



EL FACTOR HUMANO EN LA DETECCIÓN DE SONARES

Rodrigo Arancibia Pascal *

Abstracto.

La automatización de los distintos equipos y sistemas, ha llevado a drásticas reducciones del personal a bordo de los submarinos. Por otra parte, el mejoramiento de los algoritmos de proceso de los equipos de sonar, permite la detección y clasificación de señales con razones Señal/Ruido extremadamente bajas, sin embargo, todavía es necesaria la presencia de un operador alerta capaz de evaluar en forma correcta la información recibida y más aún, efectuar los ajustes necesarios en la MMI para poder obtener conclusiones válidas. Es así que se dice que los sonares no son sólo los "oídos" del submarino como se refería antaño, sino también los ojos, por cuanto no sólo es posible inferir que "alguien" viene, sino también "quién".

Por lo anterior, es posible aseverar que el problema eléctrico de detectar señales de muy baja intensidad se encuentra estudiado y aplicado en los sonares modernos, pero la dependencia del operador en la toma de decisiones es fundamental, más aún en los escenarios actuales y futuros de progresiva complejidad.

La necesidad de un operador alerta es fácilmente solucionable en otras áreas como en el caso de los controladores

aéreos, pero la solución, el relevo continuo de los operadores, no es aplicable a bordo. Factores como la falta de sueño, la fatiga y el stress afectan drásticamente al desempeño de los operadores, lo cual sumado a la disminución de personal, puede producir situaciones tan ilógicas tal como que el equipo de sonar efectivamente detecte la amenaza de interés, pero no sea evaluada correctamente, llevando la misión al fracaso.

Para solucionar lo anterior, el autor considera que es necesario, para el caso de los sistemas instalados actualmente a bordo, no sólo continuar con las evaluaciones "profesionales" que se practican anualmente, sino evaluar en forma objetiva la llamada "Conciencia de la Situación"¹ de los operadores.

Además, en la selección de futuros sistemas de sonar, un mayor énfasis se debe dar a factores ergonómicos y a nuevos aspectos de diseño junto a los factores tradicionales, debido a que el rendimiento esperado recaerá cada día más en el operador que logre obtener el máximo rendimiento del equipo.

Introducción.

El operador de sonar es un componente vital en el submarino, su correcto desempeño permite establecer el pano-

* Teniente 1°. Trabajo presentado en el Simposium "Human in Submarines", realizado entre los días 18 y 20 de agosto de 2004, en la ciudad de Estocolmo, Suecia, con motivo del Centésimo aniversario de la creación de la Fuerza de Submarinos de la Real Armada Sueca.

1. Situation Awareness, en inglés.

rama que rodea al submarino para detectar y clasificar un contacto específico de interés. Sin embargo, los operadores experimentan otros factores que afectan negativamente su desempeño. Estos factores incluyen: La monotonía de los cuartos de guardia, sueño interrumpido, condiciones medio ambientales, entre otros. Si a esto se suma que en los submarinos modernos se han efectuado drásticas reducciones de personal, pueden ocurrir situaciones tan ilógicas como que el equipo de sonar efectivamente "detecte" el contacto de interés, pero no sea evaluado correctamente, debido a que el operador no estaba con el nivel de alerta adecuado, o bien se encontraba sobrepasado por una multitud de tareas simultáneas que demandan los actuales equipos.

Es por esto que se estima que es importante el realizar una evaluación más profunda a los "factores humanos" que rodean al operador de sonar, para ser aplicados, en la medida de lo posible, en la evaluación que se realiza de ellos junto con las evaluaciones tradicionales.

Finalmente, se plantea la necesidad de mejorar ciertas capacidades de evaluación automática de los sonares, así como mejorar la capacidad de las MMI para alertar al operador en sucesos de importancia.

Se hace presente, que no se incluye ningún estudio de cómo afecta el Mando o Liderazgo en el rendimiento de



Control de sonar SS. Simpson.

los operadores, por cuanto su ámbito de aplicación es netamente subjetivo.

Los Sonares actuales.

