiales y 120 tripulantes más, entre suboficiales y marinería. Esto es misma dotación que el *Seawolf* y sólo unos pocos hombres a menos que la clase *Los Angeles*.

El *Viriginia* introdujo nuevas características en el diseño *front-end* con respecto el *Seawolf*, pero las plantas de sus reactores son similares al diseño básico. La convección natural la cual reduce la necesidad de bombas de baja potencia, se inició con una planta S5W del submarino clase *Narwhal*. Cabe destacar que los reactores no se dejaron de desarrollar y de desarrollar su vida útil, de hecho se espera que el combustible nuclear del Virginia no sea necesario re-establecerlo hasta los 30 años, lo que nos dice que prácticamente no será nunca repostado durante su vida útil.

Actualmente hay 10 submarinos de esta clase en servicio y 4 más en construcción o realizando las pruebas mar. Su producción se divide en 5 bloques, cada bloque incorporará mejoras con respecto el anterior bloque. En total se prevé producir un total de 31 unidades de la clase Virginia. Su servicio comenzó en 2004 y se espera que cada unidad llegue hasta los 30 años de vida útil.

12. Cuarta generación de submarinos nucleares rusos



Imagen 49: submarino Proyecto995/Yuri Dolgoruki (OTAN Clase Borey) en aguas de Severodvinsk en 2009. Fuente:http://www.noticias24.com/actualidad/noticia/186134/imagenes-del-dia-lunes-20-de-diciembre/(20-3-2013)

> *"Una flota de submarinos nucleares es el futuro de las Fuerzas Armadas. El número de tanques y armas de fuego se reduce, así como la infantería, pero una armada moderna es una cosa totalmente diferente. Los gobiernos de todos los países desarrollados entienden esto muy bien".*

Estas palabras de Pavel Grachev[16], el ministro ruso de defensa, fueron pronunciadas en junio de 1993, después de que la antigua Unión Soviética se desintegrara. En el contexto de los recortes masivos en los programas militares rusos, tres áreas parecían tener más protagonismo: espacio, aviones tácticos, y submarinos. En las tres áreas que parecía continuar con un alto desarrollo o al menos a un ritmo más alto que las otras áreas.

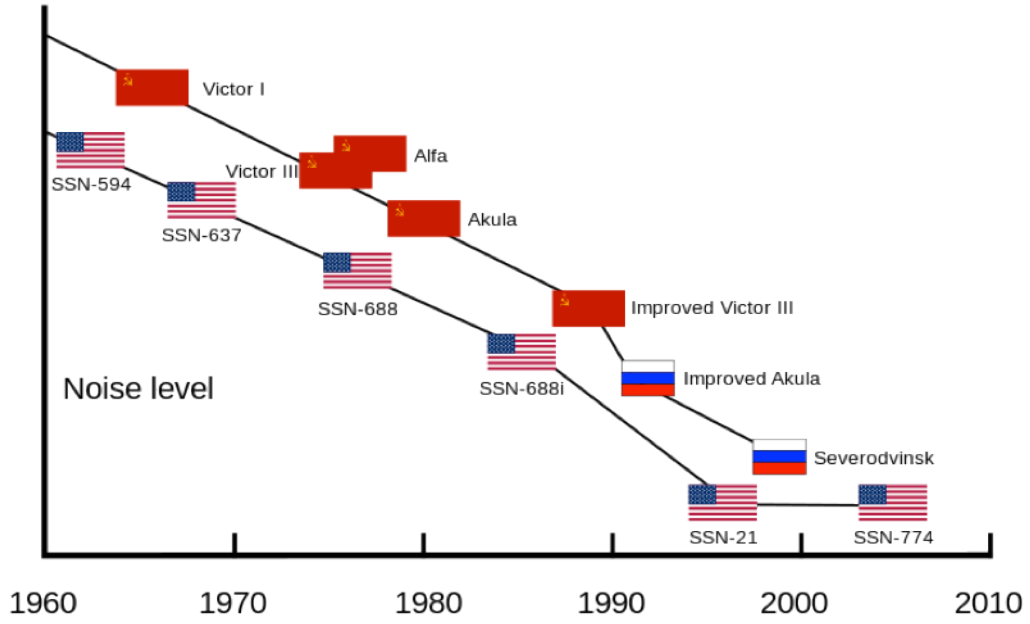
En ese momento la construcción continuaba, aunque a un ritmo lento, de varios submarinos de tercera generación como del Proyecto 949/Oscar II SSGN, Proyecto

