

# AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VISUAL DE LA ARMADA POR MORSE MEDIANTE DESTELLOS DE LUZ

Rafael Francisco CARREÑO FELICES



Rafael ASOREY CACHEDA  
Profesor del Centro Universitario de la Defensa  
Escuela Naval Militar  
Doctor ingeniero de Telecomunicación



ACE ya más de 150 años que el famoso inventor estadounidense Samuel Morse desarrolló ese alfabeto al que dio nombre, y que nuestra Armada lleva utilizando desde hace más de un siglo para establecer comunicaciones visuales por Scott (luces de destellos) entre buques. Casi en paralelo, surgió la telegrafía eléctrica sin hilos (la radio), que no tardaría en implantarse en los barcos y que a día de hoy ha desplazado casi por completo a las comunicaciones visuales.

En este artículo, que está basado en el trabajo de Fin de Grado que realicé siendo alférez de fragata durante el curso 2014-2015 en la Escuela Naval Militar (ENM), dirigido y tutelado por el profesor Rafael Asorey Cacheda, del Centro Universitario de la Defensa en la ENM, pretendo hablarles de lo que considero el futuro de estas comunicaciones visuales en la Armada. Se trata de un proyecto en el que conseguimos automatizar la transmisión y recepción de comunicaciones por Scott entre dos lanchas de instrucción de la ENM.

Me gustaría comenzar desechando un pequeño mito en lo referente a las comunicaciones visuales. Cuando hablamos de esto (comunicación por banderas, Scott, semáforo...), no nos referimos a comunicaciones desfasadas o poco



Captura de uno de los vídeos filmados durante las primeras aproximaciones de la prueba entre lanchas (el guardia marina 2.º Pedro Dodero Vázquez sostiene el foco halógeno de uno de los prototipos durante una transmisión).

útiles, sino que simplemente se trata de un tipo de comunicaciones que aprovechan la luz visible para transmitir y recibir; y nuestra Armada, una de las marinas de guerra más antiguas del mundo, ha mantenido su uso desde su creación. Retomarlas ahora no implica retroceder al pasado si somos capaces de adaptarlas a la tecnología de la que hoy día disponemos.

Es cierto que las comunicaciones visuales están muy limitadas por la visibilidad, el alcance del emisor o la sensibilidad del receptor, pero si han logrado perdurar hasta ahora es porque no son pocas las ventajas que nos ofrecen respecto a las comunicaciones por radio. La franja de la luz visible del espectro electromagnético abarca frecuencias muchísimo mayores que las que comprenden las ondas radio, y por lo tanto permiten comunicaciones mucho más directivas y con ello más discretas, seguras e invulnerables a la deprecación. Además, disponen de un ancho de banda inmensamente mayor que las comunicaciones por radio, lo que se traduce en que podrían permitir un flujo de datos entre unidades mucho más amplio.

Conociendo todas estas ventajas que nos ofrecen, y al descubrir que aún no disponemos de sistemas que las automaticen, decidí proponer como Trabajo



Imagen de uno de los prototipos recibiendo durante una prueba con los láseres (en la foto, el receptor estaba enfocado hacia el escritorio opuesto de la habitación, donde se encontraba el otro prototipo emitiendo).

de Fin de Grado (TFG) (1) el desarrollo de dos prototipos que permitiesen transmisiones y recepciones automatizadas por Scott entre dos lanchas de instrucción de la ENM.

Para lograrlo desarrollamos un código en lenguaje C++ ayudados del *software* que nos proporciona la plataforma de Arduino (2) y, en paralelo, fabricamos dos prototipos con los que poder transmitir (usando un emisor láser o un foco halógeno) o recibir de manera automatizada. Una vez desarrollado el código y los prototipos, para interactuar con ellos utilizamos un ejecutable gratuito llamado Putty, que nos permite visualizar el nivel del código en el que nos encontramos, así como el texto introducido para transmitir o el que se recibe.

Respecto al código desarrollado, lo podemos dividir en cuatro modos de trabajo:

---

(1) Los antiguos TAD (Trabajos Académicos Dirigidos) que realizaban los alumnos de la Escuela Naval Militar en el quinto curso han desaparecido. Con el Plan Bolonia, ahora los alumnos de la ENM (también de quinto curso) realizan un Trabajo de Fin de Grado (TFG), similar a los que realizan los alumnos universitarios de cualquier otra titulación de grado.

(2) Arduino es una plataforma que ha surgido en los últimos diez años, y que ofrece un *software* gratuito con el que programar en lenguaje C++, así como un hardware de fácil uso. Con esta plataforma se pueden realizar gran variedad de proyectos por un coste muy reducido. Para más información sobre Arduino, mirar la referencia número 3 al final del artículo.