En la Armada de Chile, se ha producido una rápida evolución tecnológica en el área de sonares en los últimos 20 años, pasando desde sonares de ronza mecánica, hasta sonares con varios arreglos y variadas herramientas disponibles para mejorar su rendimiento, sin embargo, al mismo tiempo, ha habido una disminución de operadores disponibles para su explotación, lo anterior, se puede reflejar en la siguiente tabla, donde sólo se consideran las tareas de detección y no otras capacidades como TMA (Target Motion Analysis) o clasificación:

Clase:	Años			
	1976-1994		1994-2003	
	Nº de operadores disponibles	Nº de tareas de detección disponibles	Nº de operadores disponibles	Nº de tareas de detección disponibles
Oberon	5	3	5	8
Clase:	Años			
	1984-2004		2004	
	Nº de operadores disponibles	Nº de tareas de detección disponibles	Nº de operadores disponibles	Nº de tareas de detección disponibles
209	3	2	3	18
Scorpène	-	-	2	52

Tabla 1. Evolución del Número de operadores por Guardia (Régimen a dos guardias) v/s Número de pantallas de detección disponibles.

El problema de los sonares actuales, es que requiere de un operador experto que sepa obtener el máximo rendimiento a su equipo, de manera de disminuir al mínimo el umbral de detección y poder de esta forma detectar a la máxima distancia posible, de lo contrario no es evaluado, y por lo tanto, el blanco no "existe".

Factores que afectan al rendimiento del operador.

Varios autores han establecido que el mantener un nivel de alerta constante

en sistemas de monitoreo que requieren un alto grado de atención es muy difícil, sino imposible². Pese a que algunos autores establecen que el factor que más afecta al rendimiento de los operadores es el aburrimiento debido a la baja probabilidad de detección de señales provenientes de blancos significativos,³ es necesario una revisión de todos los factores que afectan al operador, debido a que un bajo rendimiento de los operadores no sólo afecta a la no detección de blancos de interés "militar", sino también de otros que pueden afectar a la seguridad del submarino, más aún debido al bajo número de operadores disponibles.

El Dr. Dumas⁴ expone los principales factores que afectan a las fuerzas militares nucleares. Aunque algunas situaciones expuestas son extremas, en su esencia permiten sintetizar claramente la mayoría de los factores que afectan a los operadores de sonar de los submarinos, los cuales son:

- Aburrimiento. Que afecta principalmente a que el operador aburrido se desconcentra, bajando su nivel de vigilancia drásticamente.
- Rutina. Afecta a que el operador inconscientemente realiza acciones que hubieran sido perfectamente apropiadas en otro contexto.
- Predisposición. Ocurre principalmente por la ansiedad de ver algo que en la realidad no está, un caso típico son los ejercicios SS v/s SS o en el "área objetivo", donde se espera que "aparezca" el o los contactos de interés.
- Familiaridad. Se refiere al excesivo nivel de confianza en las capacidades propias, en situaciones de riesgo para la unidad, un ejemplo son los proce-

dimientos para subir a profundidad de periscopio.

- Aislamiento. El encontrarse lejos de casa es un factor que puede afectar de manera importante al desempeño del operador; una enfermedad grave, el nacimiento de un hijo, entre otros, afecta a la capacidad de concentración del operador. Esta es una característica común a toda la dotación del submarino, que no sólo afecta al operador de sonar.
- Stress. Lamentablemente, la verdadera dimensión de este factor sólo es posible visualizarla en tiempos de crisis o guerra, pero estudios⁵ indican que niveles muy altos de stress afectan al sistema inmunológico, depresión, entre otros.
- Ciclo de Circadia (Ciclo de Sueño). Es un factor inevitable que se producen alteraciones en los ciclos de sueño de los operadores

Todos estos factores antes mencionados, producen un fenómeno muy bien definido por Marc Green⁶ como "ceguera no intencional" que es la baja en el grado de alerta a un nivel tal que el sujeto cae en lapsos en que "mira, pero no ve".

A estos factores es importante agregar la ergonometría del área de trabajo, elemento que influye, aunque de menor manera, en el estado mental de concentración.