[16] Pavel Grachev (1948-2012) fue un militar y político ruso, condecorado varias veces con medallas sovieticas y además de ser nombrado "Héroe de la Unión Soviética", distinción más importante que otorgaba la URSS. Fue también ministro de defensa ruso participando activamente en la primera guerra chechena.

971/Akula I/II SSN, y del Proyecto 877/Kilo que era diesel-eléctrico. Algunos proyectos se habían cancelado en el ecuador de la producción, estos son el proyecto 945/Sierra II SSN en Gorkiy, y dos unidades Akula en Komsomol'sk que no se completarían.

Pese a esto, estaba en marcha el diseño y preparación de la construcción de dos nuevas clases de submarinos, el proyecto 885 Severodvinsk/Graney, este era un SSN y el proyecto 955 Yuri Dolgorukiy, que se trataba de un SSBN.

Tabla 9: comparativa publicada por Estados Unidos valorando los niveles de ruido de los submarinos rusos y estadounidenses
Fuente:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/30/Sub_Noise_Comparison_ENG.svg/800px-Sub_Noise_Comparison_ENG.svg.png(20-3-2013)



Se tomó la decisión de construir todos los submarinos nucleares del futuro en el astillero Severodvinsk, ahora conocido como Sevmash. Sin embargo, el Komsomol'sk en el Lejano Oriente, con los submarinos del proyecto 971/Akula sin terminar, retuvo una capacidad de construcción nuclear al igual que los de San Petersburgo, astilleros Admiralty-Sudomekh.

Sevmash es la mayor instalación mundial de la construcción de submarinos, dando empleo al final de la guerra fría a un total de 40.000 hombres. Los submarinos no nucleares seguirían siendo construidos en los astilleros de San Petersburgo.

12.1. Clase Graney y Borey

El 21 de diciembre de 1993, la quilla del Proyecto 885 Severodvinsk fue puesta en grada en Sevmash. Diseñado en Malaquita por un equipo bajo la dirección de V.N. Pyalov, iba a ser el buque insignia de los submarinos de ataque rusos. El buque cargaría torpedos y misiles que ambos serían lanzados desde ocho tubos lanza torpedos en proa de 533 mm. Los tubos tuvieron que disponerse en un ángulo alrededor de diez grados con respecto la línea central para acomodar el domo del sonar en proa. También sería equipado con ocho tubos de lanzamiento vertical, los misiles utilizados serían los homólogos a los clásicos Tomahawk, los P-800 Oniks de 650-mm (OTAN SS-NX-26 Yakhont) para una misión anti-buque. Los tubos verticales serían dispuestos a proa del puente de manera similar a los clase Los Angeles.

El diseño de Severodvinsk se preveía con un grande y esférico sonar, el primero tan grande instalado en un submarino de combate ruso, una característica que se encuentra ya en los submarinos estadounidenses de la década de 60. Así, tendría revestimientos en el casco para calmar vibraciones además de también capas tanto anecoicas como de atenuación de ruidos, esto ya se observaba en los SSN soviéticos.

El director de inteligencia naval de EE.UU., el almirante Edward D. Sheafer, manifestó que se espera que el Severodvinsk sea más silencioso que las mejores unidades de la clase Los Ángeles que son los que hoy, construimos. Esto significó un desafío a Estado Unidos. De hecho, se esperaba que el Severodvinsk fuese tan o más silencioso que los submarinos Seawolf.

