



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VISUAL POR MORSE DE LA ARMADA

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Rafael Francisco Carreño Felices

DIRECTOR: Rafael Asorey Cacheda

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VISUAL POR MORSE DE LA ARMADA

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) presenta el desarrollo de dos prototipos para el establecimiento de comunicaciones visuales bidireccionales mediante el sistema morse, de forma fiable y automatizada. Además, incluye valoraciones y conclusiones de cara a su posible implantación en unidades de la Armada.

El punto de partida es la plataforma Arduino, dada su sencillez de funcionamiento, bajo coste y facilidad de programación (en lenguaje C++). Y como resultado, los prototipos se componen de una placa Arduino Uno (y otros componentes) conectada a un ordenador que, con el código creado, es capaz de:

1. Almacenar cualquier texto que escribamos con el teclado del ordenador (hasta 320 caracteres).
2. Transmitir dicho texto mediante el accionamiento de un relé que activa un láser o foco halógeno.
3. Interpretar dichos destellos e imprimir por pantalla los caracteres a los que corresponden según el sistema morse (los del texto original).

Para ello, el código también permite: corregir el texto mientras se escribe, autograduar el umbral de detección según la intensidad lumínica del destello que se recibe, seleccionar con qué emisor se va a transmitir o recibir (láser o foco), enfocar los emisores de forma sencilla, y además, ofrece la opción de elegir entre cuatro modos o velocidades de transmisión para el empleo del láser (HUMANO o lento, NORMAL, que es cinco veces más rápido que el modo HUMANO, AUTOMÁTICO, que transmite a una velocidad de veinte veces la configurada en el primer modo, y ULTRA RÁPIDO, que llega a duplicar la velocidad del modo AUTOMÁTICO) y dos modos si hablamos del empleo de los focos halógenos (modos HUMANO Y NORMAL).

La mayor complejidad del trabajo ha residido en la elaboración del propio código, el cual permite a cualquier persona sin conocimientos previos de programación o sistema morse, transmitir con los prototipos siguiendo un sencillo procedimiento. Otras limitaciones detectadas son: la directividad necesaria en la comunicación (en el caso del empleo del láser), la velocidad de transmisión y la relación entre la intensidad lumínica que aprecia el fotorresistor del entorno y de los destellos que se reciben.

Sin embargo, pese a las limitaciones mencionadas y en consideración con los resultados obtenidos experimentalmente, los prototipos plantean una posible alternativa a los actuales sistemas de comunicación visual de la Armada. Y además, dado el poco aprovechamiento actual de la franja del espectro electromagnético correspondiente a la luz visible en materia de comunicaciones, el campo de mejora sobre el trabajo realizado es considerable.

PALABRAS CLAVE

SISTEMA DE COMUNICACIÓN, CÓDIGO MORSE, AUTOMATIZACIÓN, VISUAL, SCOTT

AGRADECIMIENTOS

De ninguna manera habría sido posible el desarrollo de este trabajo, sin la labor educativa en estos últimos casi cinco años (promoción 2010-2015), de los profesores tanto civiles como militares, que siguen haciendo de la Escuela Naval Militar un centro formativo de referencia en todo mundo. De manera que mi más profundo agradecimiento a todos los profesores, tanto a los militares como a los del Centro Universitario de la Defensa; y especialmente a mi tutor, el profesor D. Rafael Asorey Cacheda, por haber aceptado dirigirme en este proyecto que le propuse, por todos sus consejos, por el tiempo que me ha dedicado, y en general por su preocupación en que lo sacásemos adelante.

Del mismo modo, gracias a todos mis compañeros que me han ayudado en la realización de las pruebas con los prototipos que hemos construido. Y de manera más especial a mi compañero de camarera Richard Pereira Santos, por sacrificar toda una tarde-noche para ayudarme con las pruebas en las Lanchas de Instrucción, a mi compañero de promoción José María González Baena por sacrificar horas de sueño (muy preciadas aquí dentro) por echarme una mano; y a las dotaciones de lanchas 3.1 y 3.2 de los jueves, por acogernos y colaborar con nosotros durante la prueba de mar que realizamos.

Así mismo, me gustaría agradecer a todo el personal del taller eléctrico de la Escuela Naval Militar, y más especialmente al Brigada electricista D. Luis Bernardo Ramos Fuertes y al Sargento D. Igor González Marona, por su predisposición a colaborar en la creación de los prototipos, al facilitarme focos halógenos, alargaderas y el soldador de estaño (todo lo que les pedí); y a la Sección de Adiestramiento Aflote de la Escuela Naval Militar por permitirnos participar en una de sus salidas semanales a la mar, donde pudimos efectuar la última prueba (entre las Lanchas de Instrucción).

Y por último, también me gustaría mostrar mi agradecimiento hacia aquellos que en su día tomaron o colaboraron en la decisión de modificar el Plan de Estudios de los futuros oficiales de la Armada, y que como resultado han hecho de esta promoción a la que pertenezco, la primera que saldrá con una titulación universitaria (Grado en Ingeniería Mecánica), además de con el empleo de Alférez de Navío o Teniente con el que ya se salía en el antiguo Plan (y que es el único motivo de existencia de esta escuela). Sin el trabajo de todos ellos, este proyecto sin duda sería bien distinto, o quizás ni siquiera habría entrado en esta escuela.

El esfuerzo de mandos y profesores, en el trabajo continuo por sacar “los oficiales que la Armada necesita”, ha sido inmenso estos últimos años, al tener que adaptar el Plan de Estudios de este centro de formación militar, al marco Europeo; y de esta forma, añadir una Ingeniería a los estudios que ya cursaban los alumnos del antiguo Plan. Aunque sin duda, ese esfuerzo empieza a verse reflejado tras más de cinco años, al haber superado la mayor parte de los que inicialmente formábamos esa ‘primera’ promoción, todos los estudios que hemos cursado aquí. Y lo que es más, creo que gracias a todo ese esfuerzo, los próximos Alférezes de Navío y Tenientes de la Armada que se gradúen de aquí en adelante, saldrán mejor preparados; pues la Ingeniería que ahora cursan estos futuros oficiales, les permite tener una visión más ‘científica’ o técnica de su entorno.

Lamento no mencionar personalmente a todos los que habéis hecho este Trabajo de Fin de Grado posible, pero la lista sería enorme, y lo cierto es, que desgraciadamente tampoco conozco a todos los que directa o indirectamente habéis aportado vuestro ‘granito de arena’. De cualquier forma, mi más profundo y sincero agradecimiento a todos.

CONTENIDO

Contenido.....5

Índice de Figuras7

Índice de Tablas.....9

1 Introducción y objetivos11

2 Estado del arte13

2.1 La comunicación visual.....13

2.1.1 La comunicación visual en la Armada.....14

2.2 El sistema morse.....15

2.2.1 El sistema morse en la Armada.....17

2.2.2 Automatización del sistema morse18

2.3 Li-Fi.....19

2.4 Normativa sobre láseres20

2.5 ARDUINO22

3 Desarrollo del TFG25

3.1 Familiarización con la plataforma de Arduino y desarrollo del código.....25

3.1.1 Familiarización con la plataforma de Arduino25

3.1.2 Desarrollo del código26

3.2 Desarrollo del prototipo y mejoras al código28

3.2.1 Desarrollo del prototipo28

3.2.2 Mejoras al código.....29

3.3 Pruebas y últimas mejoras al código y al prototipo30

3.3.1 Pruebas30

3.3.2 Últimas mejoras al código35

3.3.3 Últimas mejoras al prototipo.....38

4 PROTOTIPO FINAL39

4.1 Precio del prototipo44

5 Valoración de los resultados.....45

6 Conclusiones y líneas futuras47

7 Bibliografía.....49

Anexo I: Procedimiento de comunicación con el prototipo53

Anexo II: Reglas nemotécnicas [28]57

Anexo III: Tabla caracter-valor computacional.....59

Anexo IV: Manual de uso del prototipo61

Anexo V: Diagrama de Gantt del proyecto63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Telégrafo óptico de Adanero, línea de Castilla [1]	13
Figura 2-2 Cuadro de fragata de guerra inglesa del siglo XVII con todo el engalanado izado [2]	14
Figura 2-3 Marinero de la marina de Estados Unidos transmitiendo (manualmente) un mensaje por morse mediante destellos de luz o Scott [3]	14
Figura 2-4 Retrato de Samuel Finley Breese Morse en 1840 [4]	15
Figura 2-5 Código morse que asocia cada carácter con su correspondiente secuencia de señales largas o cortas (rayas o puntos) [6]	16
Figure 2-6 Telégrafo eléctrico de finales del siglo XIX [7]	16
Figura 2-7 Capturas de pantalla de dos vídeos de YouTube sobre: un sistema automatizado de morse mediante ondas sonoras (izquierda) y un sistema automatizado de transmisión por morse mediante destellos de luz (derecha) [10] [11]	18
Figura 2-8 Imagen retocada que hace alusión al empleo de la luz visible en materia de comunicaciones en nuestras ciudades y hogares [12]	19
Figura 2-9 Profesor Harald Haas realizando una demostración de su invento en un laboratorio [13]	19
Figura 2-10 Logotipo del producto (como se aprecia, muy parecido al logotipo de la actual tecnología WiFi) [14]	20
Figura 2-11 Señal de peligro por radiaciones láser [18]	21
Figura 2-12 Captura de pantalla de la NTP 654 de 2002 sobre clasificación de láseres según su peligrosidad [19]	21
Figura 2-13 Massimo Banzi durante una conferencia TED explicando su producto [22]	22
Figura 2-14 Uno de los logotipos de la plataforma de Arduino [25]	23
Figura 3-1 Fotorresistor inicial	28
Figura 3-2 Placa con cinco fotodiodos (emisor) y placa con el fotorresistor (receptor) para el shield Tinkercit	28
Figura 3-3 Prototipos recién acabados (a falta de los relés para incorporar los focos halógenos)	29
Figura 3-4 Imagen de uno de los prototipos recibiendo durante la prueba (el receptor estaba enfocado hacia el escritorio opuesto de la habitación, donde se encontraba el otro prototipo emitiendo)	30
Figura 3-5 Captura de pantalla de Google Earth para medir la distancia a la que realizamos la prueba (algo más de 50 metros)	31
Figura 3-6 Imagen tomada durante la prueba entre cuarteles desde el balcón de la primera planta del cuartel de alumnos Marqués de la Victoria (en frente se aprecia el destello del láser con el que se estaba emitiendo)	31
Figura 3-7 Imagen tomada durante la prueba de los focos halógenos en ‘el Hall’ del cuartel de alumnos Marqués de la Victoria (al fondo, a unos quince metros, se aprecia otro foco sobre el otro prototipo, y a lado el otro ordenador)	32
Figura 3-8 Imagen de los ordenadores plastificados (un día después de la nocturna)	33
Figura 3-9 Captura de pantalla de uno de los vídeos filmados durante las primeras aproximaciones	33

Figura 3-10 Imagen de uno de los destellos que se lograron transmitir durante esa última aproximación (distancia aproximada de unos 30 metros entre los dos prototipos; quizás más).....34

Figura 3-11 Imagen de las últimas horas de la nocturna (la lancha que se aprecia no llevaba ninguno de los prototipos, se trataba de la GM Rull; una tercera lancha que también salió durante toda la nocturna)35

Figura 3-12 Fotografía del autor del proyecto junto a uno de los prototipos durante la nocturna (se aprecia el aislamiento casero con bolsas de plástico y cinta aislante de los enchufes, y las gotas de lluvia sobre el prototipo)35

Figura 4-1 Imagen de una de las placas de Arduino Uno (abajo) junto al shield Tinkercit (arriba).....39

Figura 4-2 Imagen del shield Tinkercit acoplado sobre la placa de Arduino Uno.....39

Figura 4-3 Imagen de uno de los cables del shield Tinkercit40

Figura 4-4 Imagen del extremo macho de los cables que conectan el LED-chivato con el shield Tinkercit.....40

Figura 4-5 Imagen Frontal del fotorresistor de tres pines.....40

Figura 4-6 Imagen de la caja para Arduino con la placa principal y el shield (apreciase el recorte que se le hizo).....40

Figura 4-7 Imagen de uno de los relés que utilizamos41

Figura 4-8 Imagen del protoripo final (se muestra junto a una regla de treinta centímetros)41

Figura 4-9 Imagen en la que aparece un tubo de PVC incorporado en uno de los prototipos (derecha) y otro del mismo tipo suelto (derecha).....41

Figura 4-10 Imagen en la que se muestra el módulo de la lupa (lupa + refuerzo de cartón + cilindro de cartón para oscurecer el fotorresistor + alambre para fijación).....42

Figura 4-11 Imagen del láser con sus tres pilas de botón y su tapa (se aprecia saliendo del prototipo, la tapa-interruptor que une al láser a su relé correspondiente).....42

Figura 4-12 Imagen en la que entre la maraña de cables podemos diferenciar el relé (envuelto en cinta aislante negra) que conecta y desconecta la alargadera que da una vuelta sobre el tubo de PVC42

Figura 4-13 Imagen de uno de los focos halógenos que hemos utilizado junto a su caja43

Figura 4-14 Imagen en la que se aprecia el LED-chivato que sobresale de la caja de uno de los prototipos.....43

Figura 4-15 Imagen de uno de los prototipos abierto (se aprecia el láser suelto a la derecha del tubo de PVC).....43

Figura 4-16 Imagen frontal de uno de los prototipos (a través del tubo tras la lupa se aprecia el fotorresistor).....44

Figura 5-1 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 ..--.).....46

Figura 5-2 Captura de pantalla del ejecutable PuTTY tras transmitir la mencionada primera frase46

Figura 0-1 Regla nemotécnica para memorizar el código morse58

Figura 0-1 Imagen explicativa del código desarrollado62

Figura 0-1 Esquema sobre el desarrollo cronológico del proyecto63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla comparativa entre las señales del código morse (luz/voltaje/sonido o ‘silencio’/no luz/no voltaje/no sonido).....17

Tabla 3-1 Gráfica de los valores del fotorresistor obtenidos tras iluminarlo con destellos de uno de los láseres36

Tabla 3-2 Gráfica de los valores del fotorresistor obtenidos tras iluminarlo con destellos de uno de los focos36

Tabla 4-1 Coste de cada elemento de los prototipos, y coste total del conjunto44

Tabla 0-1 Regla nemotécnica para memorizar el código morse (caracteres-palabra clave-secuencia morse).....57

Tabla 0-1 Tabla comparativa (caracteres-valor computacional-secuencia morse)60

Tabla 0-1 Tabla explicariba sobre las teclas-INPUTs con las que trabaja el código desarrollado.....61

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Si hablamos de las primeras formas de comunicación a distancia, nos referimos a aquellas que empleaban señales visuales. Hablamos de señales de humo, comunicación por banderas, por destellos de luz, líneas de telégrafos ópticos, etc.

En lo que a las Marinas de guerra se refiere, estas señales se han usado desde su formación. Y desde el primer momento disponían de una serie de señales convencionales mediante banderas o luces, con las que eran capaces de transmitir o recibir los mensajes más frecuentes. De hecho, hasta el descubrimiento de la telegrafía eléctrica sin hilos y su implantación en barcos a finales del siglo XIX, las comunicaciones visuales eran la única forma de comunicación a distancia entre buques (exceptuando las transmisiones físicas de mensajes mediante otras embarcaciones, palomas mensajeras, etc).

A día de hoy, algo más de ciento quince años después de esa primera implantación de sistemas de comunicación sin hilos en barcos (transmisiones por radio), las telecomunicaciones han evolucionado significativamente en nuestra Armada con tecnologías impensables hace un siglo, y han desplazado por completo los ahora arcaicos sistemas de comunicación visual mencionados.

Por otro lado, a pesar de que en este momento las comunicaciones visuales en nuestros buques se limitan a ejercicios y a redundar algunas señales que se emiten por radio para no perder todo el procedimiento adquirido a lo largo de los años, el uso de estos sistemas de comunicación visual en enfrentamientos con otras Armadas aparece en nuestras publicaciones clasificadas como prioritario respecto a cualquier otro medio de comunicación.

El motivo es que estos sistemas presentan unas ventajas insalvables para las transmisiones por radio, que pueden ser decisivas en un momento crítico. Estas ventajas son:

- Discreción: solo son detectables por unidades dentro del horizonte visible del emisor.
- Fiables: mientras la visibilidad lo permite, estas señales no son perturbables, ni tampoco se pueden distorsionar.
- Seguras: como ya hemos mencionado, solo pueden interceptarlas unidades dentro del campo visual del emisor y, dada la directividad que permiten, las posibilidades de interceptación por una tercera unidad prácticamente desaparecen.

Paradójicamente, a pesar de estas ventajas respecto a los sistemas radio y pese a estar definidas como prioritarias en situaciones críticas, las señales visuales se siguen usando del mismo modo en el que se implantaron hace siglos (con la diferencia de que ahora se usan menos). Es decir, no han experimentado el proceso de mejora que sí han tenido los sistemas de comunicación por radio estos últimos ciento quince años.

Como resultado de todo lo mencionado anteriormente, nos planteamos el objetivo de aprovechar los recursos que el Centro Universitario de la Defensa y la Escuela Naval Militar nos ofrecen para proponer en tres meses una posible alternativa a los actuales sistemas de comunicación visuales de la Armada.