- Modo graduar: realiza una graduación inicial del umbral de detección del fotorresistor (receptor) respecto la intensidad lumínica del entorno. Esta graduación inicial se ejecuta automáticamente al comenzar a trabajar con el prototipo y se puede repetir tantas veces como se desee. Además, permite encender el emisor láser o foco halógeno del prototipo hasta que se ordene salir de este modo de trabajo (útil por ejemplo para enfocar los láseres entre los dos prototipos).
- Modo recibir: en este modo se debe seleccionar la velocidad a la que se realizará la transmisión (existen cuatro velocidades de transmisión distintas), así como el tipo de emisor del que recibiremos los destellos de luz (el láser o el foco halógeno). Seleccionados estos dos parámetros, el prototipo queda a la espera del primer destello de luz de la transmisión o hasta que le ordenemos salir de este modo de trabajo. Conforme se van recibiendo los destellos de luz, el código imprime de manera automática por pantalla los caracteres a los que corresponden (si no corresponden a ningún carácter conocido, el código lo indica permitiendo visualizar lo que se ha recibido según sea: un destello demasiado largo o corto, un período sin luz demasiado largo o corto, o una secuencia de destellos largos y cortos desconocida).
- Modo escribir: se trata de un pequeño y rudimentario procesador de texto, con el que podemos escribir directamente (sin necesidad de traducir a morse) el texto que deseamos transmitir y, además, también nos permite corregir el texto mientras lo escribimos. Al pulsar la tecla ENTER, el texto escrito se guarda y se abandona este modo de trabajo, permitiendo transmitirlo si se selecciona el modo transmitir.
- Modo transmitir: nos permite transmitir el texto guardado previamente. Para ello permite elegir entre cuatro velocidades de transmisión distintas (humana, normal, automática y ultrarrápida) y entre transmitir con el láser o el foco halógeno. Al seleccionar estos dos parámetros se inicia la transmisión por Scott a la velocidad y con el emisor seleccionado. De manera general, la velocidad de transmisión ultrarrápida (la más alta que conseguimos) es unas cuarenta veces superior a la que pueden mantener dos operadores experimentados de nuestra Armada en una transmisión por Scott.

En lo referente a la fabricación de los prototipos, dado el tiempo y los recursos limitados de los que se dispuso durante el desarrollo del proyecto, los prototipos se fabricaron en base a varios requisitos principales; debían ser sencillos, económicos, robustos e impermeables. Todos estos requisitos estaban enfocados a desarrollar dos prototipos capaces de superar con éxito la prueba a bordo de lanchas de instrucción navegando (antes de la fecha de entrega del trabajo). Como resultado, conseguimos fabricar dos aparatos capa-