En ese momento la marina de los EE.UU. publicó un gráfico que muestra los niveles de ruido de los submarinos de Estados Unidos y la Unión Soviética/Rusia. El gráfico muestra los niveles de ruido de submarinos de ataque de ambas naciones en declive hasta los submarinos de cuarta generación. Al Seawolf y al Virginia se le atribuye el mismo nivel de ruido. Esto se interpreta de manera negativa, ya que entre los diseños de estos dos submarinos hay una diferencia aproximadamente de 10 años y se puede entender que no han sabido disminuir el ruido o que han llegado al tope, poco probable esta ultima opción.

El Severodvinsk iba a ser seguido por el segundo submarino de su misma clase que fue puesto en grada en 1996 en los astilleros de Sevmash. Un nuevo SSBN, diseñado por el equipo de Kovalev en Rubin, fue puesto en grada en Sevmash el 2 de

noviembre de 1996. El submarino se le dio el nombre de Yuri Dolgoruki[17], este sería el primer submarino de la clase Borey rusa. Este submarino llevaría consigo 12 misiles balísticos y contaría con una eslora de 170 metros y un desplazamiento total de 19.400, esto es bastante más pequeño que el Typhoon un poco más pequeño que los Oscar pero más grande que todos los demás. Este nuevo submarino tiene dos reactores y una sola hélice, una nueva característica de los SSBN rusos.

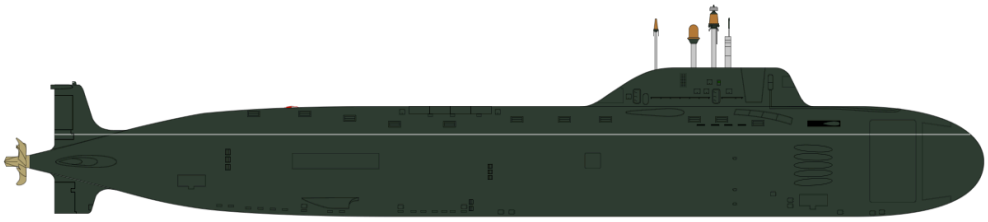


Imagen 50: esquema del submarino clase Graney, obsérvese la nueva disposición de los tubos lanzatorpedos, atrás de la proa donde se encuentra al sonar, esta diseño lo iniciaron décadas atrás los submarinos estadounidenses.
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Clase_Graney(20-3-2013)



Imagen 51: submarino clase Borey, su característica más notable es su hélice tipo "pump-jet" como los submarinos americanos Seawolf y Virginia, esta clase aun mantiene los tubos lanzatorpedos en proa justo arriba del sonar.
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Clase_Borey(20-3-2013)

El Yuri Dolgoruki fue programado para ser terminado en 2002, con una construcción de una unidad Borey por año previó mantener una fuerza submarina de 14 a 18 SSBN en 2010, contando con los submarinos del Proyecto 667BDRM/Delta IV. Esto sin embargo no fue así, de hecho el Yuri Dolgoruki, que inició su construcción en el año 1996, no fue botado hasta el 2008 y entregado a la marina rusa el 30 de diciembre de 2012. Esto se debe a demasiados altibajos en la contabilidad y en la reestructuración en la nueva la marina rusa debido a crisis internas, una de ellas fue el hundimiento del Kursk de la clase Oscar II, este incidente supuso una convulsión total en el seno del ministerio de defensa ruso.

[17] El nombre le que le fue otorgado a este submarino, Yuri Dolgoruki, hace referencia al fundador de la ciudad de Moscú. Los nombres han dejado de ser de temática comunista.

Debido a la gran cantidad de cambios que se produjeron en su dilatado periodo de construcción, el submarino distó diferencias con su diseño inicial. Pasó a tener sólo un reactor, en vez de dos que inicialmente se planteó; de los 12 misiles intercontinentales la cifra se situó en 16, 8 por costado en grupos de 4; se estableció en su diseño un desplazamiento en superficie de 19000 toneladas al final sólo fueron casi 15000 toneladas, pero mantuvo la eslora de 170 metros.