Dicho esto, lo que se propone es un proyecto de mejora sobre el actual sistema de comunicación por morse, que consiste básicamente en su automatización.

En un principio, este trabajo se planteó con el objetivo de desarrollar una plataforma capaz de soportar un sistema de comunicación visual automatizado por morse (capaz de estabilizarlo y apuntarlo). Sin embargo, tras analizar el problema, se propuso finalmente enfocarlo hacia el desarrollo de los prototipos capaces de establecer esta forma de comunicación automatizada y no hacia el equipo que los soportaría. Esta decisión se tomó en base a que aparentemente el desarrollo de la mencionada plataforma parece mucho más complicado que la creación de los propios prototipos, y también a lo complicado que resultaría el hecho de conseguir que en años venideros se continuase mejorando nuestro trabajo, dado que estaría pensado para servir de soporte de un equipo que seguiría sin existir.

Sin duda, para hacer realidad nuestro deseo de mejorar los sistemas de comunicación visual que usan actualmente nuestras unidades, era necesario desarrollar un proyecto capaz de despertar el interés suficiente como para que en los próximos años se continuase trabajando al respecto; y para esto, lo más conveniente era crear un prototipo con el que demostrar que la comunicación automatizada por morse entre nuestras unidades es posible y viable.

Para conseguirlo, definimos cinco subobjetivos:

1. Desarrollar un código en lenguaje C++ sobre una placa Arduino Uno para:
 - Escribir cómodamente con el teclado de nuestro ordenador un texto cualquiera.
 - Transmitir en morse de forma automatizada mediante destellos de luz el texto escrito (este punto ya supondría una importante mejora al procedimiento de Scott, o morse mediante destellos de luz de nuestros barcos, pues eliminaría el 50% del factor humano en el procedimiento ya que ni siquiera la transmisión está automatizada).
 - Graduar el umbral de detección según la intensidad lumínica del ambiente.
 - Ser capaces de recibir las señales transmitidas, e imprimirlas traducidas por pantalla, es decir, imprimir por pantalla los caracteres a los que corresponden según el código morse.
2. Fabricar los prototipos.
3. Probarlos a una distancia aceptable tanto en tierra como navegando (Lanchas de Instrucción).
4. Estudiar/valorar la fiabilidad y viabilidad de los prototipos de cara a su posible implantación en unidades de la Armada.
5. Redactar las conclusiones a las que hemos llegado, así como plantear una serie mejoras y líneas a seguir para futuros proyectos relacionados con esta materia.

Paralelamente a todas las fases anteriores, se decide llevar una crónica de lo avanzado en cada día de trabajo (esta crónica está añadida al final como diagrama de Gantt, en el anexo V).

Además, podríamos definir un sexto subbjetivo que nos planteamos con todo el trabajo en cuestión, y que se trata del hecho de convertirnos en pioneros en lo que se refiere al aprovechamiento de la franja de la luz visible del espectro electromagnético con respecto a comunicación automatizada entre barcos u otras unidades aisladas. Pues hasta donde sabemos no existe ningún trabajo relacionado similar al presentado en este TFG.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 La comunicación visual

Aunque no se trate de un proyecto de investigación sobre medios de comunicación visuales, consideramos conveniente comenzar este apartado con una breve y genérica introducción a lo que implica la comunicación visual.

Para empezar, cuando hablamos de este tipo de comunicación nos referimos a mensajes que se transmiten o interpretan a partir de algo visible al ojo humano: una imagen, un gesto, una columna de humo, una serie de banderas en una misma driza, etc.

Esta forma de comunicación a distancia ha existido en realidad desde que existe el hombre. De hecho, hasta el desarrollo de la telegrafía eléctrica representaba la única manera de comunicarse a distancia (excluyendo los sistemas de transmisión de mensaje físico a través de cartas, palomas mensajeras, etc).

Tras la invención del telégrafo morse (y simultáneamente el alfabeto morse), en el año 1844, y los posteriores avances sobre comunicación inalámbrica, estos sistemas de comunicación visual se han ido desplazando paulativamente, hasta el punto en el que se usan hoy día (de forma muy esporádica y a veces solo como anécdota del pasado).



Figura 2-1 Telégrafo óptico de Adanero, línea de Castilla [1]

Sin embargo, a pesar de las limitaciones que presentan respecto a las emisiones por radio, también es indiscutible que ofrecen ciertas ventajas respecto a ella. Entre otras, la mayor discreción (solo pueden ser interceptadas por unidades dentro del horizonte visible del emisor), seguridad (dadas su discreción y directividad), y fiabilidad (respecto a que no pueden ser distorsionadas ni perturbadas, si la visibilidad lo permite).

2.1.1 La comunicación visual en la Armada

Desde la creación de las primeras Marinas de guerra, también han existido una serie de señales visuales convencionales que permitían comunicar entre buques los mensajes más frecuentes o de mayor relevancia. Para ello, se recurría a señales por banderas, señales por luz (por ejemplo un faro en la costa indicando la presencia de bajos), señales de semáforo (mediante señaleros), etc.

Con el tiempo, dada la necesidad imperiosa de establecer un código de señales común para todos los buques (cada Armada disponía de un código de señales propio), el Ministerio de Comercio Británico recopiló un primer código internacional, publicado en 1887.



Figura 2-2 Cuadro de fragata de guerra inglesa del siglo XVII con todo el engalanado izado [2]

En lo que a la Armada Española se refiere, la comunicación visual engloba básicamente todos los sistemas de comunicación a distancia que usaban nuestros buques antes de la invención de la telegrafía eléctrica sin hilos (excluyendo los sistemas de comunicación por transmisión de mensaje físico e incluyendo el código internacional de banderas y el sistema de transmisión de mensajes por destellos de luz o Scott).

Estos sistemas, totalmente desfasados, apenas se usan en nuestras unidades en ejercicios (para mantener al personal adiestrado en sus correspondientes procedimientos) y para redundar algunas señales que se envían por radio (simplemente con el objetivo de evitar que desaparezcan por desuso).



Figura 2-3 Marinero de la marina de Estados Unidos transmitiendo (manualmente) un mensaje por morse mediante destellos de luz o Scott [3]

Sobre todos estos sistemas visuales de comunicación de nuestra Armada existen publicaciones clasificadas que definen los procedimientos a seguir para su uso entre nuestros buques, así como una serie de señales convencionales que definen los mensajes más frecuentes o de mayor importancia.

Algunas de las publicaciones que recogen las señales y procedimientos mencionados son la ACP-130 y el ATP-1, material clasificado.

Por último, queremos insistir en el hecho de que en lo que respecta a nuestra Marina de guerra (o la de cualquier otro país), con sistemas de comunicación visual se engloba a todas las formas de comunicarse que usaban los barcos antes la implantación de medios para transmitir o recibir mediante telegrafía eléctrica sin hilos (comunicaciones radio).

Y es que si bien podemos decir desde un punto de vista muy amplio, que en el ámbito civil la telegrafía eléctrica fue evolucionando hacia un nuevo lenguaje (el binario), y que realmente es la madre de todos los sistemas de comunicación que surgieron posteriormente a ella; también es indiscutible que en el ámbito militar, todas las formas de comunicación visuales que la preceden no han evolucionado desde entonces.

Incluso, paradójicamente el Scott, que surge a la par de la telegrafía eléctrica, usando su mismo lenguaje (el código morse), y pese a su posible interés militar, dadas una vez más, todas sus ventajas sobre las comunicaciones por radio.

2.2 El sistema morse

El sistema o código morse nace de la mano de la telegrafía eléctrica. Samuel Morse, nacido en Boston, Estados Unidos, en 1791, desarrolló en 1833 un nuevo alfabeto en el que asignaba una secuencia de señales largas o cortas a los distintos caracteres del alfabeto y lo bautizó como Sistema Morse (o también conocido como código morse).



Figura 2-4 Retrato de Samuel Finley Breese Morse en 1840 [4]

Este alfabeto permite escribir mensajes en inglés y otras muchas lenguas (como el castellano). Para aquellas que no disponen del alfabeto latino [5] (como son el ruso, el coreano, el japonés, el chino, el árabe, el hebreo, etc), se necesitaría algo más de tiempo hasta que se desarrollasen sus alfabetos de morse propios (en esta memoria, al hablar de código, alfabeto o sistema morse nos referimos únicamente al primero que se desarrolló para el alfabeto latino y que hemos añadido a continuación).

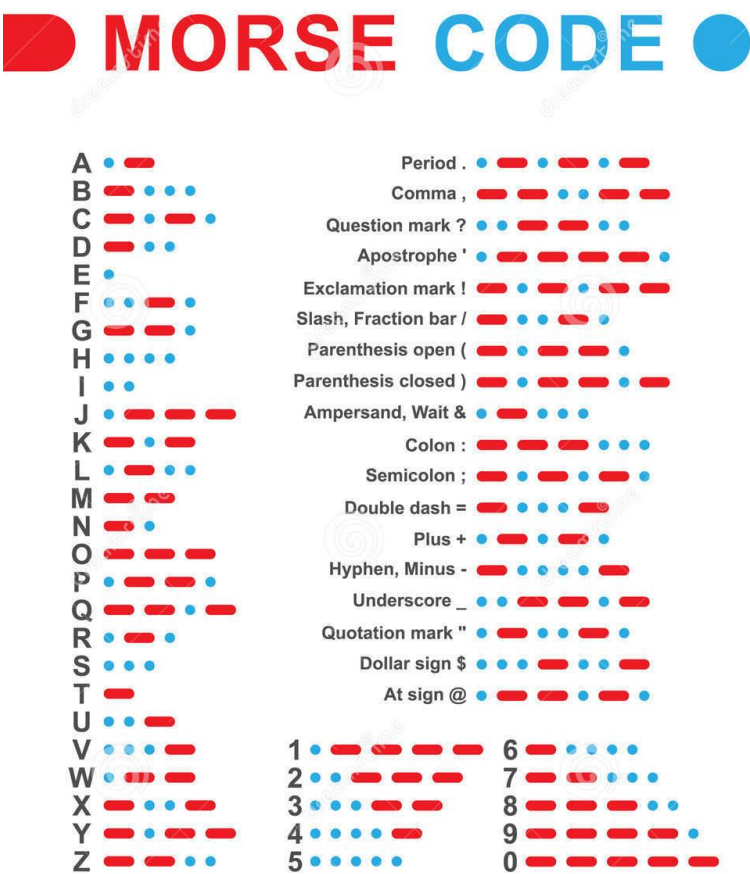


Figura 2-5 Código morse que asocia cada carácter con su correspondiente secuencia de señales largas o cortas (rayas o puntos) [6]

Por otro lado, Morse y su asociado Alfred Vail inventaron e instalaron una red de telegrafía en su país de origen (Estados Unidos). Se puede decir, que la demostración pública más importante de este aparato fue en 1844, cuando consiguió transmitir un mensaje desde Baltimore al Capitolio de Washington.

Su telégrafo consistía en un sencillo mecanismo que cerraba un circuito por el que circulaba cierto voltaje, lo cual transmitía una señal eléctrica que se clasificaba en larga o corta según su duración. De esta manera, con su telégrafo y el código morse que también inventó, se podía establecer una comunicación a distancia mediante el tendido eléctrico.



Figure 2-6 Telégrafo eléctrico de finales del siglo XIX [7]

Con el tiempo, su sistema de telegrafía evolucionó hacia la transmisión inalámbrica, gracias a la invención del primer sistema de comunicación por radio en 1895, por parte de Guglielmo Marconi. Lo cual dio lugar, como hito notable (dada la connotación naval de este trabajo) a la primera implantación de este sistema en un barco, el St Paul (un paquebote estadounidense) en 1899 [8].

Desde entonces, la evolución de la comunicación por radio ha sido significativa.

2.2.1 El sistema morse en la Armada

Tras la aparición del código morse, las distintas Marinas de guerra (incluida la nuestra), adaptaron la comunicación mediante este sistema a sus buques, cambiando los telégrafos por focos de luz, y las señales eléctricas por destellos. De modo que esta forma de comunicación requiere, en la unidad emisora, de un operario que realice manualmente destellos largos o cortos con un foco de luz, y en la unidad receptora, de otro operario que también manualmente anote los destellos recibidos (según sean largos o cortos), para posteriormente interpretarlos.

Como referencia a esos destellos largos o cortos, así como a los silencios que corresponden entre destellos, caracteres o palabras, se usa la siguiente relación:

DESTELLO O PERÍODO SIN LUZ	DURACIÓN
Destello corto (punto)	1 unidad
Destello largo (raya)	3 unidades
Período sin luz entre destellos del mismo caracter	1 unidad
Período sin luz entre caracteres distintos	3 unidades
Período sin luz entre palabras	7 unidades

Tabla 2-1 Tabla comparativa entre las señales del código morse (luz/voltaje/sonido o ‘silencio’/no luz/no voltaje/no sonido)

La duración de 1 unidad es algo variable dado el factor humano en el empleo de estos sistemas de comunicación; y depende de la familiarización y soltura de los operarios que transmiten o reciben, pero como estimación general, se suele situar esta unidad de transmisión en torno a un segundo.

En este trabajo, hemos utilizado esta tabla como referencia, por ser la que nuestra Armada sigue usando en sus procedimientos de Scott. Aunque se han usado distintos valores a esa ‘unidad’ para permitir distintas y mayores velocidades de transmisión.

Obviamente, todo este proceso de comunicación por destellos de luz entre nuestros buques es más complejo y sigue un procedimiento recogido en la publicación ACP-130, pero a grandes rasgos consiste en lo que acabamos de explicar.

Sin embargo, dadas las limitaciones que supone este sistema actualmente, en cuanto a la velocidad de transmisión y al alcance de la fuente lumínica (y debido a que en más de cien años no se le ha implementado ninguna mejora), con el tiempo se ha reducido el uso de este sistema a nada más que a ejercicios, en favor de las comunicaciones inalámbricas por radio (que sí han evolucionado).

Ahora existen los medios para revertir esta situación. Se ha desarrollado la tecnología necesaria para automatizar la comunicación por Scott (con la invención de los fotorresistores y los fotodetectores a mediados del siglo XX y los avances en electrónica desde entonces) y tenemos la posibilidad de implementar esta mejora en nuestros buques para hacer que su empleo vuelva a ser algo práctico y operativo.

Al final del trabajo se incluye, como anexo III, un par de reglas nemotécnicas que usa nuestro personal como ayuda para facilitar la memorización de este código (pese a que para el empleo de nuestros prototipos no se requiere su aprendizaje).

2.2.2 Automatización del sistema morse

Dado el objetivo principal de crear un prototipo capaz de comunicarse por destellos de luz mediante el sistema morse de manera automatizada, surge la duda natural sobre lo desarrollado a día de hoy en cuanto a automatización de este sistema.

Tras una exhaustiva búsqueda en Internet y la Intranet de la Armada, y tras consultar fuentes como las de la propia Revista General de Marina o la OEPM [9] (Oficina Española de Patentes y Marcas), hasta donde sabemos no se ha desarrollado ningún prototipo o sistema de esta envergadura, que sea capaz de automatizar el sistema morse mediante el uso de destellos de luz.

Por un lado, hemos encontrado prototipos muy rudimentarios también sobre placas de Arduino, para transmitir y recibir de forma automatizada mediante ondas sonoras a distancias muy cortas y, también otros sistemas aún más rudimentarios (de nuevo sobre la plataforma Arduino) que son capaces de emitir de manera automatizada con un LED o alguna otra luz.

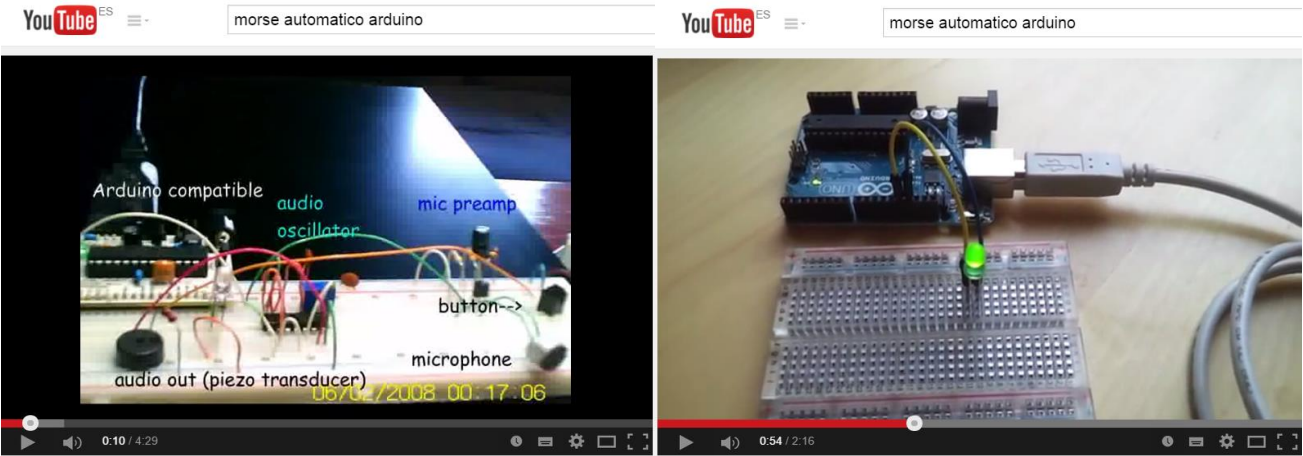


Figura 2-7 Capturas de pantalla de dos vídeos de YouTube sobre: un sistema automatizado de morse mediante ondas sonoras (izquierda) y un sistema automatizado de transmisión por morse mediante destellos de luz (derecha) [10] [11]

Por otro lado, existen sistemas de mayor envergadura relacionados con el código morse, son los que emiten señales acústicas de forma automática, y que podemos encontrar en barcos o estaciones en tierra (para advertir del peligro que implica su propia presencia para otras unidades en momentos de visibilidad reducida), radiobalizas que emiten la señal de socorro (SOS) en morse mediante señales electromagnéticas, aplicaciones móvil y otros programas para aprender morse, etc.

