

ENTREGA 4

PROTOCOLO DE PARO Y ESPERA PARA CONTROL DE FLUJO

Prácticas de Fundamentos de Redes y Comunicaciones – Curso 2023/2024

Mar Ávila Vegas (mmavila@unex.es)
David Cortés Polo (dcorpol@unex.es)

01 de abril de 2024

1. Objetivos.
2. Tramas empleadas para el protocolo.
 - 2.1. Definición de las tramas de control y tramas de datos.
 - 2.1.1. Cálculo del BCE.
 - 2.2. Tipos de tramas.
3. Funcionamiento del protocolo.
4. Fases de la operación de Selección.
5. Fases de la operación de Sondeo.
- 6. Tareas a realizar.**
7. Entrega de la sesión práctica.

1. Objetivos.

Una vez que se han desarrollado los mecanismos para el uso del nivel de enlace a través de una red Ethernet, es necesario **desarrollar servicios que permitan el uso del medio compartido de forma fiable y garanticen la entrega de tramas.**

Para ello, se diseñará un protocolo de nivel de enlace que simule la **gestión de acceso al medio** (Subnivel MAC), basado en mecanismos de **selección y sondeo** logrando una gestión centralizada de la red. Para ello contamos con una estación maestra que coordina la comunicación y una estación esclava que acata las órdenes que recibe de la estación maestra.

Además, el protocolo implementará un **servicio orientado a la conexión** que **garantice la entrega de tramas** entre estaciones. Para ello, se desarrollará un subnivel de control del nivel de enlace (Subnivel LLC) que gestione la comunicación entre estaciones implementando tres fases en la comunicación: establecimiento, transmisión de datos y finalización de la comunicación.

Para asegurar la **entrega fiable de las tramas**, se llevarán a cabo los siguientes mecanismos:

- Se **detectarán los errores de transmisión** y se **descartarán las tramas erróneas**.
- **Las tramas se entregarán** a la capa superior **ordenadas y sin errores** por lo que se incluirá un número de trama o secuencia en la creación de las tramas.
- Se realizará el **control de flujo** entre el emisor y el receptor, implementando un mecanismo de control de flujo basado en **paro y espera** para **evitar la inundación de paquetes entre el emisor y el receptor**.

2. Tramas empleadas para el protocolo.

Para la implementación del protocolo crearemos, enviaremos y recibiremos tramas de control y tramas de datos. Los valores que componen las tramas de control y de datos se incluirán en el campo “packet” dentro de los datos de las tramas ethernet.

2.1. Definición de las tramas de control y tramas de datos.

- Las tramas de control contendrán 3 valores diferenciados:

Dirección	Control	Número de trama
-----------	---------	-----------------

- Las tramas de datos incluirán los 6 valores siguientes:

Dirección	Control	Número de trama	Long	Datos	BCE
-----------	---------	-----------------	------	-------	-----

- El valor de **Dirección** será ‘R’ o ‘T’, dependiendo del tipo de operación seleccionado por la estación maestra. ‘R’ significará operación de Selección y ‘T’ operación de Sondeo.
- El valor de **Control**, dependerá del tipo de trama de control que se use.
- Trama de control ENQ: Valor 05.
 - Trama de control EOT: Valor 04.
 - Trama de control ACK: Valor 06.
 - Trama de control NACK: Valor 21.
 - Trama de datos (STX): Valor 02.
- El valor del **Numero de Trama** oscilará entre los valores ‘0’ y ‘1’ (como carácter).
- El valor de **Long** es el carácter que resulta de expresar la longitud total del campo de datos que contiene la información del fichero (valor decimal de un carácter comprendido entre 1 y 254).
- **Datos** contendrá los caracteres del fichero que se deseen enviar.
- El **BCE** será el bloque de control de errores que se calculará para comprobar si la trama que se envía es correcta o errónea. Contendrá un valor único que se calculará

sobre los caracteres del fichero que se deseen enviar. La forma de calcularlo se explica a continuación.