En conclusión, podemos decir que estéticamente, este nuevo submarino se parecía más a un diseño estadounidense que a un diseño soviético. De esta clase hay tres submarinos más que están en construcción o que ya han sido botados y se encuentran en fase de pruebas. La construcción de la segunda unidad se inició en 2004 su botadura fue en diciembre de 2010, el siguiente empezó a ser construido en 2006 y el siguiente en 2009, estos dos últimos aun sin fecha de botadura.

12.2. Resumen

Ni los Estados Unidos ni la Unión Soviética fueron capaces de llevar a cabo su programa de cuarta generación de submarinos nucleares. La Guerra Fría terminó sin previo aviso (y, afortunadamente, sin violencia entre las grandes potencias).

Para Estados Unidos los acontecimientos de 1990-1991 por parte de la Unión Soviética, llevó a la cancelación inmediata del programa *Seawolf* y una desaceleración en la clase sucesora de los *Seawolf*, a clase Virginia. Pero incluso antes de la desintegración del bloque soviético, el programa *Seawolf* estaba ya en crisis, debido a problemas técnicos como las soldaduras del acero HY-100, los catastróficos problemas con el SUBACS, siendo estos contratiempos que de 43 unidades que se plantearon en un principio, solo se construyeron 3 esto no fue solo debido a los problemas de diseño sino también por el término de la guerra fría.

El submarino de ataque Virginia surgió del legado del *Seawolf*. Este programa también fue retrasado y su coste fue incrementando, en parte debido a la pobre velocidad de construcción. En lo que respecta a capacidad de combate, el Virginia estaba en desventaja con respecto al *Seawolf,* siendo los dos igual de silenciosos.

La clase Virginia estaba en producción en un periodo en el que Rusia tenía la producción parada literalmente, hacia finales de los 90 y principios del nuevo siglo.

Con la ruptura del bloque soviético, se perdió la gran producción que tenían los soviéticos, y muchos proyectos fueron abandonados aún así se diseñaron dos clases de submarinos un SSN y un SSBN, aunque su producción fue muy ardua, siendo puestos en

grada e iniciando su construcción pero abandonándola y retomándola dando lugar a que submarinos iniciados a mediado de los noventa fuesen entregados a la marina rusa a finales de la primera década del siglo 21.

Se sabe que los diseños rusos de los noventa, son los más modernos que hoy en día tienen y además habrían superado a los diseños estadounidenses de dicha década, sin embargo debido a desajustes económicos, llevan una década de desventaja.

Tabla 10: comparativa de los submarinos de cuarta generación

	Seawolf SSN 21	Virginia SSN 774	Proyecto 885 Severodvinsk	Proyecto 955 Yuri Dolgoruki
En servicio desde	1997, pero operacional desde 2001	2004	En pruebas actualmente	2012
Desplazamiento en superficie	6.000 t	6.800	7.700-8600 t	14.720 t
Desplazamiento en inmersión	6.900 t	7.300 t	12.800 t	24.000 t
Eslora	107.6 m	111.94 m	120 m	170 m
Manga	12.2 m	10.37 m	15 m	13,5 m
Calado	10.67 m	9.3 m	8.4 m	10 m
Reactor	1 S6W	1 S9G	OK-650 KMP	OK-650b
Turbinas	2	2	1	1
HP	40.000HP aprox.	25.000 aprox.	43.000 HP	90.000 HP
Hélices	1 pump-jet	1 pump-jet	1, hélice convencional de 7 álabes	1 pump-jet
Velocidad superficie	18 nudos		20 nudos	15 nudos
Velocidad inmersión	35 nudos	+25 nudos	Hasta 28 nudos en navegación silenciosa, máx. 35 nudos.	29 nudos
Profundidad máxima operativa	396 m	244 m	600 m	450 m
Tubos lanza torpedos	8 de 670 mm A	4 de 533mm A	8 de 650mm 2 de 533mm	6 de 533mm
Torpedos/Misiles	50	37	+34	16 misiles intercontinentales Bulava + Torpedos
Tubos verticales de lanzamiento	No	12	24 SS-NX-26	16
Tripulación	134	134	90	107-130