Pero hasta donde sabemos, no se ha desarrollado nada relacionado con la automatización del sistema morse de la envergadura de este trabajo, ni tampoco algún otro sistema de transmisión óptica para buques.

No obstante, sí conocemos la existencia de nuevos proyectos ambiciosos relacionados con el aprovechamiento de la luz visible en materia de comunicaciones y que han surgido en los últimos diez años. En el siguiente apartado se presenta uno de esos proyectos: la tecnología Li-Fi.

2.3 Li-Fi

Aunque aparentemente no tenga nada que ver con la comunicación automatización del sistema morse, consideramos interesante citar y explicar brevemente algunos proyectos que se están desarrollando en lo referido al aprovechamiento de la luz visible para transferencia de datos. Concretamente, un concepto nuevo que ha surgido estos últimos cinco años: Li-Fi (no es el único proyecto que se ha desarrollado al respecto, pero sí es el que parece más prometedor).



Figura 2-8 Imagen retocada que hace alusión al empleo de la luz visible en materia de comunicaciones en nuestras ciudades y hogares [12]

Li-Fi es el nombre dado a esta tecnología, resultado de combinar la palabra Wi-Fi con *Light* (luz en inglés). Trata de un proyecto en el que se lleva trabajando desde el año 2010 y que ha sido desarrollado principalmente por el alemán Harald Haas.

Consiste en aprovechar la infraestructura existente, modificando las bombillas de nuestras lámparas por bombillas LED con microchips integrados que les permitan parpadear a velocidades de entorno a millones de veces por segundo (inapreciable para el ojo humano, pero no para un detector de luz). Como resultado, estas lámparas podrían transmitir datos en binario a mucha más velocidad que los equipos de comunicaciones actuales (el ancho de banda de la luz visible es considerablemente mayor que el que corresponde a las ondas radio).

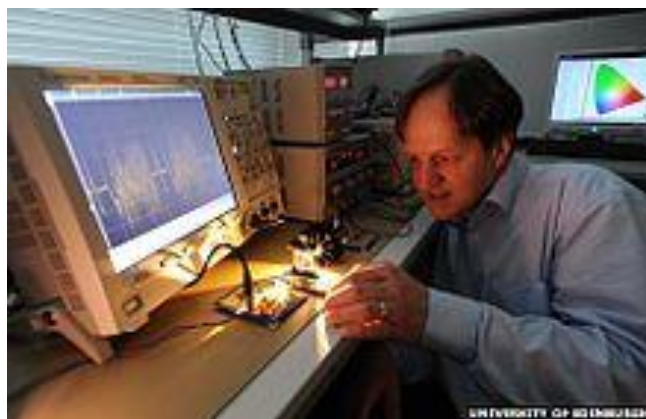


Figura 2-9 Profesor Harald Haas realizando una demostración de su invento en un laboratorio [13]



Figura 2-10 Logotipo del producto (como se aprecia, muy parecido al logotipo de la actual tecnología WiFi) [14]

Curiosamente, esta tecnología ha surgido en los últimos cinco años como mejora de sistemas actuales de comunicaciones inalámbricas radio y no como mejora de ningún sistema de comunicación visual, pese a las similitudes que podemos encontrarle con el sistema de comunicación por destellos o Scott, usado en nuestros barcos desde hace más de un siglo.

De hecho, hemos encontrado una afirmación del propio Herald que dice: “Es como enviar una señal en código morse con una lámpara, pero a una velocidad mucho mayor, y usando el lenguaje que las computadoras entienden” [15] [16].

2.4 Normativa sobre láseres

Existe una limitación con la que nos topamos cuando empezamos a desarrollar los prototipos. Se trata del alcance de transmisión, pues con los LED que disponíamos inicialmente apenas podíamos transmitir y recibir a más de cincuenta centímetros. Ante este problema, se modificó el diseño para que la placa Arduino activase o desactivase un relé, y que a su vez este activase o no una fuente de luz más potente.

Como fuentes de luz externas decidimos añadir un foco halógeno de 220V (por falta de recursos no conseguimos añadir un foco LED) y un láser.

Sobre los focos halógenos de luz no existe ninguna normativa actualmente, luego su empleo no planteó ningún problema extra. En cambio, respecto al empleo de láseres, se han desarrollado normativas recientemente y existen normas de seguridad para su empleo, por lo que tuvimos que investigar y profundizar al respecto.

Por otro lado, el empleo de láseres nos ofrece muchas más ventajas en comparación con el uso de focos (tanto LED como halógenos). Y estas ventajas son:

- Necesitan mucha menos potencia para transmitir a más distancia.
- Son mucho más discretos.
- Su alta directividad hace prácticamente imposible la interceptación del mensaje por terceras unidades, incluso encontrándose dentro del horizonte visible del emisor.

En contraposición, la única limitación que tienen es la plataforma que necesitan para mantenerlos apuntados.

Tras realizar las pruebas en tierra, y al comparar los resultados obtenidos tanto con el láser como con los focos, llegamos a la conclusión de que este sistema de comunicación entre barcos, de seguir desarrollándose, acabará decantándose por el empleo de láseres en lugar de focos, mucho menos directivos y discretos.

Por lo tanto, parece obvio que esta tecnología necesitará evolucionar cumpliendo las normativas vigentes sobre el empleo de estas fuentes de luz. Y por ello, hemos considerado oportuno hacer referencia a estas normas.

En primer lugar encontramos la UNE-EN 60825-1:2008 (sobre normas de seguridad de los productos láser [17]). En ella se establece una clasificación de los sistemas láseres en función de la peligrosidad que suponen ciertos parámetros que los caracterizan, como son: la longitud de onda que emplean, la potencia con la que transmiten, la divergencia, el diámetro del haz, etc. Según estos parámetros, se diferencian cuatro clases de láseres, y se definen unas medidas de seguridad para cada tipo.



Figura 2-11 Señal de peligro por radiaciones láser [18]

Clase 1	Productos láser que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.
Clase 1M	Láseres que emitiendo en el intervalo de longitudes de onda (λ) entre 302,5 y 4000 nm son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero que pueden ser peligrosos si se emplean instrumentos ópticos para visión directa. (Ver 8.2 en la norma).
Clase 2	Láseres que emiten radiación visible en el intervalo de longitudes de onda comprendido entre 400 y 700 nm. La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo parpebral. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección aunque se usen instrumentos ópticos.
Clase 2M	Láseres que emiten radiación visible (400 y 700 nm). La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo parpebral, pero la visión del haz puede ser peligrosa si se usan instrumentos ópticos. (Ver 8.2)
Clase 3R	Láseres que emiten entre 302,5 y 106 nm, cuya visión directa del haz es potencialmente peligrosa pero su riesgo es menor que para los láseres de Clase 3B. Necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control del usuario que los aplicables a láseres de Clase 3B. El límite de emisión accesible es menor que 5 veces el LEA de la Clase 2 en el rango 400-700 nm, y menor de 5 veces el LEA de la Clase 1 para otras longitudes de onda.
Clase 3B	Láseres cuya visión directa del haz es siempre peligrosa (por ej. dentro de la Distancia Nominal de Riesgo Ocular). La visión de reflexiones difusas es normalmente segura (véase también la nota 12.5.2c).
Clase 4	Láseres que también pueden producir reflexiones difusas peligrosas. Pueden causar daños sobre la piel y pueden también constituir un peligro de incendio. Su utilización precisa extrema precaución.

Figura 2-12 Captura de pantalla de la NTP 654 de 2002 sobre clasificación de láseres según su peligrosidad [19]

Más legislación aplicable a los punteros láseres, y que podemos encontrar en España son:

- Real Decreto 1801/2003 [20], de 26 de diciembre, que transpone la directiva 2001/95/CEE, sobre seguridad general de los productos (deroga el Real Decreto 44/1996, de 19 de enero, por el que se adoptan las medidas para garantizar la seguridad general de los productos puestos a disposición del consumidor).
- Real Decreto 1468/1998 [21], de 2 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de etiquetado, presentación y publicidad de los productos industriales destinados a su venta directa a los consumidores y usuarios (se le aplicó una revisión vigente desde el 23 de octubre de 1989).

Sin embargo, por haber usado en los prototipos fabricados láseres de clase 1 (la menos peligrosa) y, por lo tanto, al no haber tenido que aplicar ninguna medida especial de seguridad, tampoco profundizaremos más sobre estas normativas.

Quizás una posible solución para lidiar con ellas sería el simple hecho de emplear láseres que graduasen su potencia de transmisión en función de la distancia al receptor. De esta manera, puede que se consiguiese desarrollar equipos capaces de transmitir a distancias considerables sin poner en riesgo la salud de nadie.

2.5 ARDUINO

Arduino representa una plataforma de *hardware* y código libre, basada en una serie de entradas y salidas analógicas y digitales, con un microprocesador y un entorno de desarrollo basado en el lenguaje de programación Processing.

Está diseñado para facilitar el uso de la electrónica a cualquier persona. De hecho, nace en el año 2005 con la idea de desarrollar algo que permitiera a los estudiantes disponer de un microcontrolador de forma más asequible de lo que resultaban otros en aquel momento.

Uno de sus fundadores fue Massimo Banzi, llegó a afirmar años más tarde a la aparición de esta plataforma, que el proyecto nunca surgió como una idea de negocio, sino como una necesidad de subsistir ante el inminente cierre del instituto de diseño interactivo IVREA (donde trabajaba).



Figura 2-13 Massimo Banzi durante una conferencia TED explicando su producto [22]

En el desarrollo de este dispositivo también colaboró el estudiante colombiano Hernando Barragán, desarrollando una tarjeta electrónica Wiring, el lenguaje de programación, y la plataforma de desarrollo. Sobre todo esto se fueron implementando una serie de mejoras para hacerlo más ligero, económico y disponible, hasta dar lugar a las placas que salieron al mercado.

Más tarde, Google colaboró en el desarrollo del kit Android ADK, que permitiría a teléfonos móviles con sistema operativo Android comunicarse directamente con la esta plataforma.

Finalmente, como resultado de todo lo anterior, han ido surgiendo distintos modelos de placas y múltiples accesorios. Además, incluye un interfaz de desarrollo libre sobre el que crear el código [23].

Estos miniordenadores funcionan de la forma *Plug and Play*. Es decir, una vez se conectan a una fuente de alimentación, ejecutan el código constantemente. Además soportan todas las plataformas informáticas como MacOSX, Windiows y GNU/Linux.

El hecho de haber elegido esta plataforma para desarrollar el proyecto se debe a su sencillez a la hora de adquirirla y aprender a usarla (tanto la placa, como a la hora de escribir el código en lenguaje C++), a lo relativamente económica que resulta y a que con nos ofrece cuanto necesitamos para crear nuestros prototipos (activar o desactivar una luz, almacenar un texto, recibir e interpretar destellos,...).

Para más información acerca del mundo Arduino, recomendamos vistar su página web donde existe mucha más información de la que debemos añadir aquí [24].



Figura 2-14 Uno de los logotipos de la plataforma de Arduino [25]

3 DESARROLLO DEL TFG

A lo largo de este apartado narraremos cronológicamente los avances en este proyecto, y trataremos de describir minuciosamente los resultados, dificultades encontradas, soluciones que hemos adoptado, métodos utilizados hasta dar con dichas soluciones, etc.

Para ello, hemos dividido esta parte en tres bloques que definen las mismas tres primeras fases de todo el proyecto en sí (al final del trabajo, como anexo V, hemos añadido un diagrama de Gantt en el que se pueden apreciar de manera mucho más visual, las distintas fases que hemos seguido, así como su distribución temporal).

Estas primeras tres fases del proyecto son:

1. Familiarización con la plataforma de Arduino y desarrollo del código.
2. Desarrollo del prototipo y mejoras al código.
3. Pruebas y últimas mejoras al código y al prototipo.

Faltarían las fases de valoración de resultados y conclusiones, que se tratarán más adelante.

Sin embargo, antes de comenzar con la descripción y desarrollo debemos mencionar que esta división temporal del trabajo no ha sido algo planificado de forma detallada desde el principio, sino que ha ido surgiendo de manera natural. Es decir, cuando considerábamos que habíamos desarrollado el código que cumplía con los requisitos básicos, empezamos a reunir el material necesario para crear un prototipo capaz de superar las pruebas que teníamos en mente y, una vez desarrollado efectuamos las pruebas que nos habíamos planteado realizar.

En lo referente a las mejoras tanto del código como del prototipo que realizamos, este proceso surge entre el deseo de desarrollar algo que despierte interés de cara a una posible implantación en unidades de la Armada, y entre el compromiso de ser capaces de presentarlo en el tiempo estipulado.

3.1 Familiarización con la plataforma de Arduino y desarrollo del código

3.1.1 Familiarización con la plataforma de Arduino

En la fase de familiarización con la plataforma se fijaron cuatro objetivos iniciales para los siguientes siete días:

- Emitir y recibir con un LED y un fotorresistor (encender y apagar un LED a voluntad, y leer valores de intensidad lumínica del fotorreceptor).

- Crear un contador de tiempo.
- Desarrollar un código inicial para cifrar y descifrar señales de destellos de luz por morse.
- Incorporar un protocolo de establecimiento de enlace.

A lo largo de esta semana aprendimos a usar los comandos que emplea Arduino para encender y apagar un LED, obtener valores del fotorresistor para graduar el umbral de detección según la luz ambiente, crear un contador de tiempo para evaluar los tiempos durante los que iluminábamos o no el receptor y, por último, conseguimos desarrollar un primer código con el que podíamos emitir y recibir señales por morse.

Este primer código se trataba en realidad de dos partes:

Con la primera éramos capaces de hacer parpadear un LED (según el código morse) para transmitir caracteres que escribíamos directamente sobre el código (de manera que cada vez que cambiábamos la palabra o frase a transmitir, hacía falta volver a cargar todo el código sobre la placa de Arduino, lo cual ralentizaba demasiado el proceso de escritura y transmisión). Este primer código requería que cada carácter referenciase a una función. Así, nos veíamos obligados a añadirle dos paréntesis y un punto y coma a cada uno (por ejemplo, para transmitir la letra ‘a’ necesitábamos escribir su función correspondiente sobre el código, ‘a(;)’).

Por otro lado, la segunda parte permitía recibir las señales mediante un fotorresistor e imprimirlas por pantalla mediante un ejecutable llamado ‘PuTTY’.

Sin embargo, este primer código tenía una gran limitación, y era que solo imprimía las señales según fuesen largas o cortas (imprimía rayas o puntos), pero no era capaz de descifrarlas para imprimir los caracteres a los que correspondían.

Además, la velocidad de transmisión se trataba de la más lenta de las que se pueden seleccionar con el código definitivo que hemos hecho.

Por último, en lo referente al protocolo de enlace que pensamos en desarrollar, y que incluimos en esos cuatro primeros objetivos, lo que pretendíamos era desarrollar un protocolo que automatizase el establecimiento de enlace entre los dos prototipos. Pero tras deliverarlo durante los primeros días, consideramos que no debíamos dedicar tiempo a implementar esta mejora sobre un aparato que, por no disponer de una plataforma que lo enfocase de manera automática (recordemos que el aparato va enfocado a una posible implantación en barcos), necesitaba de un operario que lo mantuviese apuntado constantemente.

Sin embargo, semanas más tarde sí que desarrollamos un procedimiento para usar el prototipo (añadido como anexo I), así como unas instrucciones para aprender a usar el código (incluidas en el anexo IV). Además creamos un modo de trabajo RECIBIR sobre el que los prototipos permanecen a la espera de cualquier destello (hasta que les indiquemos lo contrario) y sobre este, establecen el umbral de detección (lo gradúan al 90% de la intensidad lumínica del primer destello).

3.1.2 Desarrollo del código

En esta fase desarrollamos dos códigos nuevos (para escribir y graduar) y los unimos con los anteriores en un único código.

3.1.2.1 Código para almacenar textos sobre la memoria EEPROM

El programa que desarrollamos consistía en un básico procesador de texto, capaz de almacenar una serie de caracteres (escritos con el teclado) en una matriz, e imprimirlos por pantalla (realmente lo que se almacenaba en la matriz eran los valores computacionalmente correspondientes a cada carácter y dicha matriz se guardaba en la memoria EEPROM de la placa). Para imprimir los caracteres por pantalla usábamos un ejecutable llamado PuTTY que se puede descargar de Internet [26] y que está añadido como archivo adjunto a esta memoria).