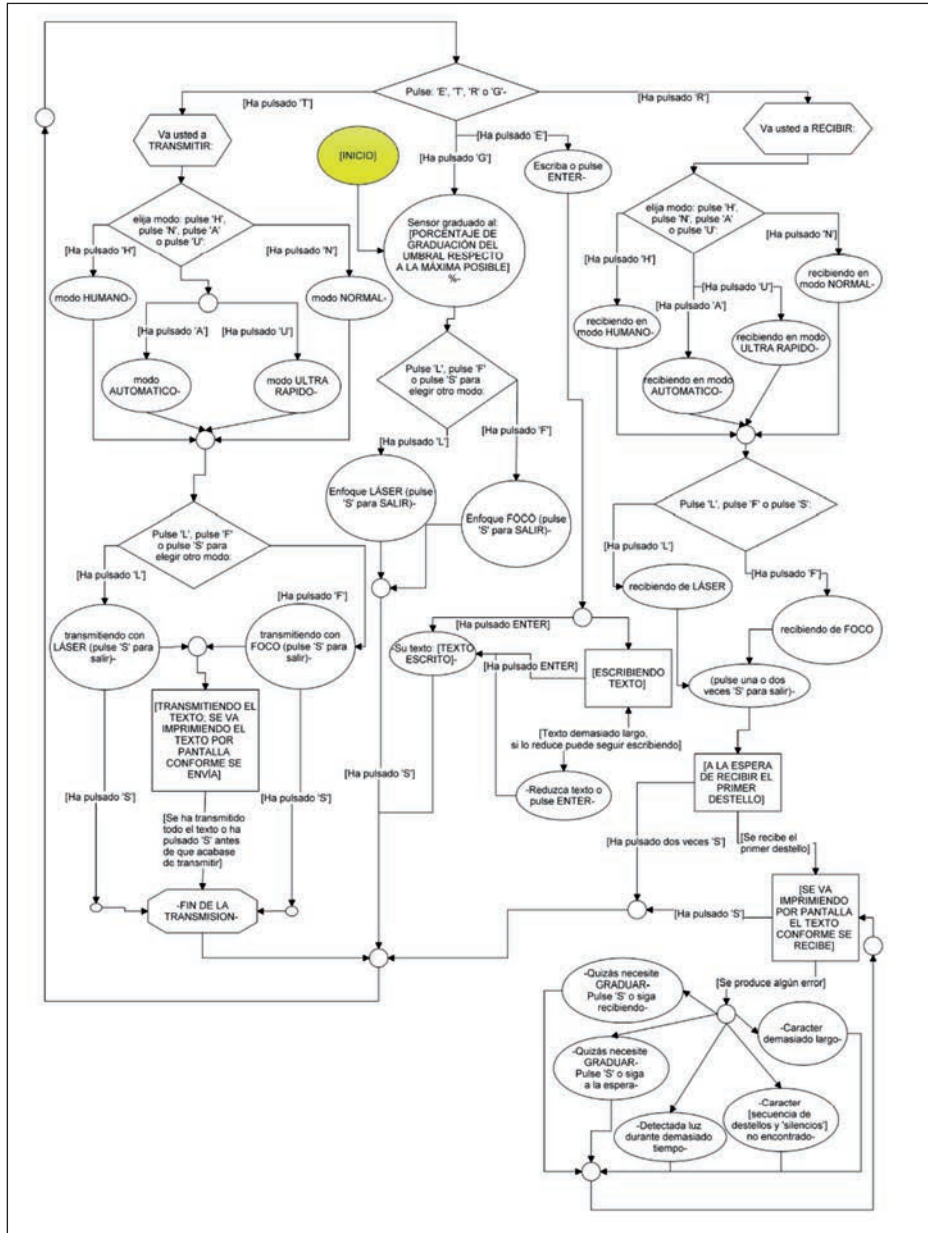


Diagrama que refleja todos los niveles y modos de trabajo del código elaborado.



Imagen de las últimas horas de la prueba nocturna (se aprecia el prototipo emitiendo con el foco halógeno y el portátil con la ventana del ejecutable Putty abierta indicando el texto conforme se va transmitiendo).

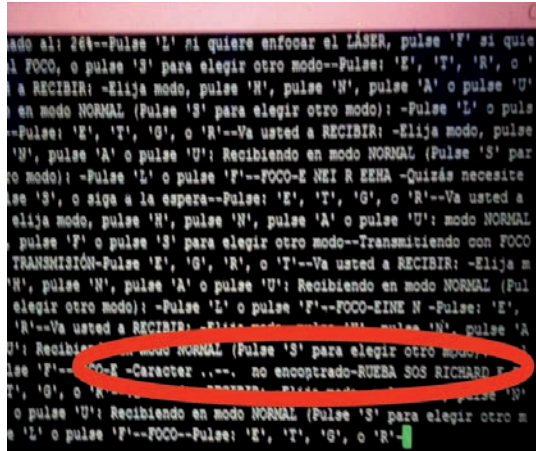
ces de transmitir y recibir de manera automatizada por Scott, con un coste material por unidad inferior a 120 euros. Elaborado el código y fabricados los dos prototipos, los sometimos a distintas pruebas en tierra (transmitiendo con los láseres y los focos halógenos a distintas velocidades, a una distancia máxima de cincuenta metros) y una entre lanchas de instrucción navegando (con los focos halógenos a una distancia de entorno a cuarenta metros). De ellas obtuvimos valiosas conclusiones, como las ventajas de las transmisiones con emisores láseres respecto a las de los focos halógenos (mayor discreción y seguridad, mayores alcances con menor potencia requerida, etc.), aunque necesitan de una plataforma precisa que mantenga los prototipos estables y enfocados entre sí.

De todas esas pruebas, la más significativa es sin duda la que realizamos entre las dos lanchas de instrucción durante una salida nocturna, en la que conseguimos transmitir y recibir con éxito una frase completa con los prototipos, lo cual, hasta donde sabemos, se trata de la primera transmisión y recepción automatizada por morse mediante destellos de luz que se realiza entre barcos.