Los factores antes mencionados, revisten especial relevancia en los distintos escenarios a los que se ve y se verá enfrentado un submarino convencional moderno, como es la permanencia por varios días en un área de patrulla en aguas enemigas, sumado a la incorporación de nuevas tecnologías de propulsión (AIP).

2. Bainbridge L. Ironies of Automation. Department of Psychology, University College London, 3,1983.

3. Mackie RR, Wylie CD. Countering loss of vigilance in sonar watchstanding using signal injection and performance feedback. *ERGONOMICS*, 1994, vol. 37, no.7, 1157-1184

4. Dumas LJ. Why Mistakes Happen Even When the Stakes Are High: The Many Dimensions of Human Fallibility. *Medicine & Global Survival*, April 2001; Vol. 7, No.1

5. Bernik V. Stress: The Silent Killer. *Brain & Mind*, August/November 1997.

6. Green M. "Inattentional Blindness" & Conspicuity.

Factores a considerar para mejorar el rendimiento del operador.

En síntesis se puede afirmar que el operador ideal es aquel que:

- No se aburre.
- No realiza acciones en forma inconsciente.
- Verifica en forma concienzuda un contacto.
- No confía de manera excesiva en sus propias capacidades.
- No le afecta la falta de sueño ni el estrés.



Obviamente, el contar con un operador que cumpla con lo anterior es muy difícil, sin embargo es posible evaluar cada uno de los factores de manera de poder efectuar una mejor selección de los operadores.

Breton y Rousseau⁷ entregan una muy completa revisión de los métodos existentes para definir y medir la "Conciencia de la Situación" o "Situation Awareness" (SA), donde establecen premisas que permiten seguir un orden lógico que permite establecer, el porqué medirlo, qué tipo de SA medir y el cómo medirlo.

¿Qué tipo de SA medir?

El problema principal es ser capaz de diferenciar qué es lo que se busca medir; ¿es el rendimiento del operador ante situaciones específicas o el grado de alerta general del operador? Normalmente la evaluación del rendimiento del operador es lo que se podría llamar una evaluación profesional, lo que de una u otra manera, realizan todas las Marinas del mundo. El foco de atención se debe centrar, entonces

en el grado de alerta general del operador, para lo cual es posible definir la Conciencia de la Situación de un operador de sonar como:

La capacidad de extraer en forma continua información del sistema de sonar y del medio modelado, de manera tal de lograr

incrementar su capacidad de detección al nivel más cercano posible al del equipo de sonar y mantenerlo en el tiempo, de manera de poder tomar las mejores decisiones de ajuste del equipo a tiempo y predecir su rendimiento futuro.

Quizás llame la atención en la definición la existencia del requerimiento que se mantenga en el tiempo, porque aunque constituye el punto más difícil de lograr, es la premisa más importante de conseguir desde el punto de vista del operador humano en los submarinos de nueva generación.

¿Cómo medir el SA a operadores de sonar?

Si bien existen numerosas técnicas, es importante establecer que el punto más importante de evaluar es la capacidad que el operador mantenga un óptimo nivel de alerta en el tiempo, para esto, se deberían efectuar:

- Mediciones fisiológicas. Al respecto existen numerosos estudios, abocados principalmente al ambiente aeronáutico,⁸ orientados a la medición de la actividad cardíaca, dérmica y cerebral, de manera de establecer la condición del sujeto bajo estudio. Un interesante estudio es el efectuado por Jung, Makeig, Stensmo y Sejnowski,⁹ donde basado en registros

7. Breton R, Rousseau R. Situation Awareness: A Review of the Concept and its Measurement. DREV TR-2001-220 Defence Research Establishment Canada-Valcartier.
 8. Wilson GF. An Analysis of Mental Workload in Pilots During Flight Using Multiple Psychophysiological Measures. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF AVIATION PSYCHOLOGY, 12(1), 3-18, May 2001
 9. Jung T-P, Makeig S, Sejnowski TJ. Estimating Alertness from the EEG Power Spectrum. IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 44, NO 1, JANUARY 1997

electroencefalográficos (EEG), aplican técnicas de redes neuronales para la individualización del estudio de cada operador.