La mayor ventaja era que ya no necesitábamos escribir el texto a transmitir sobre el código, de forma que tampoco era necesario volver a cargarlo (antes necesitábamos hacerlo cada vez que modificábamos lo

que íbamos a transmitir). Además, permitía corregir el texto mientras lo escribíamos y nos avisaba si su extensión era demasiado grande para la matriz creada, de manera que así podíamos reducirlo (la extensión era de 320 caracteres, pero realmente se trata de un valor aleatorio, pues la memoria EEPROM de la placa nos permite utilizar una matriz mayor).

Por último, otra característica de este procesador de texto es el hecho de que ya tenía bloqueadas todas esas teclas que no están actualmente incluidas en el código morse. Así, se imposibilitaba que algunos caracteres pudiesen quedar almacenados en la matriz y generasen errores en la transmisión.

1.1.2.2 Código para graduar

En segundo lugar, también creamos un código para graduar el receptor respecto a la intensidad lumínica del ambiente, situando el umbral de detección (de destellos de luz) entre 250 y 300 unidades por encima del valor de intensidad lumínica del entorno (el receptor da un valor analógico de 0 a 1023, siendo 0 el valor correspondiente a oscuridad total y 1023 al de máxima intensidad lumínica). Además de esta graduación, añadimos mensajes de error para que nos avisase en caso de que existiese demasiada luz en el entorno.

Hay que destacar, que sobre este programa encargado de la graduación del umbral de detección, es sobre el que más se ha trabajado posteriormente, pues es probablemente la fuente de la que derivan todos los demás errores que pueden surgir en las comunicaciones con los prototipos.

1.1.2.3 Mejoras al código para recibir

Por último, en lo referente a la mejora que implementamos al primer código capaz de recibir e imprimir por pantalla destellos de luz, conseguimos modificarlo para que fuese capaz de interpretar secuencias de destellos y ‘silencios’, de manera que lo que imprimiese por pantalla fuesen los caracteres a los que correspondían estas secuencias de luz u ‘oscuridad’ (según el código morse).

Para ello creamos otra matriz que almacenaba distintos valores en función de las duraciones de los destellos o ‘silencios’ captados por el fotorresistor; y cuando se recibía una pausa (‘silencio’ o periodo sin luz) de más de 3 unidades (3 unidades es la pausa establecida para diferenciar entre los destellos de dos caracteres distintos), el código interpretaba todos los valores almacenados, imprimiendo por pantalla el carácter correspondiente (hay que destacar que el código solo imprime las letras en mayúsculas).

Por lo tanto, recapitulando sobre todo lo conseguido en esta subfase, hemos unificado todos los códigos descritos anteriormente en uno solo (con cuatro modos de trabajo: ESCRIBIR, TRANSMITIR, GRADUAR y RECIBIR). De modo que nos quedamos con un único código con el que:

- Desde el modo ESCRIBIR (usando el código del pequeño procesador de texto), eramos capaces de guardar un texto sobre la placa (sin necesidad de volver a cargar el código).
- Si a continuación pasábamos al modo TRANSMITIR, podíamos transmitir dicho texto mediante los destellos de una placa con cinco fotodiodos (un accesorio de la placa principal).
- Por otro lado, podíamos graduar el umbral de detección según la intensidad lumínica del ambiente (desde el modo GRADUAR).
- Y pasando al modo RECIBIR, eramos capaces de apreciar e interpretar los destellos transmitidos por otra placa (con el mismo código); imprimiendo por pantalla los caracteres a los que correspondiesen las secuencias de dichos destellos (las letras solo en mayúscula).

Sin embargo, aún quedaban muchas mejoras por implementar. La velocidad de transmisión era demasiado lenta, y la distancia a la que podíamos separar el emisor y receptor apenas superaba los cincuenta centímetros.

3.2 Desarrollo del prototipo y mejoras al código

3.2.1 Desarrollo del prototipo

Ante el inconveniente de la distancia máxima a la que podíamos transmitir y recibir, nos planteamos desarrollar unos prototipos más sofisticados con los que fuésemos capaces de transmitir entre los cuarteles de alumnos Marqués de la Victoria y A. Francisco Moreno (separados unos cincuenta metros de distancia) y entre las lanchas de instrucción (durante una navegación).

Superar estas pruebas era un objetivo ambicioso pero necesario si realmente deseábamos despertar interés con este proyecto. Y por ello, dedicamos dos semanas en desarrollar el prototipo, utilizando parte del tiempo para reunir el material y mejorar el código.

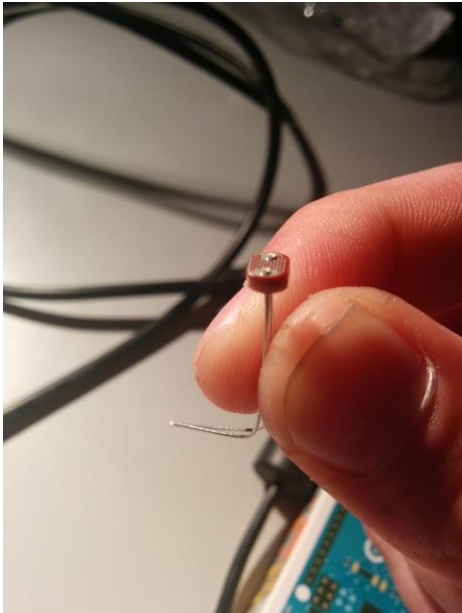


Figura 3-1 Fotorresistor inicial

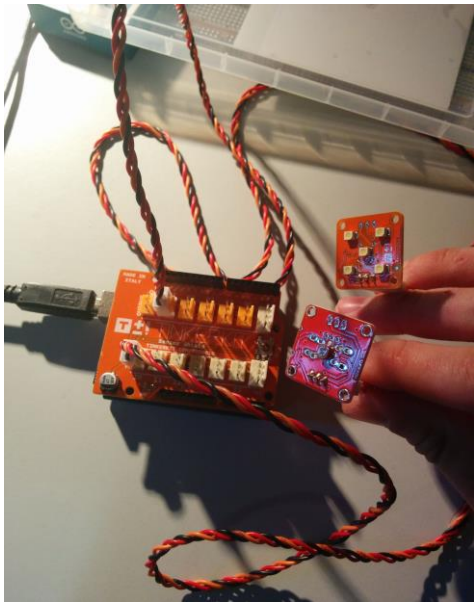


Figura 3-2 Placa con cinco fotodiodos (emisor) y placa con el fotorresistor (receptor) para el shield Tinkerkit

Para lograr superar estas pruebas necesitábamos un foco de luz distinto a la placa con cinco fotodiodos con la que contábamos, por lo que nos planteamos dotar a los aparatos con un láser y un foco halógeno cada uno (el láser permitiría una comunicación más directiva, útil para transmisiones en tierra, y el foco debería

valer para la prueba en las lanchas de instrucción, pues su poca directividad compensaría las limitaciones que existen navegando en cuanto a la dificultad de disponer de una plataforma estable desde la que enfocar los dos prototipos).

El proceso de fabricación no se detalla en esta memoria, pero sí se nombran individualmente cada uno de los componentes de los prototipos definitivos en el próximo capítulo.



Figura 3-3 Prototipos recién acabados (a falta de los relés para incorporar los focos halógenos)

3.2.2 Mejoras al código

En lo referente a la velocidad de transmisión, era evidente que para hacer nuestro proyecto interesante teníamos que conseguir que la comunicación con nuestro aparato fuese mucho más rápida y fiable que la que se da entre los operarios de la Armada que transmiten manualmente (hasta el momento estábamos emitiendo a esa velocidad “humana” y que podemos encontrar en algún ejercicio de Scott entre nuestras unidades, o incluso algo más lenta).

Pero a la hora de implementar mayores velocidades, nos percatamos de que ocurrían fenómenos que se escapaban de nuestro conocimiento. Por ejemplo, al disminuir los tiempos de destellos y silencios a la hora de transmitir, los fotorresistores presentaban ciertos retrasos. A veces, los ‘silencios’ se percibían más largos de lo que se suponía que debían ser (esto lo achacamos a que existe un retraso a la hora de accionar los relés) y otras, además del desfase anterior los destellos también aparecían más largos de lo que esperábamos (todo esto variaba según cuanto disminuíamos la ‘unidad’ de transmisión).

Ante esto, sin profundizar mucho más, nos limitamos a modificar el código a base de prueba y error; consiguiendo así introducir dos nuevos modos de transmisión: el NORMAL (cinco veces más rápido que el HUMANO que ya teníamos) y el AUTOMÁTICO (quince veces más rápido que el más lento de los tres).

Aunque es cierto, que también conseguimos interpretar algún carácter suelto al doble de rápido que el modo AUTOMÁTICO (pero a cuarenta veces más rápido que el modo HUMANO no conseguimos apreciar ni siquiera un destello corto o largo; incluso llegamos a creer que era imposible dotar a nuestros prototipos de esta velocidad de transmisión). Además, a mayores introdujimos unas líneas extra de código, para hacer que un LED se encendiese si en cualquier modo (distinto al de RECIBIR) se detectase algún destello. Este LED lo llamamos LED-chivato, pues sería el encargado de avisarnos de si el receptor está detectando o no destellos.

3.3 Pruebas y últimas mejoras al código y al prototipo

3.3.1 Pruebas

En esta fase solo vamos a comentar las pruebas de cierta relevancia que hemos hecho, pues durante todo el trabajo, conforme fuimos creando o modificando el código y el prototipo, hemos ido realizando sucesivas pruebas de menor envergadura (simplemente para comprobar que se podía compilar sin error, que el código cargaba bien en la placa, etc).

De manera que, de las pruebas realizadas, las que vamos a explicar aquí son:

- Transmisión a ‘distancia’ de todos los caracteres del código morse.
- Transmisión a distancia entre cuarteles de alumnos.
- Transmisión con focos halógenos a 15 metros.
- Transmisión entre lanchas de instrucción (navegando).

3.3.1.1 Transmisión a ‘distancia’ de todos los caracteres del código morse

Se trata de la primera prueba en la que separamos los dos prototipos contruidos a más de un metro. Nada más terminar de construirlos, los separamos 4 metros (de extremo a extremo de una habitación del cuartel de alumnos Marqués de la Victoria), y transmitimos con los láseres todos los caracteres del código morse. Para ello necesitamos utilizar por primera vez dos ordenadores distintos.



Figura 3-4 Imagen de uno de los prototipos recibiendo durante la prueba (el receptor estaba enfocado hacia el escritorio opuesto de la habitación, donde se encontraba el otro prototipo emitiendo)

Como resultado detectamos en un principio errores en tres caracteres (por fallos al escribir la parte del código que les correspondían), pero corregimos el código al instante y volvimos a transmitir, con éxito esa vez.

Por lo tanto, al finalizar la prueba teníamos la seguridad de que nuestros prototipos eran capaces de transmitir y recibir cualquier carácter del código morse sin ningún error, de manera que no volvimos a modificar desde entonces las librerías de código (referentes a la transmisión e interpretación de los caracteres) que habíamos generado.

3.3.1.2 Transmisión a distancia entre cuarteles de alumnos

Esta prueba supuso la primera transmisión a una distancia considerable. Se trata de hecho, la máxima distancia a la que hemos probado los prototipos.

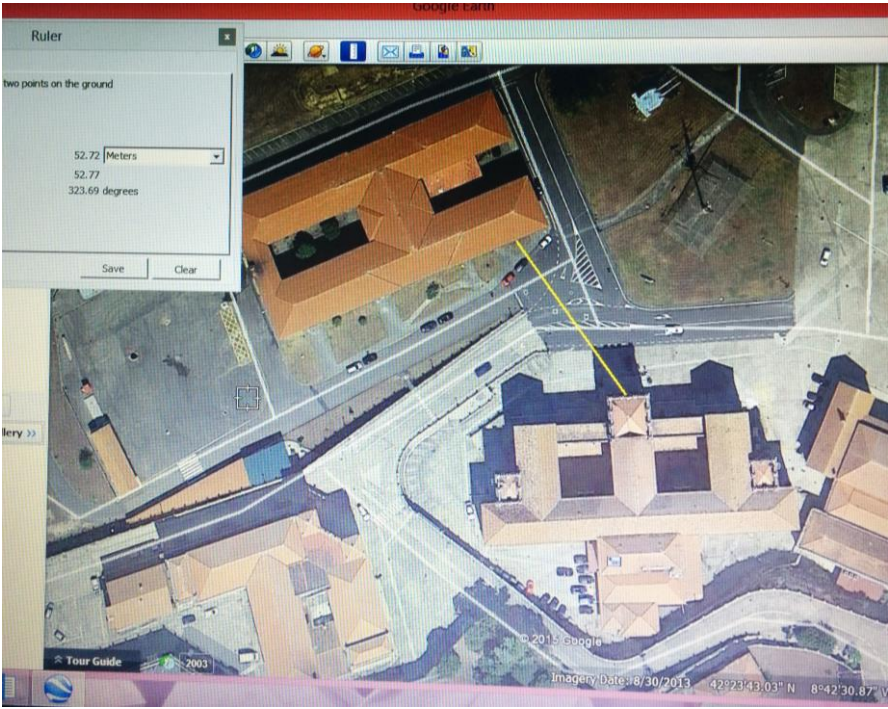


Figura 3-5 Captura de pantalla de Google Earth para medir la distancia a la que realizamos la prueba (algo más de 50 metros)



Figura 3-6 Imagen tomada durante la prueba entre cuarteles desde el balcón de la primera planta del cuartel de alumnos Marqués de la Victoria (en frente se aprecia el destello del láser con el que se estaba emitiendo)

Fuimos capaces de transmitir con el láser entre los dos cuarteles de alumnos (aproximadamente a unos cincuenta metros) en todos los modos que habíamos desarrollado hasta ese momento (de HUMANO a AUTOMATICO). Para ello, nos vimos obligados a efectuar la prueba de noche dado que con el láser de

baja potencia con el que transmitíamos (4,5 V) no éramos incapaces de enfocararlo durante el día (no se apreciaba el puntero).

Con esta prueba se hizo palpable que las únicas limitaciones de estos sistemas de comunicación son el alcance y la directividad de la fuente lumínica que se emplee.

3.3.1.3 Transmisión con focos halógenos a quince metros

Incorporamos los focos al prototipo y decidimos probarlos entre los extremos del ‘Hall’ del cuartel de alumnos Marqués de la Victoria (quince metros).

Inicialmente, volvimos a detectar varios problemas pero, tras implementar una serie de mejoras en el código, conseguimos graduar el código hasta ser capaces de transmitir sin errores a esa distancia con los focos en los modos HUMANO y NORMAL.

Tras esta comprobación de funcionamiento, los prototipos parecían estar listos para la última y más exigente prueba a bordo de las Lanchas de Instrucción.



Figura 3-7 Imagen tomada durante la prueba de los focos halógenos en ‘el Hall’ del cuartel de alumnos Marqués de la Victoria (al fondo, a unos quince metros, se aprecia otro foco sobre el otro prototipo, y a lado el otro ordenador)

3.3.1.4 Transmisión entre lanchas de instrucción (navegando)

De lejos se trata de la prueba más crítica a la que hemos enfrentado nuestros prototipos: por la dificultad de mantener ambos enfocados con los balances y cabezadas de cada lancha, por la multitud de luces a lo largo de toda la ría de Pontevedra, por las condiciones meteorológicas (llovió durante toda la prueba), etc.

Sin embargo, también es cierto que con ella no pretendíamos mostrar la operatividad de los prototipos, sino conseguir que fuesen los primeros (sobre los que se tiene constancia) en establecer una comunicación automatizada por morse mediante destellos de luz entre barcos.



Figura 3-8 Imagen de los ordenadores plastificados (un día después de la norturna)

Como es lógico antes de salir a la mar, comprobamos que los equipos funcionaban, pero la intensidad lumínica del ambiente era tal que no se apreciaban los destellos (atracasdas ambas lanchas a unos 40 metros entre nuestros equipos, el umbral aparecía graduado al 95%). Aún así, salimos a la mar, y lo empezamos a probar desde que empezó el ejercicio. En un principio, el umbral de detección seguía casi graduado al 40% y los receptores seguían sin detectar los destellos (distancias de 30 a 40 metros); pero aproximación tras aproximación, la graduación del umbral de detección disminuía, y al rondar el 31% de la intensidad lumínica máxima, comenzaron a detectarse los primeros caracteres sueltos.



Figura 3-9 Captura de pantalla de uno de los vídeos filmados durante las primeras aproximaciones

En este punto nos dimos cuenta de una dificultad añadida respecto a las transmisiones desde puntos fijos: era necesario regraduar el umbral de detección constantemente mientras las unidades abrían o cerraban distancias; pues con los focos, la intensidad lumínica que se recibía al ir cerrando distancias aumentaba exponencialmente (probablemente en transmisiones con láseres este problema no sería tan significativo).

Descubierto este inconveniente, durante la última aproximación regraduaros el umbral de detección al quedar las lanchas a velocidad constante (manteniendo distancia), y conseguimos transmitir y recibir la primera frase completa “E PRUEBA SOS RICHARD E” entre barcos (distancia unos treinta metros aproximadamente).