13. Conclusión

La decisión de tomar este tema para mi trabajo fin de carrera fue complicada, en parte por su excentricidad, sólo hay que ver que en la colección de trabajos fin de carrera no hay ninguno sobre el tema y este será el primero, también se valoró la idea de hacer un trabajo sobre el puerto de Torrevieja (mi pueblo natal) y el tráfico de sal. No obstante, me decanté por los submarinos nucleares esta decisión vino determinada por la motivación que me causa tratar un periodo de la historia tan tenso como lo fue la guerra fría y con obras de ingeniería tan complejas como son los submarinos nucleares.

El presente va más allá de las cuestiones marítimas, se tratan los temas, además del naval; históricos, militares, sociales, políticos, económicos e incluso éticos. Consideramos que al ser este la última meta antes de obtener un título universitario que sería conveniente ofrecer al tribunal un estudio que además de estar relacionado con el ámbito marítimo-naval, estuviese relacionado con otras áreas ya que esto no puede hacer otra cosa más que mejorar la cultura general y el enriquecimiento personal de quien lea este estudio, además por supuesto de innovar en la colección de trabajos finales de carrera de la Facultat de Nautica de Barcelona.

Las principales fuentes bibliográficas que son la inmensa mayoría utilizadas en el análisis han sido de habla inglesa, ante la falta de material en habla hispana, por ello quiero remarcar, que este trabajo es un gran aporte para nuestra lengua y más aún para nuestro país ya que sobre el tema lo que hay escrito es muy poco... algo residual.

El análisis comienza en los albores de la segunda guerra mundial, cuando las grandes potencias valoraron la idea de la propulsión y armamento nuclear, dos términos que irían (y van) de la mano.

Antes de la segunda guerra mundial, mucha gente ignora que existiese ya la guerra fría, pero lo cierto es que desde la formación de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas existió una rivalidad militar entre Estados Unidos y la URSS, después de la Segunda Guerra Mundial, con Europa y Japón arrasadas por completo, las dos naciones, Estados Unidos y la URSS, quedaron claramente como las dos superpotencias y así se repartieron la Europa de aquél entonces, Alemania quedó dividida en dos y más tarde los países con influencia soviética firmaron el pacto de Varsovia. La otra parte, la occidental aceptó el *Plan Marshall* (Marshall en honor al *canciller* estadounidense de aquél entonces), que se basaba en ayudas económicas para la reconstrucción del *Viejo Continente*, después vendría la formación de la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) alianza militar que tenía como objetivo asegurar una alianza entre países occidentales en caso de que estallase la tercera guerra mundial, además de países del atlántico norte como su nombre indica, también pertenecen a la organización países como Australia o Israel.

Así con este panorama tan tenso en el que cada superpotencia se intentaba hacer con más países subyugados, llegaron las guerras *títere* como son: la guerra de Corea, la guerra de Vietnam, la ocupación de Afganistán, la primera guerra del golfo, además de la guerra de los seis días o la guerra de Yom Kipur, entre otros conflictos. En todos ellos participaron la URSS y Estados Unidos de manera directa o indirecta. Así la

segunda mitad del siglo XX el desarrollo armamentístico fue exponencial y una de las armas protagonistas de la carrera militar fue el submarino nuclear.

Fue tal la producción de armas nucleares durante la Guerra Fría por parte de ambas superpotencias, que cada una de ellas podría haber destruido La Tierra varias veces, gran parte de este armamento se confía y se confió a la responsabilidad de los submarinos nucleares, es decir un submarinos nuclear norteamericano de clase *Los Angeles* puede lanzar un *Tomahawk* armado con una cabeza nuclear desde las Seychelles, en el Océano Índico, hasta territorio iraní, por esto podemos decir que los submarinos nucleares son plataformas móviles silenciosas de armas de destrucción masiva.