- Mediciones de rendimiento. Es la más difícil de establecer, porque es posible que no tenga relación con SA y pese a eso logre buenos resultados. Un claro ejemplo es la medición del rendimiento de un operador para subir a profundidad de periscopio; es posible que el operador realice la selección de filtros adecuada, pero no preste ninguna atención a la rebusca, por lo que para efectuar estas mediciones se debe buscar en entornos donde exista una realimentación y se pueda establecer que existió una comprensión del medio. Inmediatamente surge la idea de los simuladores, pero, aunque esté perfectamente diseñado, nunca reemplaza al entorno real, dado a que no se encuentra expuesto a los mismos factores que afectan al rendimiento del operador; es por esto que esta medición debiera ser complementaria con las otras expuestas.
- Mediciones de comportamiento. Se basa en las decisiones que efectúa el operador ante una situación dada. Es la que normalmente efectúan los inspectores de entrenamiento.
- Mediciones directas. Son también utilizadas por inspectores de entrenamiento, que involucran que el operador exprese lo que está haciendo y porqué, el problema con este tipo de mediciones es que al existir la presencia de un inspector, hace que la medición del grado de alerta no sea real, y sirva más para medir la aplicación de cono-



cimientos teóricos. Sin embargo, dentro de estas técnicas se encuentra una de las conocidas, como es SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique), que involucra necesariamente escenarios controlados para poder efectuar

un “congelamiento” de la acción.¹⁰

Como se puede deducir, las mediciones de SA requieren necesariamente la participación de varias disciplinas en conjunto para lograr una medición óptima.

Factores Ergonómicos.

Existen diversas publicaciones que detallan distintos factores ergonómicos que son factibles de corregir, como por ejemplo; que la silla del operador sea levemente incómoda, evitar comidas muy pesadas, el consumo de café en guardias nocturnas, entre otros. Para validar lo anterior, se efectuó una encuesta a los propios operadores del submarino *Thomson*, donde los resultados indican que el factor ergonómico que más afecta es la alta temperatura presente en las cercanías de las consolas.

Factores de Diseño de la Interfaz Hombre-Máquina (MMI).

La cantidad de información disponible en los sonares actuales ha aumentado en forma exponencial, tal como se desprende de la tabla 1; sin embargo, se debe considerar que la pantalla de un sonar representa el modelo del entorno en el cual el submarino se desenvuelve, por lo que su correcto diseño afectará directamente el nivel de percepción del entorno por parte del operador, por lo tanto afectará al SA.

10. Endsley MR. DIRECT MEASUREMENT OF SITUATION AWARENESS: VALIDITY AND USE OF SAGAT.

Las MMI actuales utilizan las últimas tecnologías para una mejor visualización de imágenes, sin embargo, ¿Es un fiel modelo del entorno?; un claro ejemplo son los perfiles de velocidad de sonido en el agua, que no considera la variabilidad de la velocidad en el eje horizontal. Otro aspecto importante de considerar es tomar en consideración la respuesta no lineal del ojo humano a los niveles de brillantez y contraste.¹¹ De hecho, Stuart¹² afirma que cuando se desarrollan algoritmos para el tratamiento de imágenes es fácil para el desarrollador el no tomar en cuenta lo expuesto anteriormente y desarrollar algoritmos basados sólo en lo que hace que la imagen “se vea bien”.

Para la selección de un sistema de sonar, se debe estudiar no sólo si la MMI permite una buena explotación, sino también que la información relevante sea correctamente apreciada por el operador; es decir, no sólo es importante que el sonar tenga una alarma para avisar un mal funcionamiento, por ejemplo, sino que también pueda ser correctamente evaluada por el operador.

Aplicación de tecnologías en futuros sistemas de Sonar.

Anteriormente, ya se expuso la necesidad de una evaluación más completa de los operadores, también, aunque en forma muy superficial, se analizaron algunos factores ergonómicos de instalación y desarrollo de MMI.; ahora, es interesante efectuar una rápida revisión de tecnologías que, a juicio del autor, permitiría mejorar el rendimiento del equipo sonar-operador.