Figura 3-10 Imagen de uno de los destellos que se lograron transmitir durante esa última aproximación (distancia aproximada de unos 30 metros entre los dos prototipos; quizás más)

Dada la importancia de este hito, queremos dejar constancia de más datos: se realizó durante la nocturna del 26-FEB-2015, en la última pasada de un ejercicio de aproximaciones de remolque (18:30-19:30A) entre las lanchas GM Barrutia (emisora-buque a remolcar) y GM Salas (receptora-buque remolcador); a una distancia aproximada entre prototipos de treinta metros (en las valoraciones finales se adjunta una captura de pantalla del ejecutable PuTTY en la que se aprecia la frase que transmitió el emisor, y la que recibió el receptor).

Desgraciadamente, no tuvimos oportunidad de volver a probar los prototipos más entrada la noche, pues ya no realizamos más aproximaciones entre las dos unidades.

El resto de la nocturna lo dedicamos a recopilar fotos y vídeos de cara a la presentación de esta memoria, y a la exposición del trabajo.



Figura 3-11 Imagen de las últimas horas de la nocturna (la lancha que se aprecia no llevaba ninguno de los prototipos, se trataba de la GM Rull; una tercera lancha que también salió durante toda la nocturna)



Figura 3-12 Fotografía del autor del proyecto junto a uno de los prototipos durante la nocturna (se aprecia el aislamiento casero con bolsas de plástico y cinta aislante de los enchufes, y las gotas de lluvia sobre el prototipo)

3.3.2 Últimas mejoras al código

Para solucionar algunos problemas con las transmisiones en modo AUTOMÁTICO (no funcionaba siempre), se nos ocurrió la idea de graduar el umbral de detección según el máximo valor de intensidad lumínica que se recibe de los destellos. No podíamos haber dado con una solución mejor, pues al graduar el umbral al 90% de la intensidad de luz máxima a la que se apreciaban los destellos, el modo AUTOMÁTICO ya no daba fallos (con el láser); aunque aún no habíamos averiguado el por qué.

3.3.2.1 Estudio del fotorresistor

Creamos un nuevo programa con el que leer valores del fotorresistor. Una vez hecho el código, lo cargamos en la placa y lo ejecutamos mientras iluminábamos al prototipo con una serie de destellos cortos, de manera que el receptor nos diese valores, cada veinte milisegundos, de la intensidad lumínica que recibía.

Con los resultados obtenidos desarrollamos dos tablas que mostramos a continuación. Una con los valores obtenidos de destellos del láser y la otra con los obtenidos con el foco.

Antes de explicar las gráficas es conveniente indicar que un fotorresistor consiste en una resistencia (o resistor) variable según la cantidad de radiación electromagnética de alta frecuencia que reciba (por alta frecuencia se entiende la que posee la luz visible, o superior). Es decir, conforme más luz incida sobre nuestro fotorresistor, mayor corriente dejará pasar. Por esto, los valores que leemos oscilan entre 0 y 1023 (siendo 0 la condición de máxima oscuridad, y 1023 la de máxima intensidad lumínica) [27].

Dicho esto, procedamos a interpretarlas.

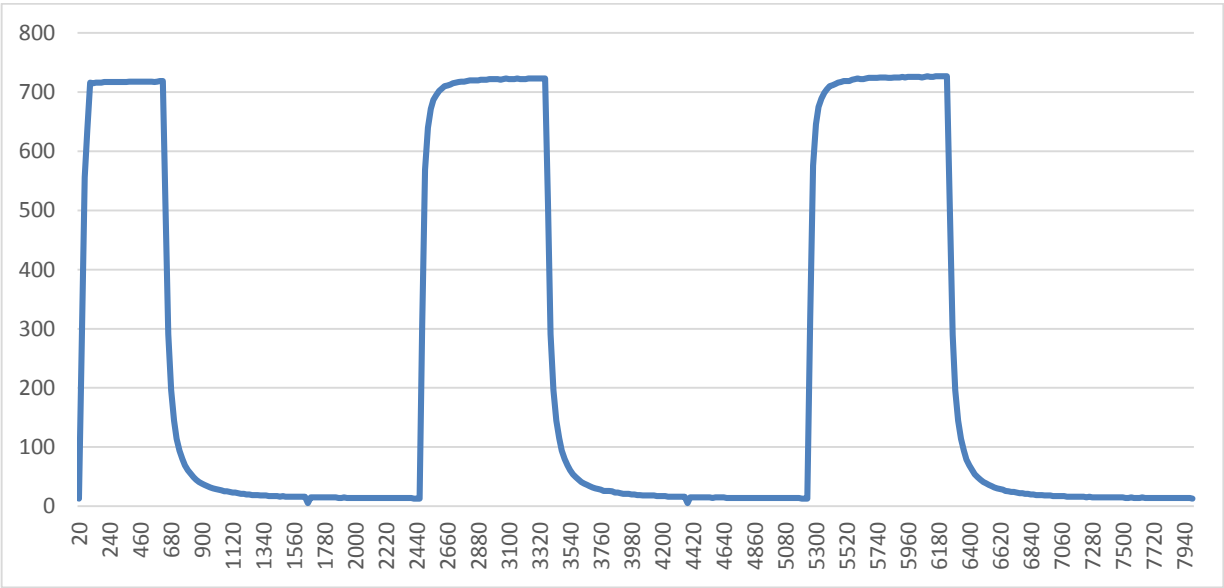


Tabla 3-1 Gráfica de los valores del fotorresistor obtenidos tras iluminarlo con destellos de uno de los láseres

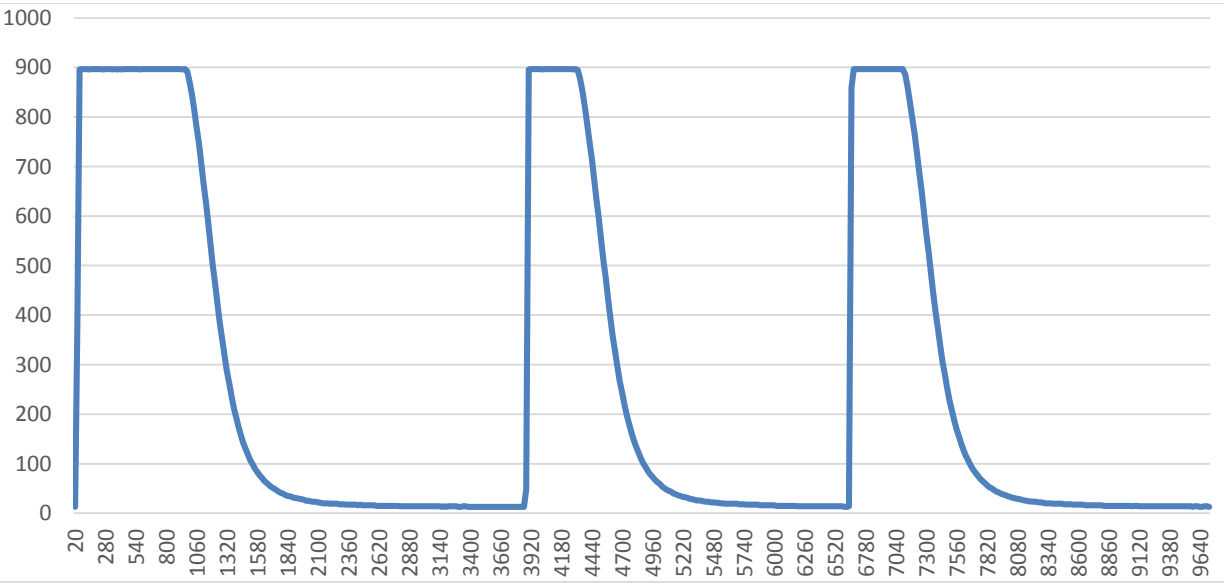


Tabla 3-2 Gráfica de los valores del fotorresistor obtenidos tras iluminarlo con destellos de uno de los focos

De estas gráficas podemos deducir rápidamente:

- En primer lugar, que el receptor no reacciona de manera instantánea a la luz, sino que necesita de cierto tiempo para acostumbrarse a ella (o a la oscuridad).
- En segundo lugar, que aproximadamente 200 unidades por encima del valor de intensidad lumínica del ambiente, la velocidad de ‘adaptación’ del fotorresistor se ralentiza mucho.
- En tercer lugar, que también aproximadamente a partir del 90% del valor máximo de intensidad del destello, la velocidad a la que aumentan los valores que se leen también disminuye considerablemente (se aprecia mejor en la gráfica de los destellos hechos con el láser).
- Por último, se aprecia una diferencia entre las dos gráficas, y es que en la curva de los valores obtenidos con el foco, la velocidad a la que el receptor se acostumbra a la oscuridad es menor. Este hecho lo asociamos a que la bombilla halógena del foco no es tan ‘instantánea’ como lo es la del láser, lo que hace que se apague ‘poco a poco’, produciendo en el receptor un desfase mayor respecto al momento en el que dejamos de alimentarlo eléctricamente.

De todo esto, deducimos que el destello óptimo debe infligir en el receptor un incremento de más de 300 unidades respecto al valor de intensidad lumínica ambiente y que resulta mucho más eficiente graduar el umbral de detección respecto a la intensidad recibida de los destellos que de la recibida del entorno (el desfase, entre el momento en el que dejamos de alimentar eléctricamente el láser o el foco, y el que los valores que se leen de receptor caigan por debajo del umbral de detección, será menor cuanto más elevemos dicho umbral).

Sin embargo, comparando las gráficas con las mejoras que habíamos implementado sobre el código AUTOMÁTICO, respecto al aumento del tiempo de los ‘silencios’ que se obtiene, no podemos negar la hipótesis de que se deba a un retraso a la hora de accionar los relés (teóricamente, estudiando las gráficas no se predice un aumento de los tiempos de los silencios pero la experiencia a la hora de transmitir a esta velocidad nos dice lo contrario).

Por lo tanto, ya que no se nos ha ocurrido ningún otro motivo razonable que pueda causar este efecto, decimos que a estas velocidades de transmisión el desfase que existe por accionamiento de los relés, y que provoca que los ‘silencios’ entre destellos se vean prácticamente duplicados, nos obliga a efectuar ciertas graduaciones sobre el código (para compensar dichos desfases, lo que hicimos simplemente fue duplicar el tiempo de los ‘silencios’ que se suponían que debían recibirse).

Tras todo este estudio, nos sentimos capaces de aumentar la velocidad de transmisión del modo AUTOMÁTICO de quince a veinte veces la del modo HUMANO. A su vez, nos propusimos crear un nuevo modo de transmisión que duplicase la velocidad del AUTOMÁTICO.

3.3.2.2 Modo de transmisión ULTRA RÁPIDO

Al tratar de transmitir cuarenta veces más rápido que la velocidad del modo HUMANO (el doble que la del nuevo modo AUTOMÁTICO), nos encontramos con la necesidad de realizar nuevas modificaciones sobre el código.

Los ‘silencios’ seguían siendo mayores a los supuestos, pero no aumentaban proporcionalmente al duplicar la velocidad anterior. Sin embargo, los destellos se apreciaban mucho más largos. Esto lo asociamos al desfase que se aprecia en las gráficas en cuanto a la velocidad a la que el fotorresistor se acostumbra de nuevo a la ‘oscuridad’. Suponemos que a velocidades tan altas, los primeros desfases que aumentan los tiempos de los ‘silencios’, se ven ahora en parte compensados con estos otros que aumentan los tiempos de los destellos.

En base a esto, fuimos modificando y comprobando el código hasta que logramos implementar la graduación necesaria para transmitir en este nuevo modo al que llamamos ULTRA RÁPIDO.

Con esto dimos por concluidas las mejoras del código respecto a transmisiones con el láser.

3.3.2.3 Graduar el código para recibir con focos halógenos

Decidimos graduar los dos modos más lentos (HUMANO y NORMAL), pues con los otros modos, tras varios intentos fallidos tratando de graduar el código, llegamos a la conclusión de que quizás podía tratarse de una limitación física y no de un defecto del código (dados los desfases de la bombilla halógena a la hora de apagarse).

Además, necesitábamos más estudios sobre los componentes de nuestro prototipo para graduar los otros dos modos de transmisión (no solo más estudios de los fotorresistores, sino también de los relés). Por ello, optamos por limitarnos a nombrar estas mejoras como futuras líneas de trabajo).

Las únicas graduaciones que implementamos respecto al uso de los focos, consisten en dar la opción de seleccionar si se va a recibir destellos de un láser o un foco, para así aplicar una compensación extra respecto a los tiempos de los ‘silencios’ en los casos en los que seleccionemos que vamos a recibir destellos de este tipo de fuente lumínica (estos desfases vuelven a ser casi el doble de lo que deberían, con la diferencia de que esta compensación se aplica en los dos modos lentos).

3.3.2.4 Resumen de las últimas mejoras del código

Como resultado de todo el trabajo realizado sobre el código desde que empezamos el proyecto, conseguimos:

- Cuatro modos de trabajo distintos (ESCRIBIR, TRANSMITIR, GRADUAR y RECIBIR). Para pasar de uno a otro basta con pulsar unas series de teclas determinadas (el procedimiento para uso del código se explica en el anexo IV).
- Cuatro modos de transmisión para usar con los láseres (HUMANO, NORMAL, AUTOMÁTICO y ULTRA RÁPIDO) y dos para usar con los focos halógenos (HUMANO Y NORMAL; en realidad se puede transmitir con los focos en modos AUTOMÁTICO y ULTRA RÁPIDO, pero el código no está graduado para recibir los destellos a esta velocidad de transmisión).
A mayores, un LED se enciende si mientras ejecutamos el código (en cualquier modo excepto a la espera de destellos en modo RECIBIR) se detecte algún destello.

Este código definitivo dispone de 1388 líneas y está añadido como documento adjunto (explicado) a esta memoria.

3.3.3 Últimas mejoras al prototipo

Respecto a las mejoras que añadimos al prototipo que habíamos construido en la fase anterior, solo cabe mencionar los focos que incorporamos cuando nos llegaron los últimos relés que habíamos encargado.

Sin embargo, sí que planteamos otras dos mejoras que no llegamos a implementar por diversos motivos, y que son:

- Añadir un teclado alfa-numérico, una pantalla LCD y una batería a las placas de Arduino (finalmente se consideró más práctico operar los prototipos desde un ordenador, por calidad en la visualización y porque el cable USB nos permite trabajar con ellos desde una posición más resguardada).
- Añadir una tarjeta SD donde almacenar los textos transmitidos o recibidos (la única manera de guardar los textos que transmitíamos o recibíamos, era hacer capturas de pantalla de lo que iba apareciendo en la pantalla del ejecutable PuTTY o no cerrar jamás dicha ventana). Por falta de tiempo y por no tratarse de ninguno de los objetivos propuestos inicialmente, no llegamos a implementar esta mejora.

Al final de esta memoria se nombran otras mejoras de mayor envergadura y que no hemos realizado por no disponer de más tiempo. Se plantean en el último capítulo como posibles líneas de trabajo futuras, relacionadas con este trabajo.

4 PROTOTIPO FINAL

En este capítulo detallamos cada uno de los componentes del prototipo que hemos construido, con el objetivo de que cualquier persona pueda fabricar el mismo u otro de las mismas características.

A continuación añadimos un listado de los componentes:

1. Placa de Arduino Uno.

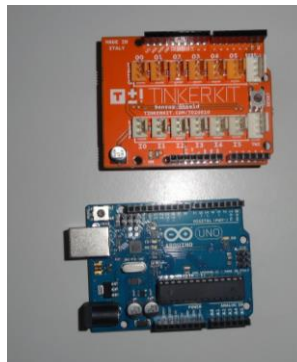


Figura 4-1 Imagen de una de las placas de Arduino Uno (abajo) junto al shield Tinkercat (arriba)

2. Shield Tinkercat para placa de Arduino Uno.

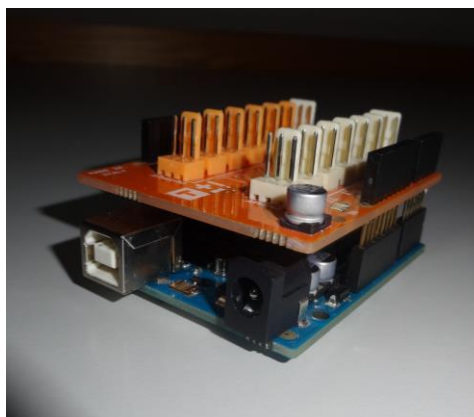


Figura 4-2 Imagen del shield Tinkercat acoplado sobre la placa de Arduino Uno

- 3. Cables para el shield (3: 1 para relé que activa el láser, 1 para relé que activa el foco halógeno y 1 para el fotorresistor).



Figura 4-3 Imagen de uno de los cables del shield Tinkerkit

- 4. Cables para el LED.

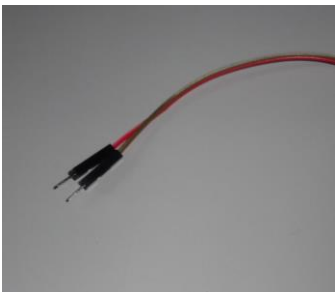


Figura 4-4 Imagen del extremo macho de los cables que conectan el LED-chivato con el shield Tinkerkit

- 5. Fotorresistor de tres pines.