Pese a tal producción de submarinos nucleares y armamento nuclear nunca se ha llegado a utilizar en un combate real un submarino de estas características y a excepción de las dos bombas nucleares arrojados por Estados Unidos sobre territorio Japonés, nunca más se ha hecho uso de tal armamento. Personalmente creo que esto no llegó a producirse, cosa que podría haber desencadenado la tercera guerra mundial, porque ambos bandos tenían capacidad de respuesta.

La Guerra Fría fue en realidad una guerra de sociedades, una época de transición en ver cuál de los dos modelos sociales se impondría al otro; el comunista te proclama automáticamente *pseudoesclavo* y el consumismo de hoy en día te proclama con el salario mínimo.

Hoy en día, y a mi modo de ver las cosas, el mundo en general vive en una era total de consumismo perpetuo en el que la gráfica de crecimiento de población mundial tiene una deriva prácticamente exponencial, esto hace que; cada vez más se talen los arboles, por ejemplo, del amazonas para hacer nuevos cultivos, se edifique más, se construyan nuevas fábricas, es decir que se contamine más, que nuevos animales pasen a engrosar la lista de animales extintos, que nuestros océanos estén más castigados por la demanda de pescado. No hablemos por supuesto de una hipotética guerra nuclear eso si que acabaría con los recursos naturales del planeta, además de combatir con la superpoblación del planeta (no hay mal que por bien no venga).

A fin de cuentas todo lo que sube baja, sin ir más lejos hasta nuestro corazón. Si se fijan en la gráfica de bombeo de sangre por pulsaciones verán que es muy parecida a la de población, o al menos que la gráfica de bombeo de sangre por pulsaciones se parece a la grafica de población mundial hasta que el corazón ronda las 200 pulsaciones por minuto, entonces la grafica cae ya que pasa tan poco tiempo entre pulsación y pulsación que el corazón no es capaz de expandirse lo suficiente y como consecuencia bombeaba más sangre antes que ahora con 205 pulsaciones, aquí es cuando llega el colapso.

Navegando este otoño por sitios tan encantadores como por ejemplo la ciudad de Aberdeen sentí la necesidad de comprar algún regalo para mis seres queridos, cuál fue mi sorpresa que cuando me disponía a ello no encontré nada, que no se pudiese encontrar en cualquier centro comercial de España. Las grandes superficies arrasan con todo a su paso, la clase media cae y se traduce en simples empleados de multinacionales cobrando el salario mínimo, cuando antes, me refiero antes de la

globalización, esas personas podrían haber abierto un comercio y tener la oportunidad de expandirse, porque hoy en día con los grandes almacenes no puede competir nadie a menos que sea otro empresa de su misma envergadura. La burguesía se destruye y llegan otra vez los proletarios, hablan de ciclos, no sé lo que será.

El análisis recorre todas las clases de submarinos nucleares de ataque de ambas superpotencias, Estados Unidos y la URSS, estudiando cuáles eran sus principales características, para que tipo de cometidos estaban diseñados y cuáles eran las necesidades que existían para la construcción de cada una de las clases, elaborando una comparativa entre clases homólogas de submarinos de ambas partes.