Sin embargo, no hemos sido los primeros en interesarse en automatizar las comunicaciones visuales. Ya están apareciendo tecnologías que también buscan aprovechar las ventajas de la luz visible en materia de comunicacio-

nes. Un ejemplo de ello es la tecnología Li-Fi (3) (derivado de Wi-Fi), que pretende sustituir los actuales *routers* que nos permiten cobertura Wi-Fi mediante ondas radio por la implantación de lámparas con bombillas LED capaces de parpadear millones de veces por segundo, pudiendo transmitir así en binario y ofreciendo de esta manera conexión a Internet con un ancho de banda inmensamente mayor del que nos ofrecen los *routers* actuales. Uno de los principales fundadores de esta reciente tecnología Li-Fi, el profesor Herald Haas, reconoció que su invento «es como transmitir en morse, pero millones de veces más rápido y utilizando el lenguaje que las computadoras entienden.» Aunque también existe una notable diferencia entre Li-Fi y nuestro proyecto, Li-Fi surge como una mejora de sistemas de comunicaciones actuales que emplean ondas radio, mientras que nuestro proyecto desde el inicio se plantea como una actualización de los sistemas de comunicaciones visuales que nuestra Armada lleva empleando desde hace más de cien años. Además, no es comparable la dificultad que implica establecer comunicaciones automatizadas con luz visible entre unidades móviles, como barcos, respecto a la de establecer los mismos enlaces de comunicaciones en tierra entre puntos fijos. No me cabe la menor duda de que quien disponga de los sistemas más aptos para establecer este tipo de enlaces entre unidades móviles será quien se sitúe a la cabeza de esta tecnología. ¿Por qué no invertir en ella ahora y ser los primeros en desarrollarla? Es obvio que resulta de interés para nuestra Armada y además podría tener infinidad de aplicaciones.

Imaginen una videollamada entre barcos mediante haces de luz láser, o una conexión a Internet a decenas de millas de costa con nuestros faros de señalización costera, o un colimador láser de uno de nuestros tiradores de precisión



Captura de pantalla del ejecutable Putty tras recibir la primera frase que se transmite con este tipo de sistemas entre buques: E PRUEBA SOS RICHARD E (se aprecia que no se reconoce el carácter ...-, aunque es obvio que se refiere a una «P» que en morse es ...-).

(3) Encontrarán mucha más información acerca de esta nueva tecnología en RANI, J.; CHAUHAN, P., y TRIPATHI, R., o en <http://cnnespanol.cnn.com/2012/09/30/li-fi-internet-inalambrico-a-traves-de-la-luz/>



Imagen frontal de uno de los prototipos (a través del tubo tras la lupa se aprecia el fotorresistor).

convertido en un transmisor que no delate su posición. Pueden pensar que es imposible, pero creo que si aún no somos capaces de predecir el alcance que puedan llegar a tener estos sistemas es precisamente porque todavía no se han desarrollado lo suficiente. Aunque ahora sí sabemos que esta tecnología funciona y se puede implementar en barcos.

Tras mi experiencia con mi proyecto, solamente puedo decir que auguro un futuro prometedor para las comunicaciones visuales, e intuyo que acabarán por desplazar a las comunicaciones por radio dentro del horizonte visible de nuestras unidades. No sé cuándo podremos disfrutar de toda esta tecnología, pero considero que es el momento de decidirse a desarrollarla.

Si desean conocer más sobre este proyecto, quizás les resulte de interés saber que fue expuesto en el III Congreso Nacional de I + D en Defensa y Seguridad (4) que el pasado año se celebró el 19 y 20 de noviembre en la Escuela Naval Militar.

#### BIBLIOGRAFÍA

- CARREÑO FELICES, R. F. (2015): *Automatización del sistema de comunicación visual por morse de la Armada* (Trabajo Fin de Grado, Centro Universitario de la Defensa, ENM). <http://arduino.cc/en/Main/Software> (último acceso 5 de marzo de 2015).
- RANI, J.; CHAUHAN, P., y TRIPATHI, R. (2012): *Li-Fi (Light Fidelity)-The future technology In Wireless communication*. Int. J. of Applied Engineering Research, 7 (11).
- FAA Aeronautical Information Manual, secciones 4-3-13. Traffic Control Light Signals.
- III Congreso Nacional i+d en Defensa y Seguridad (DESE i+d 2015), en [http://cud.uvigo.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1389&Itemid=255](http://cud.uvigo.es/index.php?option=com_content&view=article&id=1389&Itemid=255) (último acceso 13 de septiembre de 2015).

---

(4) El Congreso Nacional de I + D en Defensa y Seguridad consiste en una serie de conferencias en las que se abordan cuestiones relacionadas con el ámbito de la Defensa y Seguridad desde un punto de vista tecnológico y científico. Así, es un punto de reunión e integración de la investigación entre los diferentes actores del ámbito del I + D en Defensa y Seguridad, como son: universidades, OPI, empresas y laboratorios que exponen sus trabajos recientes con un enfoque innovador, llevados a cabo dentro de proyectos de investigación financiados por las diferentes entidades de ámbito nacional o internacional. En el año 2015, se celebró el 19 y 20 de noviembre en la Escuela Naval Militar.