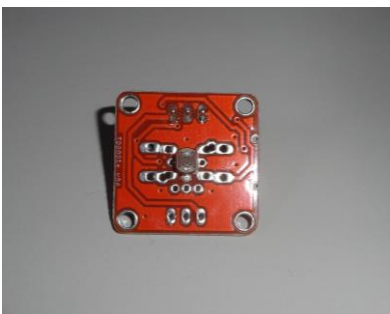


Figura 4-5 Imagen Frontal del fotorresistor de tres pines

- 6. Caja para Arduino Uno y el shield (la función de esta caja es dar una protección extra a la placa principal y el shield, aunque nos vimos obligados a recortarla para que pudiesen entrar ambas).



Figura 4-6 Imagen de la caja para Arduino con la placa principal y el shield (apreciese el recorte que se le hizo)

7. Relés (2: 1 para el láser y 1 para el foco).

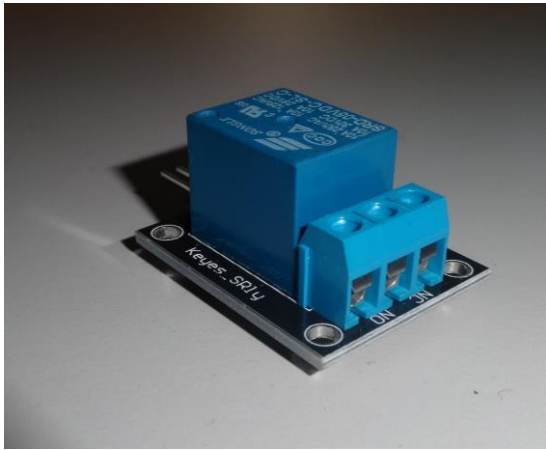


Figura 4-7 Imagen de uno de los relés que utilizamos

8. Caja de plástico de aproximadamente 34x21,5x13 cm (oscurecida con cinta aislante negra).



Figura 4-8 Imagen del protoripo final (se muestra junto a una regla de treinta centímetros)

9. Tubo de PVC de unos 50 cm (diámetro exterior 7.5cm; diámetro interior 6.8cm).



Figura 4-9 Imagen en la que aparece un tubo de PVC incorporado en uno de los prototipos (derecha) y otro del mismo tipo suelto (derecha)

10. Lupa/concentrador de luz + tubo de cartón (de papel higiénico) + alambre para fijación (se le ha añadido un cartón para que soporte el fotorresistor). Tuvimos la suerte de que su saliente cilíndrico se ajusta perfectamente a uno de los diámetros estándar de tubos de PVC.

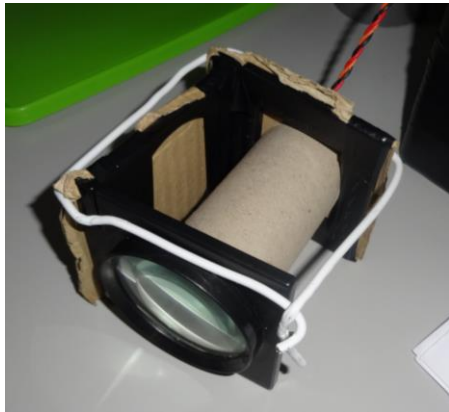


Figura 4-10 Imagen en la que se muestra el módulo de la lupa (lupa + refuerzo de cartón + cilindro de cartón para oscurecer el fotorresistor + alambre para fijación)

11. Láser de tres pilas de botón (4,5V) + interruptor de botón.



Figura 4-11 Imagen del láser con sus tres pilas de botón y su tapa (se aprecia saliendo del prototipo, la tapa-interruptor que une al láser a su relé correspondiente)

12. Alargadera para el foco + acople para el relé.



Figura 4-12 Imagen en la que entre la maraña de cables podemos diferenciar el relé (envuelto en cinta aislante negra) que conecta y desconecta la alargadera que da una vuelta sobre el tubo de PVC

13. Foco halógeno de 220V (400W); y su correspondiente cable con enchufe macho.



Figura 4-13 Imagen de uno de los focos halógenos que hemos utilizado junto a su caja

14. LED-chivato.



Figura 4-14 Imagen en la que se aprecia el LED-chivato que sobresale de la caja de uno de los prototipos



Figura 4-15 Imagen de uno de los prototipos abierto (se aprecia el láser suelto a la derecha del tubo de PVC)

4.1 Precio del prototipo

MATERIAL	PRECIO (aprox.)
Placa de Arduino Uno	20€
Shield TINKERKIT	10€
Cables para el shield (3)	2€
Cables para el LED	1€
Fotorresistor de tres pines	5€
Caja para Arduino	10€
Relés (2: 1 para el láser y 1 para el foco)	10€
Caja de plástico (aproximadamente 34x21,5x13)	4€
Tuvo de PVC de 50 cm (diámetro interior 6.8cm y diámetro exterior 7.5cm)	2€
Lupa/concentrador de luz + tuvo de cartón (de papel higiénico + alambre para fijación)	4€
Láser de tres pilas de botón (4,5V) + interruptor con cable	30€
Alargadera para el foco + acople para el relé	5€
Foco halógeno de 220V (400W) + cable con enchufe macho	12€
LED-chivato	0,20€
Cinta aislante negra	1,80€
TOTAL	117€

Tabla 4-1 Coste de cada elemento de los prototipos, y coste total del conjunto



Figura 4-16 Imagen frontal de uno de los prototipos (a través del tubo tras la lupa se aprecia el fotorresistor)

5 VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

Estos dos meses de trabajo e investigación acerca de métodos de comunicaciones visuales, y en especial del sistema morse mediante destellos de luces, se pueden resumir en el código y los prototipos que hemos desarrollado. A su vez, las dos pruebas más exigentes que nos planteamos, reflejan por sí solas lo que pretendíamos con este proyecto, que era demostrar que sí es posible crear un sistema automatizado de comunicación por morse mediante destellos de luz, viable y que ofrezca numerosas ventajas frente a los medios de comunicación por radio que se usan actualmente.

Por un lado, con la prueba (superada con éxito) en tierra de transmisión con un láser de 4,5V, a unos cincuenta metros de distancia y cuatro velocidades distintas, refleja perfectamente las ventajas que ofrece sobre transmisiones con focos (mayor discreción, mayor distancia de transmisión a menor potencia requeridas, comunicaciones más seguras, etc). Además, de ella se deduce que el límite de estos sistemas varía según el alcance que tenga el láser, con el máximo posible del horizonte visible (obviamente, la visibilidad afectará a dicho alcance).

Y por otro lado, con la prueba que realizamos navegando a bordo de las lanchas de instrucción, más allá de demostrar que es posible implantar estos sistemas en unidades de la Armada, es un hito notable pues se trata ni más ni menos de la primera transmisión mediante un sistema automatizado de comunicación por morse mediante destellos de luz, hasta donde podemos saber.

No obstante, es cierto que existen factores que afectan estos sistemas negativamente, como lo son la dependencia de la visibilidad, el alcance de las fuentes lumínicas con las que se emita, las dificultades que plantea mantener los dispositivos de emisor y receptor apuntados, la necesidad de graduar periódicamente el umbral de detección (sobre todo cuando la distancia entre emisor y receptor varía apreciablemente), etc. Ante estas limitaciones, si bien nuestros prototipos funcionan, no podemos negar que aún no están preparados para ser implantados en unidades operativas. Queda, por tanto, un largo trabajo hasta lograrlo.

Como valoración general, pese a que consideramos que con nuestro trabajo hemos demostrado sobradamente la viabilidad de implantar estos sistemas de comunicación entre nuestras unidades, serán los trabajos y estudios que se sigan realizando al respecto los que determinen cuando podamos encontrarlos implantados en ellas. A continuación, en el siguiente apartado se incluirán una serie de líneas de mejora sobre las que recomendamos que se continúe trabajando.

Para terminar con este apartado, ya que se dice que una imagen vale más que mil palabras, mostramos a continuación las capturas de pantalla del ejecutable PuTTY tras realizarse la primera transmisión y recepción automatizada entre buques con este tipo de sistemas (a una distancia aproximada de unos treinta metros).

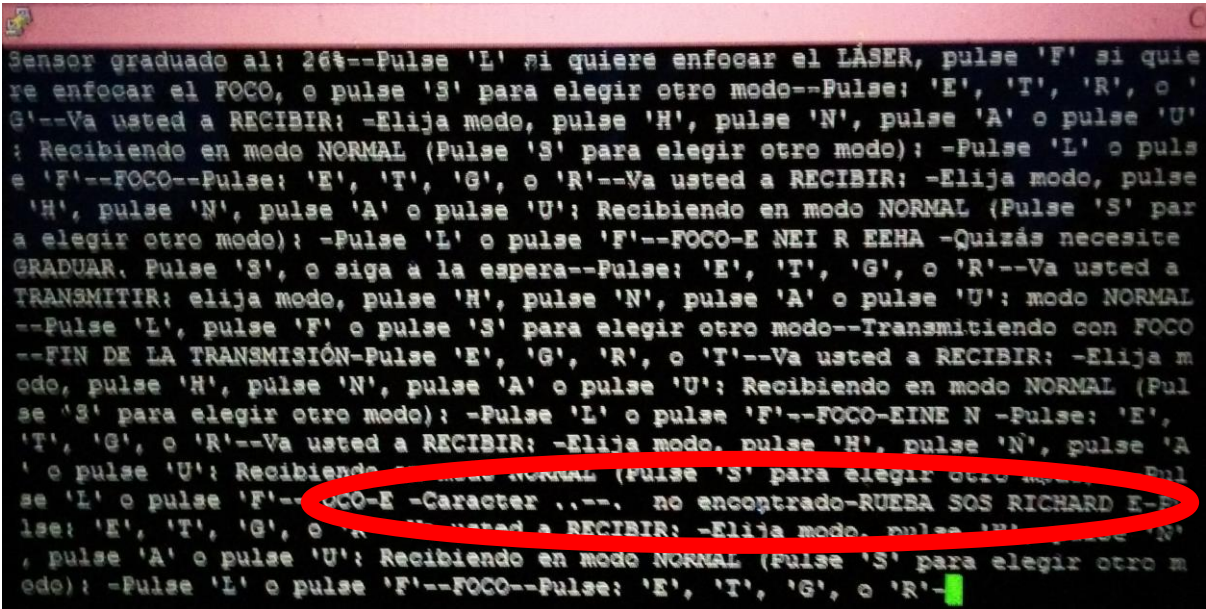


Figura 5-1 Captura de pantalla del ejecutable PuTTY tras recibir la primera frase que se transmite con este tipo de sistemas entre buques: E PRUEBA SOS RICHARD E (se aprecia que no se reconoce el carácter aunque es obvio que se refiere a una ‘P’ que en morse es ---.)

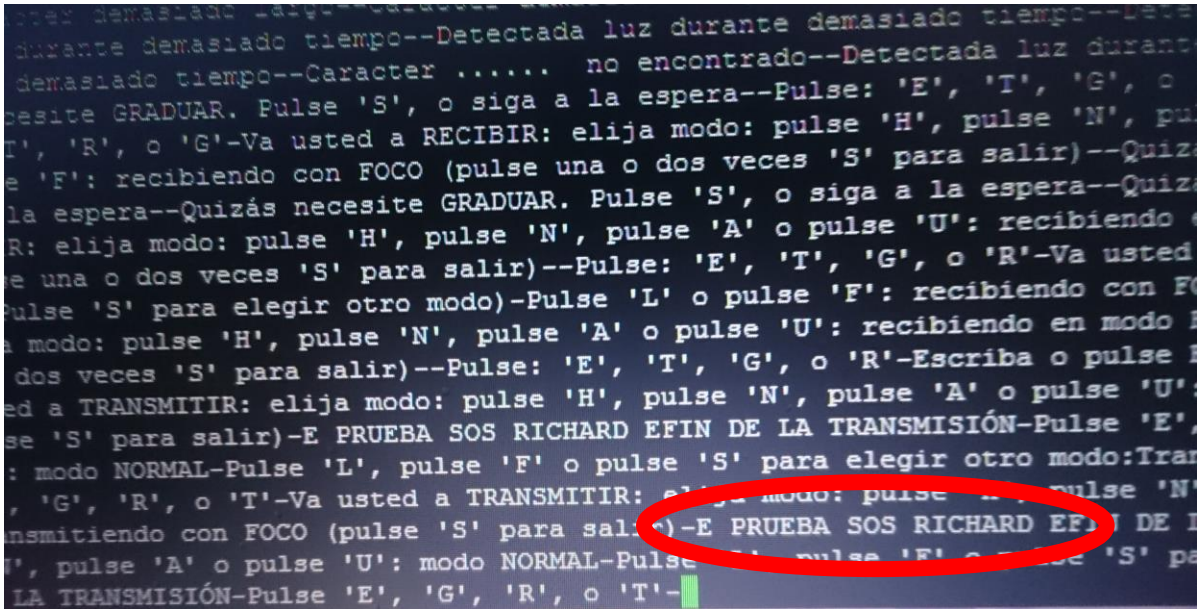


Figura 5-2 Captura de pantalla del ejecutable PuTTY tras transmitir la mencionada primera frase

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Si se revisan los objetivos que planteamos en la introducción de este trabajo, se comprueba que se han alcanzado con éxito cada una de las metas que se propusieron:

- Hemos desarrollado un código que nos permite: escribir, transmitir, graduar el umbral de detección y recibir de manera automatizada. Además, también hemos implementado cuatro velocidades de transmisión distintas (que suponen una ventaja significativa respecto a la que pueden ofrecer cualquier pareja de operarios manualmente) y un LED que se enciende cuando se detecta un destello (si no nos encontramos recibiendo o a la espera del primer destello), que nos avisa de si debemos pasar al modo RECIBIR para no perdernos ninguna transmisión.
- Hemos logrado fabricar dos prototipos (iguales) de fácil uso y robustos, capaces de transmitir tanto con un láser como con un foco.
- Se han superado con éxito las pruebas que inicialmente se plantearon, tanto en tierra (entre cuarteles de alumnos a unos cincuenta metros, con los láseres) como navegando (entre las Lanchas de Instrucción a algo más de treinta metros, con los focos; habiendo tenido que trabajar bajo la lluvia, viento, movimientos constantes por balance y cabezada, etc).

Por lo tanto, consideramos que hemos demostrado la viabilidad en lo que se refiere a la automatización de este tipo de comunicación visual. Es posible desarrollar estos sistemas, son capaces de establecer comunicaciones entre barcos navegando y sabemos que nos ofrecen comunicaciones más seguras, discretas y fiables (respecto a la comunicación por radio). Además, con la última prueba a bordo de las lanchas de instrucción, creemos haber sido los primeros en establecer entre buques una comunicación automatizada por morse mediante destellos de luz. Esperamos que este hecho despierte el interés necesario para que se siga desarrollando esta tecnología (no hemos conseguido encontrar nada parecido que se haya conseguido hasta el momento).

Y no podemos pasar por alto el hecho de que existe un amplio campo de mejora sobre nuestros prototipos, pues de seguir evolucionando, en uno o dos años quizás podríamos estar hablando sobre equipos autoenfocables que transmiten en binario con un ancho de banda inmensamente mayor al que podrían ofrecer simultáneamente todos los sistemas de comunicación de cada unidad (comunicaciones hacia el exterior).

Por todo ello, a continuación y para terminar con esta memoria, proponemos tres posibles líneas de trabajo futuras:

1. Diseño y creación de una plataforma de estabilización y autoenfoco, que soporte un sistema de comunicación por luz láser.
2. Mejoras al presente Trabajo de Fin de Grado consistentes en:
 - Modificación del código, para permitir que el umbral de detección se autogradúe periódicamente o al detectar variaciones significativas en la intensidad lumínica de los destellos que se reciben (necesario para que la graduación del umbral sea totalmente automática).
 - Estudio más exhaustivo del comportamiento de los fotorresistores, relés, láseres, focos y otros focos lumínicos.
 - Implantación de un láser de mayor potencia, pero graduable en función de la distancia al receptor. Además, del correspondiente estudio comparativo con otros láseres que no supongan riesgos para la salud, en lo referente a la disminución de la peligrosidad del uso del primero al graduar la potencia de transmisión según la distancia (interesante de cara al cumplimiento de normativas).