- Perfeccionar los algoritmos de detección automática de blancos. Los sonares modernos contienen algoritmos de

detección basados en coherencia de demarcación e intensidad, lo que hace que en la práctica el sonar contenga una excesiva cantidad de contactos; el autor estima que es posible perfeccionar los algoritmos incorporando nuevos criterios que finalmente permitan detectar sólo contactos que correspondan a maquinaria creada por el hombre.

- Mejor procesamiento en “background”. Actualmente los sonares realizan procesamiento DEMON y LOFAR en “background”, pero no incluyen sistemas de detección automática, salvo la asignación de umbrales de alarma en base a la intensidad de una frecuencia recibida; sin embargo, estos umbrales son ajustados en forma manual por el operador. Se estima que la detección debiera ser automática. Técnicas de redes neuronales que permitan un mejor reconocimiento de patrones orientados exclusivamente a la detección, permitirán obtener mejores resultados.
- Incorporación de un sistema de realimentación de señales. Actualmente no es posible tener una evaluación objetiva del rendimiento del operador en la mar, por cuanto no se puede estimar qué es evaluado por el operador y qué no. El autor estima que un sistema que indique el operador que ha pasado un determinado tiempo sin evaluar un contacto detectado, permitirá no sólo mejorar su nivel de atención, sino también evaluarlo, este sistema ha sido experimentado por investigadores, con buenos resultados.¹³ Pese a lo anterior, se debe hacer hincapié en el tipo de alarma, donde se estima que una de tipo vibracional, obligará al operador a evaluar la información del sonar.
- Correlación automática del ruido propio. Válido principalmente para

11. Watson AB, Barlow HB, Robson JG. ¿What does the eye see best?. Department of Psychology, Stanford University, Stanford, Macmillan Journals Ltd., 1983.
 12. Stuart WP. Applications of Image Processing to Mine Warfare Sonar. Maritime Operations Division. Aeronautical and Maritime Research Laboratory.
 13. Mackie RR, Wylie CD. Countering loss of vigilance in sonar watchstanding using signal injection and performance feedback. ERGONOMICS, 1994, vol. 37, no.7, 1157-1184

sonares de arreglo de costado, consiste en "restar" señales de audio provenientes de los sensores de ruido propio, mediante filtros de proceso en el tiempo. Este sistema permitiría procesar sólo las señales de audio que realmente provienen del exterior del submarino.

- Sistema de rebusca automática de blancos específicos. Un sistema de clasificación rápida orientada a la rebusca de blancos específicos, utilizando redes neuronales que logren absorber las diferencias en frecuencia y de información debido a las distintas condiciones del blanco de interés, permitirían un mejor rendimiento.
- Desarrollo de audio 3D. Ya existen varios estudios realizados que han investigado la utilidad del audio posicional para mejorar la detección y clasificación de blancos,¹⁴ debido a que facilita la correlación entre lo que se ve en la pantalla y lo que se escucha.

Conclusiones.

- La reducción de operadores de sonar y el incremento de las funcionalidades

de los equipos involucran una evaluación de detalle de la "Conciencia de la Situación" de los operadores, de manera de lograr un equilibrio entre las capacidades de los equipos v/s el operador.

- Se debe investigar la óptima manera de evaluar la "Conciencia de la Situación" orientado al operador de sonar, de manera de lograr una evaluación objetiva que sea aplicable como criterio de selección de los operadores.
- Los factores ergonómicos del área de trabajo deben ser evaluados y corregidos en la medida de lo posible, por cuanto no requieren grandes inversiones y pueden reportar mejoras en el rendimiento del operador.
- Los diseños de MMI de sonares debe ser realizado tomando en cuenta el lograr el máximo nivel de percepción por parte del operador
- En la selección de nuevos sistemas de sonar se debe evaluar el grado de carga de trabajo que se aplicará al operador, así como también de la incorporación de nuevas tecnologías que permitan facilitar la tarea a éste.

* * *



14. Bolia RS, D'Angelo WR, McKinley RL. Aurally Aided Visual Search in Three-Dimensional Space. HUMAN FACTORS, Vol. 41 No. 4, December 1999, pp. 664-669.