14. Lista de abreviaturas

- AEC: comisión de energía atómica, fue formada en 1946 y disuelta en 1975, en inglés *United States Atomic Energy Comision.*
- AN/BSY: continuación de a designación SUBACS una vez mejorada; B, *submarine system*; S, *special.*
- AHPNAS: *Avanced High-Performance Nuclear Atack Submarine.*
- ASW: guerra antisubmarina, en inglés *Anti-Submarine Warfare.*
- BuShips: *Bureau of Ship.*
- CMS: *Cruise Missile Submarine.*
- CNO: Secretaría de la Marina y Jegatura de operaciones Navales, en inglés *Chief of Naval Operation.*
- CONFORM: *Concept Formulation.*
- DARPA: Agencia de Defensa de Proyectos de Investigación Avanzada, en inglés *Defense Advanced Research Projects Agency.*
- DoD: Departamento de Defensa.
- EB: *Electric Boat.*
- EMT: *Electromagnetic Thrust.*
- FAS: *Fast Atack Submarine.*
- GAO: Oficina General de Contabilidad, en inglés *Government Accountability Office*.
- GUPPY: *Greater Underwater Propulsion*; Y para completar el nombre de GUPPY.
- MHD: *Magnetohudrodynamic*.
- NavSea: *Naval Sea System Command.*
- NKVD: Comisionado del Pueblo para Asuntos Internos.
- NRL: Laboratorio de Investigación Naval.
- PWR: Pressurized Water Reactor.

- SEAL: Navy SEAL's, son la principal fuerza de operaciones especiales de la armada de los Estados Unidos.
- STAM: siglas utilizadas para designar a los misiless submarios tácticos.
- STR: Submarine Thermal Reactor.
- SOSUS: sistema de vigilancia sónica, en inglés *Sound Surveillance System.*
- SUBROC: misil submarino, en inglés *Submarine Rocket*.
- SUBSAFE: *Submarine Safety*, fue un plan elaborado por la marina norteamericana para subsanar las causas del hundimiento del SSN Thresher en 1963.
- TED: *Turbo-Electric Drive*.
- VLS: sistema vertical de lanzamiento (de misiles), en inglés *Vertical Launching System*.

15. Índice de imágenes

El submarino

Imagen 1: planta de propulsión nuclear PWR 12

Imagen 2: esquema gráfico 17

Primera generación de submarinos nucleares

Imagen 3: el primer submarino nuclear del mundo 23

Imagen 4: prueba de bomba nuclear en 1946 27

Imagen 5: el submarino Nautilus 36

Imagen 6: esquema del reactor de la planta del submarino Nautilus 37

Imagen 7: Esquema del Nautilus 38

Imagen 8: submarino Seawolf 39

Imagen 9: el submarino Skate 42

Imagen 10: el submarino Skate 44

Imagen 11: submarino "gigante" Triton 47

Imagen 12: esquema del submarino Triton 48

Imagen 13: Proyecto 627/ November 53

Imagen 14: diseño del proyecto 627/November 57

Imagen 15: sello soviético 62

Imagen 16: proyecto 627/November 69

Imagen 17: proyecto 627A/November 69

Imagen 18: proyecto 645 69

Segunda generación de submarinos nucleares

Imagen 19: submarino Thresher 76

Imagen 20: la clase Thresher 80

Imagen 21: oficiales del submarino Thresher 82

Imagen 22: submarino Tulibee 86

Imagen 23: submarino Alfa 88

Imagen 24: submarino Victor 92

Imagen 25: submarinos Victor 95

Imagen 26: momento del accidente del K-324 con la fragata McLoy en 1983 96

Imagen 27: submarino Charlie I navegando en la década de 1970 98

Imagen 28: avión espía americano fotografiando a un submarino Victor III en la década de 1980 101