Desarrollar un terminal propio que reciba las señales de la placa de Arduino, y que reconozca vocales con tilde, la letra 'Ñ' y otros caracteres, con el objetivo de ampliar las librerías de morse de nuestro prototipo para posibilitarle la escritura, transmisión y recepción de textos sin faltas de ortografía (además de desarrollar el terminal, esta fase también consiste en una ampliación del código morse para adaptarlo al Castellano). Característica importante de este terminal sería el hecho de que permitiese guardar todo lo recibido o transmitirlo de manera cómoda y sencilla.
3. Desarrollar un nuevo código para transmitir con los prototipos en binario. Con los objetivos de lograr transmitir una imagen, archivo de audio (o conversación en directo, desarrollando así un teléfono inalámbrico), etc. Este trabajo requeriría un aumento considerable de la velocidad de transmisión.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Wikipedia,» [En línea]. Available: es.wikipedia.org/wiki/Telégrafo_óptico. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [2] [En línea]. Available: www.adimde.es/itsastek/codigos.htm. [Último acceso: 21 FEB 2015].
- [3] «Wikipedia,» [En línea]. Available: en.wikipedia.org/wiki/Signal_lamp. [Último acceso: 21 FEB 2015].
- [4] «Wikipedia,» [En línea]. Available: en.wikipedia.org/wiki/Samuel_Morse. [Último acceso: 21 FEB 2015].
- [5] [En línea]. Available: www.omniglot.com/writing/morsecode.htm. [Último acceso: 21 MAR 2015].
- [6] [En línea]. Available: es.dreamstime.com/imagenes-de-archivo-código-morse-image23214004. [Último acceso: 21 FEB 2015].
- [7] [En línea]. Available: <https://solaris525.wordpress.com/tag/telegrafo/>. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [8] «Primera implantación de un sistema de comunicación por radio en un buque,» [En línea]. Available: www.mgar.net/mar/ondas.htm. [Último acceso: 21 FEB 2015].
- [9] «Oficina Española de Patentes y Marcas,» [En línea]. Available: www.oepm.es/es/index.html. [Último acceso: 21 FEB 2015].
- [10] [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=JY-YhEpVYpM>. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [11] [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=thhruUu1zJk>. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [12] [En línea]. Available: www.telegraph.co.uk/technology/news/11415360/Researchers-develop-100Gbps-light-based-wireless-network.html. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [13] [En línea]. Available: en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [14] [En línea]. Available: <https://www.maxmanroe.com/apa-itu-li-fi-teknologi-yang-digadang->

- gadang-menggantikan-wi-fi.html. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [15] [En línea]. Available: <http://www.bittech.mx/temas/un-fsico-desarrolla-una-tecnologa-para-transmitir-informacin-con-luz>. [Último acceso: 22 FEB 2015].
- [16] [En línea]. Available: cnnespanol.cnn.com/2012/09/30/li-fi-internet-inalambrico-a-traves-de-la-luz/. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [17] «AENOR,» [En línea]. Available: http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042062#.VPghavmG_X1. [Último acceso: 25 FEB 2015].
- [18] [En línea]. Available: www.fotosadr.com/senales/paginas/PRL%20PELIGRO%20atencion%20radiaciones%20laser.htm. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [19] [En línea]. Available: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_654.pdf. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [20] [En línea]. Available: [www.carm.es/web/pagina/pagina?IDCONTENIDO=9145&IDTIPO=100&RASTRO=c247\\$m](http://www.carm.es/web/pagina/pagina?IDCONTENIDO=9145&IDTIPO=100&RASTRO=c247$m). [Último acceso: 25 FEB 2015].
- [21] [En línea]. Available: www.camaravigo.com/dmdocuments/REAL%20DECRETO%201468_1988.pdf. [Último acceso: 25 FEB 2015].
- [22] [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=7gz5OoTFxD8>. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [23] «Arduino,» [En línea]. Available: <http://arduino.cc/en/Main/Software>. [Último acceso: 05 MAR 2015].
- [24] «Arduino,» [En línea]. Available: <http://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 05 MAR 2015].
- [25] [En línea]. Available: arduino.cc/en/Trademark/CommunityLogo/. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [26] «Ejecutable PuTTY,» [En línea]. Available: <http://es.kioskea.net/download/descargar-395-putty>. [Último acceso: 05 MAR 2015].
- [27] «Receptores de luz,» [En línea]. Available: www.monografias.com/trabajos-ppt2/receptores-luz/receptores-luz.shtml. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [28] «Wikipedia,» [En línea]. Available: es.wikipedia.org/wiki/Código_morse. [Último acceso: 24 FEB 2015].
- [29] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].
- [30] J. Rodríguez y V. Fernández, Cómo redactar el estado del arte de un trabajo, Editorial Genios, 2010.
- [31] P. Martínez y A. García, Cómo escribir una buena memoria de TFG, Publicaciones del 2000, 2013.

- [32] A. Pérez, Cómo escribir una bibliografía, Nuevas publicaciones.
- [33] «Notepad,» [En línea]. Available: <http://notepad-plus-plus.org/download/v6.7.4.html>. [Último acceso: 02 FEB 2015].
- [34] [En línea]. Available: www.proel.org/index.php?pagina=alfabetos/morse. [Último acceso: 02 FEB 2015].
- [35] «Información sobre medidas y tipos de láseres,» [En línea]. Available: consumo-inc.gob.es/seguridad/informacion/informaciones/laser.htm. [Último acceso: 22 FEB 2015].
- [36] «Descargar Real Decreto sobre medida general de los productos,» [En línea]. Available: www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-511. [Último acceso: 22 FEB 2015].
- [37] «Wikipedia-Arduino,» [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Último acceso: 22 FEB 2015].
- [38] «¿Qué es Arduino?,» [En línea]. Available: <https://proyectoarduino.wordpress.com/?que-es-arduino/>. [Último acceso: 22 FEB 2015].
- [39] «Telegrafos visuales,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WrNDeYjcCJA>. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [40] «Semaphore line,» [En línea]. Available: en.wikipedia.org/wiki/Semaphore_line. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [41] «Telegrafía óptica,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=sk9f43Fszto>. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [42] «Patente de teclado para comunicaciones telegráficas y buen trabajo de investigación sobre morse y telegrafía,» [En línea]. Available: www.ccapitalia.net/descarga/docs/1944-castillejo-telegrafia-rapida-musica-electrica.pdf. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [43] [En línea]. Available: www.fuencaliente.net/telegrafo_archivos/telegrafo3.htm. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [44] [En línea]. Available: www.ub.edu/geocrit/sn/sn-137.htm. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [45] «Trabajo de telegrafía óptica en España,» [En línea]. Available: www.tfo.upm.es/docencia/2007-08/FELC/telegrafia-optica.pdf. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [46] [En línea]. Available: www.coit.es/foro/pub/ficheros/historia_de_la_telegrafia_optica_en_espana_d69d1c35.pdf. [Último acceso: 01 MAR 2015].
- [47] «Intranet-Armada,» [En línea]. Available: <http://www.fn.mdef.es/>. [Último acceso: 24 FEB 2015].
- [48] «Intranet-Ministerio de Defensa,» [En línea]. Available: <http://intra.mdef.es/>. [Último acceso: 24 FEB 2015].
- [49] M. B. c.-f. o. Arduino, Getting Started with Arduino, O'REILLY, 2012.

ANEXO I: PROCEDIMIENTO DE COMUNICACIÓN CON EL PROTOTIPO

PROCEDIMIENTO DE COMUNICACIÓN DIRECCIONAL:

-FASE DE ESTABLECIMIENTO-

EMISOR:

‘EEEEEEEE...’ //TRANSMITE UNA SERIE DE ‘E’ PARA INDICAR QUE TIENE INTENCIÓN DE TRANSMITIR (HASTA LA RESPUESTA DEL RECEPTOR; SI NO RECIBE DICHA RESPUESTA, REPETIRÁ ESTA SEÑAL CON INTERVALOS COMO MÍNIMO DE DIEZ SEGUNDOS)//

RECEPTOR:

‘AAAAAAA...’ //TRANSMITE OTRA SERIE DE ‘A’ PARA INDICAR QUE ESTÁ A LA ESCUCHA//

-FASE DE TRANSMISIÓN-

EMISOR:

ESPERA UN MÍNIMO DE UNOS DIEZ SEGUNDOS DESDE QUE EL RECEPTOR TRANSMITA SU ÚLTIMA ‘E’ (PARA DARLE TIEMPO A CAMBIAR A MODO RECIBIR), Y COMIENZA A TRANSMITIR SEGÚN ESTA SECUENCIA (RECEPTOR CAMBIA AL MODO MENCIONADO):

-INICIO-

(DESTELLO DE DOS SEGUNDOS Y SILENCIO DE TRES SEGUNDOS AUTOPROGRAMADO PARA QUE EL RECEPTOR GRADUE SU SENSOR A LA INTENSIDAD LUMÍNICA DE LOS DESTELLOS QUE RECIBE).

‘EEEEEE’ //CINCO ‘E’ PARA INDICAR INICIO DE MENSAJE//

-MENSAJE-

‘DE XXX’ //DISTITIVO DEL EMISOR (OPCIONAL)//

‘XXXXXXXX...’ //TEXTO//

‘K’ //OVER (OBLIGATORIO PARA FORZAR AL RECEPTOR A QUE NOS DE EL RECIBIDO)//

-FIN-

‘EEEEEE’ //CINCO ‘E’ PARA INDICAR FIN DE MENSAJE

RECEPTOR: AL RECIBIR LAS CINCO ‘E’ INDICATIVAS DE FIN DE LA TRANSMISIÓN, EMITE (PASA A MODO TRANSMITIR):

1. SI EL RECEPTOR PERDIÓ ALGUNA PARTE DEL MENSAJE QUE LE IMPIDE INTERPRETARLO ADECUADAMENTE

‘EEEE’ //CINCO ‘E’ PARA INDICAR QUE HA HABIDO UN ERROR AL RECIBIR EL MENSAJE (NO ES NECESARIO ESPERAR AL FINAL DE LA TRANSMISIÓN PARA ENVIAR LA SEÑAL DE ERROR).

SI EL EMISOR NO SE PERCATA, SE RETRANSMITIRÁ LA SEÑAL CON INTERVALOS MÍNIMOS DE UNOS DIEZ SEGUNDOS//

A CONTINUACIÓN:

EMISOR:

‘RRRRR’ //TRANSMITE CINCO ‘R’ PARA DAR EL RECIBIDO.

ESPERA MÍNIMO UNOS DIEZ SEGUNDOS (PARA DARLE TIEMPO AL RECEPTOR A CAMBIAR A MODO RECIBIR), Y RETRANSMITE EL MENSAJE DESDE LAS CINCO ‘E’ QUE MARCAN EL INICIO DE ESTE (EMISOR SIGUE EN MODO TRANSMITIR Y EL RECEPTOR VUELVE AL DE RECIBIR)//

2. SI RECIBIÓ TODO EL MENSAJE SIN PROBLEMAS

‘RRRRR TTTT’ // SI NO TIENE INTENCIÓN DE TRANSMITIR NADA, CINCO ‘R’ MÁS CINCO ‘T’ PARA DAR EL “RECIBIDO FIN” (ROGER OUT)//

‘RRRRR’ // SI TIENE INTENCIÓN DE TRANSMITIR A CONTINUACIÓN, CINCO ‘R’ PARA DAR EL RECIBIDO (ROGER)//

I. SI EL RECEPTOR TRANSMITIÓ ‘RRRRR’ PARA INDICAR “RECIBIDO VOY A TRANSMITIR”

RECEPTOR: ESPERA A RECIBIR LA SEÑAL ‘RRRRR’ DEL EMISOR (“RECIBIDO”), ESPERA MÍNIMO UNOS DIEZ SEGUNDOS DESDE QUE EL EMISOR TRANSMITIÓ LA ÚLTIMA ‘R’ (PARA DARLE TIEMPO AL EMISOR A QUE PASE A MODO “RECIBIR”), Y COMIENZA A TRANSMITIR SEGÚN LA SECUENCIA DE TRANSMISIÓN DE MENSAJES ANTERIOR (RECEPTOR PASA A SER EMISOR Y EL EMISOR AL CONTRARIO).

SI NO RECIBE LA SEÑAL DE LAS CINCO ‘R’ DEL EMISOR, EL RECEPTOR REPETIRÁ SUS CINCO ‘R’ CON INTERVALOS MÍNIMOS DE UNOS DIEZ SEGUNDOS HASTA RECIBIRLA.

II. SI EL RECEPTOR TRANSMITIÓ ‘RRRRR TTTT’

EN ESTE CASO SERÁ NECESARIO VOLVER A LA “FASE DE ESTABLECIMIENTO” PARA VOLVER A TRANSMITIR ALGÚN MENSAJE.

PROCEDIMIENTO DE COMUNICACIÓN OMNIDIRECCIONAL:

EN ESTE CASO, EL PROCEDIMIENTO SERÁ EL MISMO QUE EN EL DIRECCIONAL, CON LAS SIGUIENTES EXCEPCIONES:

1. SE ESPERARÁ A RECIBIR LAS SEÑALES CORRESPONDIENTES DE TODOS LOS RECEPTORES (SE REPETIRÁ LA ÚLTIMA LA SEÑAL DE ESTABLECIMIENTO HASTA RECIBIR LAS SEÑALES CORRESPONDIENTES DE TODAS LAS UNIDADES RECEPTORAS).
2. SI TRAS LA TRANSMISIÓN, VARIAS UNIDADES TIENEN INTENCIÓN DE TRANSMITIRLE (TRANSMITEN ‘RRRRR’ EN LUGAR DE ‘RRRRR TTTTT’), PASARÁ A COMUNICACIÓN DIRECCIONAL CON CADA UNA, TRANSMITIENDO:

- ‘RRRRR WWWWW’ A LAS UNIDADES QUE CORRESPONDAN PARA QUE PERMANEZCAN A LA ESPERA.
Y ESTAS UNIDADES DEVOLVERÁN CINCO ‘R’ PARA DAR EL “RECIBIDO PERMANEZCO A LA ESPERA”.
- ‘RRRRR’ A LA UNIDAD QUE CORRESPONDA PARA PASAR A COMUNICACIÓN DIRECCIONAL CON ELLA, E INDICARLE QUE ESTÁ LISTO PARA RECIBIR (PASARÍA A SER LA UNIDAD RECEPTORA, Y POR TANTO A MODO RECIBIR). LA UNIDAD RECEPTORA EN CONSECUENCIA SE CONVIERTE EN EMISOR, ESPERA UN MÍNIMO DE DIEZ SEGUNDOS Y COMIENZA A TRANSMITIR SU MENSAJE SEGÚN EL PROCEDIMIENTO YA EXPLICADO.

A LAS UNIDADES EN ESPERA, LES TRANSMITIRÁ ‘RRRRR’ UNA VEZ ESTE LISTO PARA ATENDERLAS (INDIVIDUALMENTE), LAS UNIDAD QUE PERMANECÍA A LA ESPERA VOLVERÁ A TRANSMITIR ‘RRRRR’ PARA ADVERTIRLE DE QUE ESTÁ LISTA PARA TRANSMITIR, Y EL EMISOR TRANSMITIRÁ DE NUEVO ‘RRRRR’ PARA DAR EL RECIBIDO (A CONTINUACIÓN LA UNIDAD EMISORA PASA A SER EL RECEPTOR, Y POR TANTO A MODO RECIBIR; POR OTRO LADO, LA UNIDAD RECEPTORA PASA A SER EL EMISOR, ESPERARÁ UN MÍNIMO DE DIEZ SEGUNDOS, Y COMENZARÁ A TRANSMITIR EL MENSAJE SEGÚN EL PROCEDIMIENTO VISTO ANTERIORMENTE).

EN EL CASO DE RECIBIR ALGUNA SEÑAL DE ERROR POR PARTE DE ALGUNA UNIDAD RECEPTORA (‘EEEE’), EL EMISOR DECIDIRÁ SI RETRANSMITIR DIRECCIONALMENTE A LA UNIDAD CORRESPONDIENTE, O VOLVER A RETRANSMITIR DE FORMA OMNIDIRECCIONAL (O SOLICITAR A UNA TERCERA UNIDAD UN ‘RELAY TO’).

POR LO GENERAL:

- SE EJECUTARÁ UNA PAUSA DE MÍNIMO UNOS DIEZ SEGUNDOS CUANDO ALGUNA UNIDAD NECESITE CAMBIAR A OTRO MODO DE TRABAJO.
- TAMBIÉN SE ESPERARÁ UN MÍNIMO DE UNOS DIEZ SEGUNDOS PARA RETRANSMITIR UNA SEÑAL/MENSAJE SI NO SE RECIBE FEED BACK DE ALGUNA UNIDAD.
- LA SEÑAL ‘RRRRR’ SE PODRÁ USAR TANTO EN MODO DIRECCIONAL COMO PARA MODO OMNIDIRECCIONAL PARA INDICAR: “RECIBIDO” Y “RECIBIDO VOY A TRANSMITIR” (SEGÚN CORRESPONDA).

- LA SEÑAL ‘RRRRR TTTTT’ SE PODRÁ USAR TANTO EN MODO DIRECCIONAL COMO PARA MODO OMNIDIRECCIONAL PARA INDICAR: “RECIBIDO FIN” (ROGER OUT).
- LA SEÑAL ‘EEEE’ SE PODRÁ USAR TANTO EN MODO DIRECCIONAL COMO PARA MODO OMNIDIRECCIONAL PARA INDICAR: “INCIO/FIN DE MENSAJE”, Y “ERROR AL RECIBIR”.
- LA SEÑAL DE MÁS DE CINCO ‘E’ TANTO EN MODO DIRECCIONAL COMO OMNIDIRECCIONAL SÓLO SE TRANSMITIRÁ EN LA FASE DE ESTABLECIMIENTO, PROCURANDO DE TRANSMITIR AL MENOS DIEZ ‘E’ PARA NO DAR LUGAR A ERRORES.
- LA SEÑAL ‘RRRRR WWWWW’ SE PODRÁ USAR TANTO EN MODO DIRECCIONAL COMO PARA MODO OMNIDIRECCIONAL PARA INDICAR A LA OTRA UNIDAD QUE “PERMANEZCA A LA ESPERA” SIN CERRAR COMUNICACIÓN (UNA PAUSA MÁS O MENOS LARGA, CON PERSONAL A LA ESPERA, PARA QUE NO SE NECESITE VOLVER A LA FASE DE ESTABLECIMIENTO AL REANUDAR LA CONVERSACIÓN).
- SE USARÁ POR DEFECTO EL “MODO NORMAL” DE TRANSMISIÓN PARA EVITAR MALENTENDIDOS.
SI SE DESEA MODIFICAR LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN, SE INDICARÁ POR MENSAJE DESDE ESTE MODO (SI NO SE HA INDICADO ANTERIORMENTE POR OTRO MEDIO).
- HAY QUE PRESTAR ESPECIAL ATENCIÓN A ESTO SOBRE TODO EN LA FASE DE ESTABLECIMIENTO, Y AL INICIAR LA TRANSMISIÓN DE CADA MENSAJE; Y EN EL CASO DE QUE NOS PERCATEMOS DE QUE ESTAMOS TRANSMITIENDO EN EL MODO EQUIVOCADO, HABRÁ QUE CAMBIAR AL MODO CORRESPONDIENTE CUANTO ANTES, Y REPETIR LA TRANSMISIÓN DESDE EL PRINCIPIO.