2.1.1. Cálculo del BCE.

Para calcular el valor del BCE de una trama se debe hacer la operación lógica XOR dos a dos entre todos los caracteres de los datos correspondiente al contenido del fichero. Es decir se hará (DATOS[0] XOR DATOS[1]) XOR DATOS[2]) XOR DATOS[3]) ... XOR DATOS[Long-1]). Por ejemplo, para calcular el BCE de una trama de datos que transporta los caracteres "HOLA" se haría:

Campo Packet de la trama Ethernet de una trama de datos

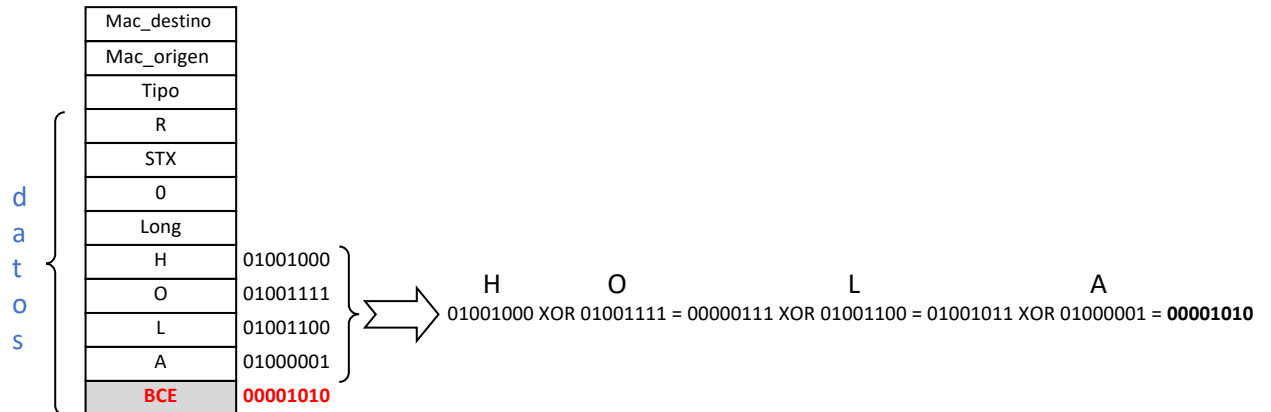


Figura 1: Cálculo del BCE en una trama de datos.

2.2. Tipos de tramas.

Tendremos 4 tipos de tramas de control (dependiendo del valor de control):

➤ Tramas de órdenes:

1. ENQ: Para sondear o seleccionar a la estación esclava.

'R'	ENQ	'0'
-----	-----	-----

'T'	ENQ	'0'
-----	-----	-----

2. EOT: Para liberar la comunicación o petición de liberación (usaremos 'R' o 'T' dependiendo de si la operación es de Selección o de Sondeo):

'R'	EOT	'0'
-----	-----	-----

'T'	EOT	'0'
-----	-----	-----

➤ Tramas de respuestas:

3. ACK: Aceptar (asentir) la trama recibida (usaremos 'R' o 'T' dependiendo de si la operación es de Selección o de Sondeo):

'R'	ACK	'0'
'T'	ACK	'0'

4. NACK: Rechazar la trama recibida (usaremos 'R' o 'T' dependiendo de si la operación es de Selección o de Sondeo):

'R'	NACK	'0'
'T'	NACK	'0'

Tendremos 1 tipo de trama de datos (usaremos 'R' o 'T' dependiendo de si la operación que se seleccione es de Selección o de Sondeo):

'T'	02	'0'	Long	Datos	BCE
'R'	02	'0'	Long	Datos	BCE

3. Funcionamiento del protocolo.

Se implementará un protocolo de control de flujo entre el emisor y el receptor basado en **paro y espera** para evitar la inundación de paquetes entre el emisor y el receptor. El modo de proceder del protocolo se basa en el envío del contenido de un archivo de texto llamado **EProtoc.txt** en forma de tramas ethernet, de modo que una vez se envíe una trama, no se enviará la siguiente hasta que no se reciba la correspondiente confirmación de la recepción (asentimiento positivo) si la trama es correcta, es decir, un ACK. **En esta entrega 4 suponemos que el medio de transmisión es ideal, por lo que no existirán errores de comunicación, por tanto, se supone que siempre se deberían recibir ACKs.**

El receptor irá recibiendo en forma de tramas el contenido del fichero **EProtoc.txt** e irá almacenando ese contenido en un fichero llamado **RProtoc.txt**.