Tercera generación de submarinos nucleares

Imagen 29: el submarino Hyman G. Rickover (SSN 709) 104

Imagen 30: primer submarino de la clase Los Angeles (SSN688) 110

Imagen 31: en la foto observamos el Annapolis (SSN 760) en el Ártico 111

Imagen 32: puente del Annapolis (SSN760) 113

Imagen 33: sección de proa de un submarino clase Los Angeles 118

Imagen 34: proa del submarino Oklahoma City (SSN 723) 119

Imagen 35: el NR-1 en la actualidad 120

Imagen 36: en la imagen vemos el submarino soviético Akula 121

Imagen 37: Proyecto 949ª/Oscar II. Eslora: 155 metros 124

Imagen 38: en esta foto observamos el gran desplazamiento del buque 125

Imagen 39: submarino Kursk 126

Imagen 40: un submarino del Proyecto 945A/Sierra II 128

Imagen 41: Proyecto 971/Improved Akula 131

Imagen 42: observamos en la fotografía al INS Chakra 132

Imagen 43: submarino Akula II 134

Imagen 44: el Proyecto 1910 Kashalot/Uniform 136

Cuarta generación de submarinos nucleares

Imagen 45: el USS Seawolf 139

Imagen 46: el Seawolf en construcción 147

Imagen 47: hélice tipo "pump-jet" del submarino Seawolf 148

Imagen 48: primera unidad de la clase Viriginia 149

Imagen 49: submarino Proyecto995/Yuri Dolgoruki 152

Imagen 50: esquema del submarino clase Graney 155

Imagen 51: submarino clase Borey 155

16. Índice de tablas

Tabla 1: ciclo completo del combustible nuclear, desde su obtención hasta el almacenaje de los residuos radiactivos 22

Tabla 2: datos teóricos de plantas nucleares para submarinos 33

Tabla 3: comparación entre los primeros submarinos nucleares americanos y el primero soviético 52

Tabla 4: comparación entre los dos submarinos con refrigerante de metal liquido 75

Tabla 5: segunda generación de submarinos americanos comparativa 102

Tabla 6: segunda generación de submarinos soviéticos comparativa 103

Tabla 7: submarinos de tercera generación soviéticos 122

Tabla 8: comparativa de los principales submarinos de tercera generación y del proyecto AHPNAS 138

Tabla 9: comparativa publicada por Estados Unidos valorando los niveles de ruido de los submarinos rusos y estadounidenses 153

Tabla 10: comparativa de los submarinos de cuarta generación 158

17. Bibliografía

- Zimmerman, Stan. *Submarine Tecnology for the 21st Century.* 2ª ed. Victoria, Columbia Británica, Canadá:TRAFFORD, 2000. ISBN 155212330-8.

- Swift, John. *Atlas Histórico de la Guerra Fría.* Traducción: Raquel Vázquez Ramil. 1ª ed. Tres Cantos, Madrid: Ediciones Akal, 2008. ISBN 978-84-460-2333-3.

- Kopenhagen, Wilfried. *Soviet and Russian Nuclear Submarines.* Traducción del alemán al inglés por: Ed Force. 1ª ed. Surry, Reino Unido: Bushwood Books, 2001. ISBN 0-7643-1316-9.

- Christley, Jim. *US Nuclear Submarines: The Fast Attack.* 1ª ed. Oxford, Reino Unido: Osprey Publishing, 2007. ISBN 978 1 84603168 7.

- Polmar, Norman; Moore, K.J. *Cold War Submarines: The Disign and Construction of U.S. and Soviet Submarines.* 1ª ed. Dulles, Virginia: Potomac Books Inc, 2004. ISBN 978-1-57488-530-9.

- Sánchez Ferández, Raquel. *Reactores Nucleares.* Proyectos final de carrera, UPV (Universidad del País Vasco), Licenciatura en Máquinas Navales. 2010.

- Canal Historia. *Submarino Nuclear.* Modern Marvels: Canal Historia, 2012. [Consulta: 17 de Febrero de 2013]. Disponible en: http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=otuJFvWJExs&feature=fvwp

- United States Navy. *The Submariners: 1967 United State Navy Educational Documentary.* Wdtvlive 42, 2012. [Consulta: 10 de Marzo de 2013]. Disponible en: http://www.youtube.com/watch?v=zzE8h0V5SxY

- US Navy. Submarine Structure & Systems: "The Submarine Construction". US Navy, 2011. [Consulta: 7 de Marzo de 2013]. Disponible en : http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&v=e7ixYuCObUk&NR=1

Página web de consulta general:

- www.wikipedia.com