AL RECIBIR LA SEÑAL DE ERROR POR PARTE DEL RECEPTOR, REVISAREMOS LOS SIGUENTES ASPECTOS:

1. ¿ESTAMOS TRANSMITIENDO EN EL MODO CORRECTO?
2. ¿TENEMOS EL EMISOR ADECUADAMENTE ENFOCADO?
3. ¿ESTAMOS TRANSMITIENDO CON LA INTENSIDAD ADECUADA?

SI LOS PROBLEMAS NOS SURGEN SIENDO RECEPTORES, ADEMÁS DE TRANSMITIR LA SEÑAL DE ERROR ‘EEEE’ HASTA QUE EL EMISOR NOS DE EL RECIBIDO, DEBEREMOS:

1. COMPROBAR SI NUESTRO RECEPTOR ESTÁ CORRECTAMENTE ENFOCADO.
2. VOLVER A GRADUAR.
3. ASEGURARNOS DE QUE SELECCIONAMOS DE QUE HEMOS SELECCIONADO EL MODO DE TRANSMISIÓN CORRECTO (HUMANO, NORMAL, AUTOMÁTICO O ULTRA RÁPIDO).
4. ELEGIR CORRECTAMENTE LA FUENTE LUMINOSA QUE ESTÁ UTILIZANDO EL EMISOR (LÁSER O FOCO).

SI REPASANDO ESTAS CHECKLIST LOS PROBLEMAS NO SE SOLUCIONAN, PUEDE QUE LA VISIBILIDAD NO SEA SUFICIENTEMENTE BUENA, O QUE LA DISTANCIA ENTRE EMISOR Y RECEPTOR SEA EXCESIVA.

ANEXO II: REGLAS NEMOTÉCNICAS [28]

I. Regla nemotécnica

El código Morse es difícil de aprender por lo que, para facilitar su aprendizaje, se suele utilizar una regla nemotécnica, la cual permite aprendérselo mediante un código consistente en asignar a cada letra una palabra clave determinada que comienza con la letra que se quiere recordar. Luego basta con sustituir cada vocal de la palabra clave por un *punto* o una *raya* según la siguiente regla:

- La inicial de la palabra clave es la letra correspondiente.
- El número de vocales que contiene la palabra clave indica la longitud de la codificación en morse de dicha letra.
- Si la vocal es una **O** se sustituye por una *raya* (-).
- Si se trata de cualquier otra vocal se sustituye por un *punto* (·).

CARACTER	PALABRA	MORSE	CARACTER	PALABRA	MORSE
A	ÁRBOL	.-	N	NOTA	-.
B	BOSADILLA	-...	O	OPORTO	---
C	COCA-COLA	-.-.	P	PELO-GORRA	.--.
D	DOCENA	-..	Q	QOCOLISO	--.-
E	ÉL	.	R	REVOLVER	.-.
F	FUMADORA	..-.	S	SIERRA	...
G	GORRONES	--.	T	TOS	-
H	HIMALAYA		U	UNIFORM	..-
I	IRIS	..	V	VENTILADOR	...-
J	JABONOSO	.---	W	WARROSO	.--
K	KOMBARRO	-.	X	XORICILLO	-..-
L	LIMONADA	-...	Y	YOLATOCO	-.-
M	MORO	--	Z	ZOZOBRANTE	--..

Tabla 0-1 Regla nemotécnica para memorizar el código morse (caracteres-palabra clave-secuencia morse)

Esta tabla recoge las palabras clave que el autor de este trabajo utilizó en su momento para memorizar el alfabeto morse, algunas palabras no existen o no son gramaticalmente correctas. Sin embargo, cumplieron su función al ayudarme a memorizar este sistema.

No obstante, estas palabras pueden modificarse o incluso la propia regla en sí. El único objetivo de trucos como este es lograr memorizar la secuencia de puntos y rayas. Cualquier modificación que nos ayude a lograrlo es válida.

II. Regla nemotécnica gráfica

Otra regla para mejorar el aprendizaje del código morse, recurre a la fuerte presencia que tienen las imágenes de las letras. A fin de ser el recurso que ayuda a la memoria. En las siguientes letras, se han marcado con color los puntos y líneas que corresponden a su respectivo código en morse.

E .	A ..	W ...	G ...
I ..	U ...	J	Z
S ...	V	C	Q
H		Y	P
T -	N ..		X
M --	D ...	F	R ...
O ---	B	L	K ...

Figura 0-1 Regla nemotécnica para memorizar el código morse

ANEXO III: TABLA CARACTER-VALOR COMPUTACIONAL

CARACTER	VALOR	MORSE	CARACTER	VALOR	MORSE
a/A	97/65	.-	.	46	.-.-
b/B	98/66	-...	,	44	--.-
c/C	99/67	-..	?	63	..--..
d/D	100/68	-..	‘	39	.----.
e/E	101/69	.	!	33	-..-
f/F	102/70	..-	/	47	-...-
g/G	103/71	--.	(	40	-.--.
h/H	104/72		)	41	-.--.-
i/I	105/73	..	&	38	.-...
j/J	106/74	.---	:	58	---...
k/K	107/75	-.-	;	59	-.-..
l/L	108/76	.-..	=	61	-...-
m/M	109/77	--	+	43	.-.-.
n/N	110/78	-..	-	45	-....-
ñ/Ñ	(195+177)/(195+145)		—	95	..-.-
o/O	111/79	---	“	34	.-...-
p/P	112/80	.--.	\$	36	...-.-
q/Q	113/81	--.-	@	64	.-.-.
r/R	114/82	.-.	<	60	
s/S	115/83	...	>	62	
t/T	116/84	-	%	37	
u/U	117/85	..-	^	94	
v/V	118/86	...-	*	42	
w/W	119/87	.--	{	125	

CARACTER	VALOR	MORSE	CARACTER	VALOR	MORSE
x/X	120/88	-.-	}	123	
y/Y	121/89	-.--	[	91	
z/Z	122/90	--..	]	93	
1	49	.----	~	126	
2	50	..---	#	35	
3	51	...--		124	
4	52	-	\	92	
5	53		€	130	
6	54	-....	(ESCAPE)	7	
7	55	--...	(RETROCESO)	127	
8	56	---..	(ENTER)	13	
9	57	----.	(TABULADOR)	9	
0	48	-----	(ESPACIO)	32	(Silencio de 7 unidades)

Tabla 0-1 Tabla comparativa (caracteres-valor computacional-secuencia morse)

Los valores de la tabla han sido obtenidos a partir del código desarrollado (lo hemos añadido como documento adjunto a esta memoria).

Las celdas coloreadas en rojo corresponden a los caracteres que no están incluidos en el código morse. La última, en color verde, indica que le hemos asignado un valor nuevo a la tecla ‘espacio’, para poder interpretar que existe una separación entre palabras al recibir.

ANEXO IV: MANUAL DE USO DEL PROTOTIPO

Con este anexo se pretende que cualquier persona pueda comprender y utilizar nuestro prototipo, para ello hemos añadido un esquema con el que podemos aprender a movernos por el código sin perdernos.

En el diagrama que mostramos en la siguiente página presentamos de manera visual todos los INPUTs que se imprimen por pantalla procedentes de la placa conforme trabajamos con nuestro aparato. En los vectores se indica la tecla que debemos pulsar con el teclado para pasar al siguiente nivel del diagrama.

Por otro lado, aunque se deduce del diagrama consideramos necesario añadir también la siguiente tabla, para así indicar qué significado hemos asociado a las distintas teclas que se usan para moverse por el código:

TECLA	SIGNIFICADO
E	MODO DE TRABAJO ESCRIBIR
T	MODO DE TRABAJO TRANSMITIR
G	MODO DE TRABAJO GRADUAR
R	MODO DE TRABAJO RECIBIR
H	MODO DE TRANSMISIÓN HUMANO
N	MODO DE TRANSMISIÓN NORMAL
A	MODO DE TRANSMISIÓN AUTOMÁTICO
U	MODO DE TRANSMISIÓN ULTRA RÁPIDO
L	LÁSER
F	FOCO
S	SALIR (PARA ELEGIR UN NUEVO MODO DE TRABAJO)
‘ENTER’	FIN (PARA INDICAR QUE HEMOS TERMINADO DE ESCRIBIR Y PASAR A ELEGIR UN NUEVO MODO DE TRABAJO)

Tabla 0-1 Tabla explicariba sobre las teclas-INPUTs con las que trabaja el código desarrollado

En la siguiente página adjuntamos el diagrama mencionado (lo hemos dibujado sobre una hoja A3 y lo hemos entregado como documento pdf adjunto a la memoria).

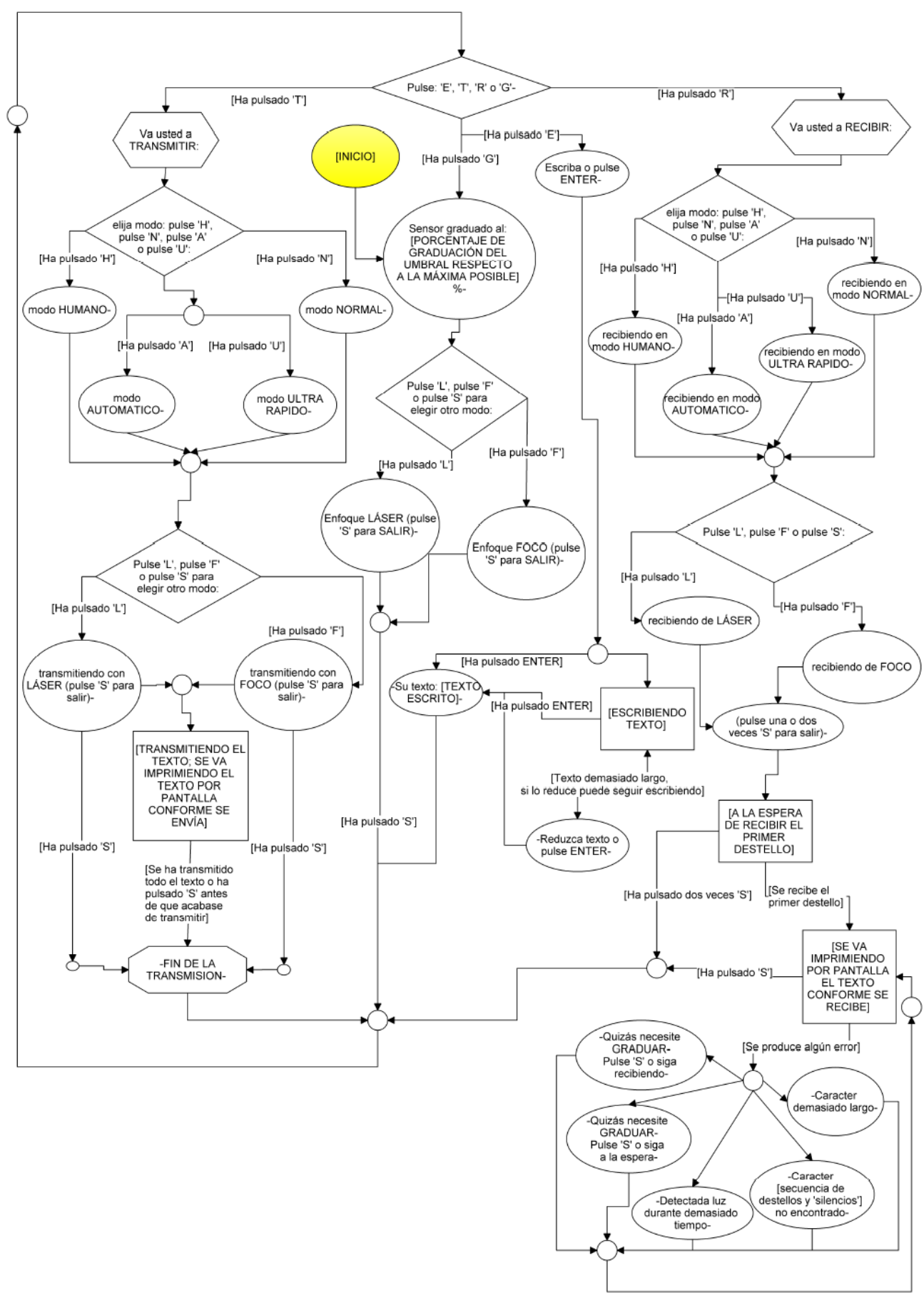


Figura 0-1 Imagen explicativa del código desarrollado

ANEXO V: DIAGRAMA DE GANTT DEL PROYECTO

Al igual que con el diagrama del anexo anterior, hemos entregado como documento adjunto a esta memoria el documento pdf desde el que se puede visualizar mejor lo que mostramos a continuación.

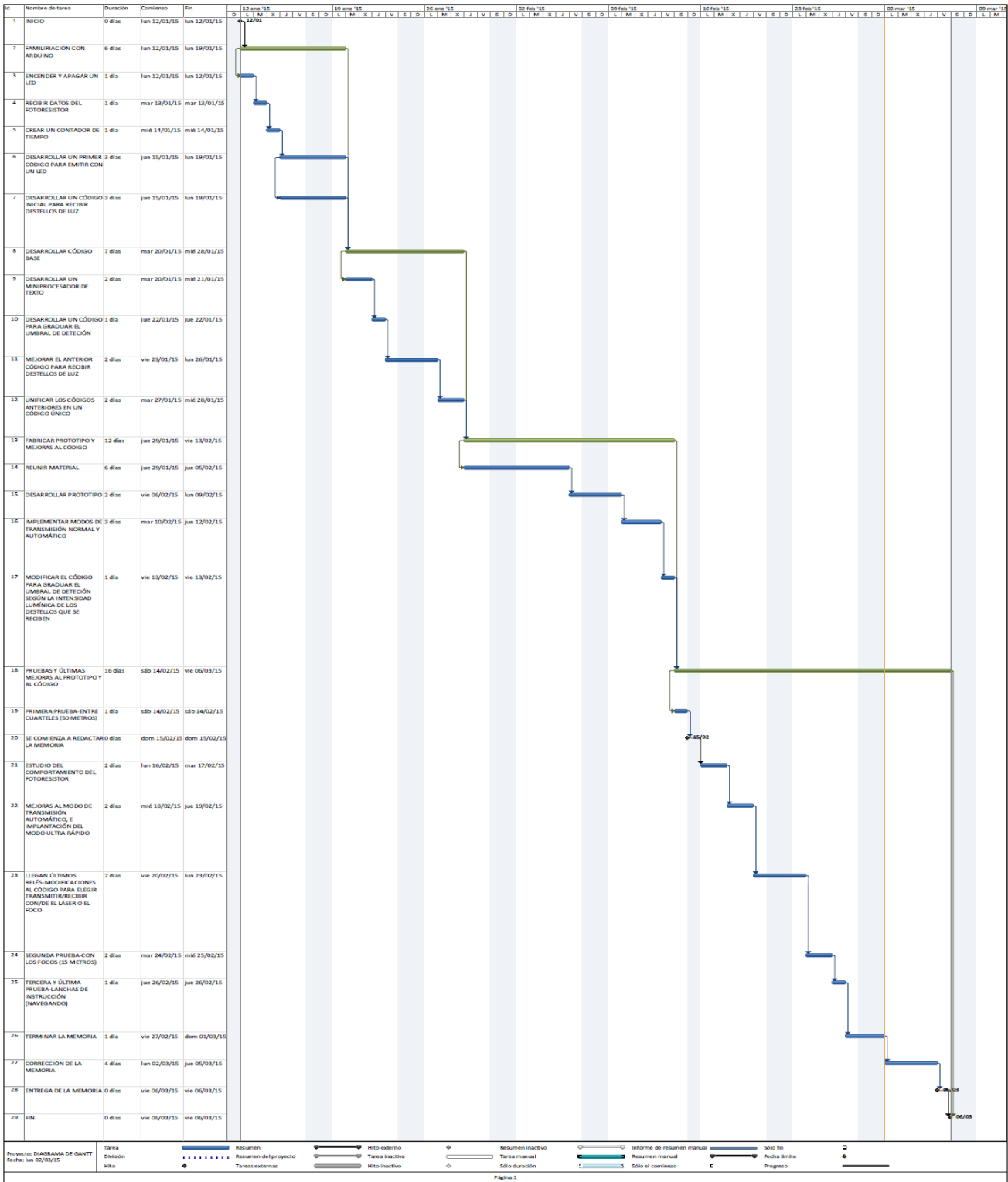


Figura 0-1 Esquema sobre el desarrollo cronológico del proyecto