El protocolo de Paro y Espera, será una nueva funcionalidad de la práctica que se incluirá tanto en la estación maestra, como en la estación esclava a través de la pulsación de **F3**.

Mediante el protocolo se llevarán a cabo dos operaciones, **Selección** y **Sondeo**. Solo la estación maestra podrá seleccionar una de las dos operaciones a realizar. Si la operación es de Selección, el maestro enviará el fichero de texto **EProtoc.txt** fraccionado en tramas de datos al esclavo y si es de Sondeo, el maestro hará que el esclavo le envíe ese fichero, también fraccionado en tramas de datos. El intercambio de datos será unidireccional.

Para distinguir si la operación es de Selección o de Sondeo se empleará el valor de **dirección** 'R' o 'T' respectivamente.

Todas las tramas se numerarán, tomando los valores '0' o '1' de forma cíclica, es decir, la trama siguiente a la '0' será la '1', y la siguiente a ésta, la '0' y así sucesivamente.

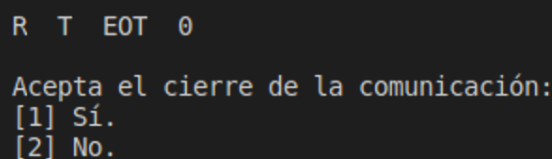
Para cada trama recibida se deberá devolver una confirmación de recepción o ACK (siempre y cuando la trama recibida sea correcta).

Si la operación es de Selección, para cada trama de datos que reciba el esclavo, si ésta es correcta, éste deberá devolver una trama ACK. Cuando ésta sea recibida por el Maestro, éste podrá enviar la siguiente trama de datos al esclavo. Al recibir cualquier trama de datos siempre se deberá comprobar si los BCEs coinciden, aunque como no debería de haber errores de transmisión, los BCEs de las tramas de datos siempre deberían coincidir. En caso de que no coincidan, significaría que tendremos errores de implementación, por tanto, deberemos solventarlos.

Si en cambio, la operación es de Sondeo, para cada trama de datos que reciba el Maestro éste deberá devolver un ACK si la trama es correcta. Cuando el ACK sea recibido por el Esclavo, éste podrá enviar la siguiente trama de datos al Maestro. Se deberá realizar la misma comprobación del BCE que se hizo con la operación de Selección.

Tanto en selección, como en sondeo, en el momento en que, para alguna trama recibida, los BCEs no coincidieran, no se podría confirmar dicha trama con ACK, y el protocolo se quedaría paralizado. Solo si los BCEs coincidieran, antes de enviar la trama ACK, los datos de la trama recibida se almacenarán en el fichero del receptor **RProtoc.txt**.

El Esclavo nunca podrá dar órdenes. En caso de que la operación sea de Sondeo, la estación esclava solicitará a la maestra la liberación de la comunicación cuando termine de enviar el fichero de texto, pero no la podrá liberar hasta que la estación maestra se lo confirme. Dicho de otro modo, cuando la estación maestra reciba una solicitud de cierre de la esclava (figura 2), preguntará al usuario si quiere terminar la comunicación. Si el usuario la rechaza, se enviará una negación (trama NACK) a la estación Esclava, que volverá a solicitar el cierre. Este proceso continuará hasta que el usuario de la estación maestra confirme el cierre (envíe una trama ACK). Si en cambio la operación era de Selección, el maestro iniciará la liberación de la comunicación automáticamente sin pedir confirmación al terminar de enviar el fichero y el Esclavo la aceptará directamente.



```
R T EOT 0  
Acepta el cierre de la comunicación:  
[1] Sí.  
[2] No.
```

Figura 2: La estación maestra muestra la solicitud de cierre por parte de la estación esclava.

El nombre del fichero que se enviará en la fase de transferencia se llamará **EProtoc.txt**. El modo de proceder del fichero será el mismo que se usó en la práctica anterior.

El nombre del fichero que se recibirá en la fase de transferencia se llamará **RProtoc.txt**.

4. Fases de la operación de Selección.

En la siguiente figura se muestra cómo se realiza la comunicación cuando la operación es de Selección, es decir, el maestro envía el fichero de texto al esclavo:

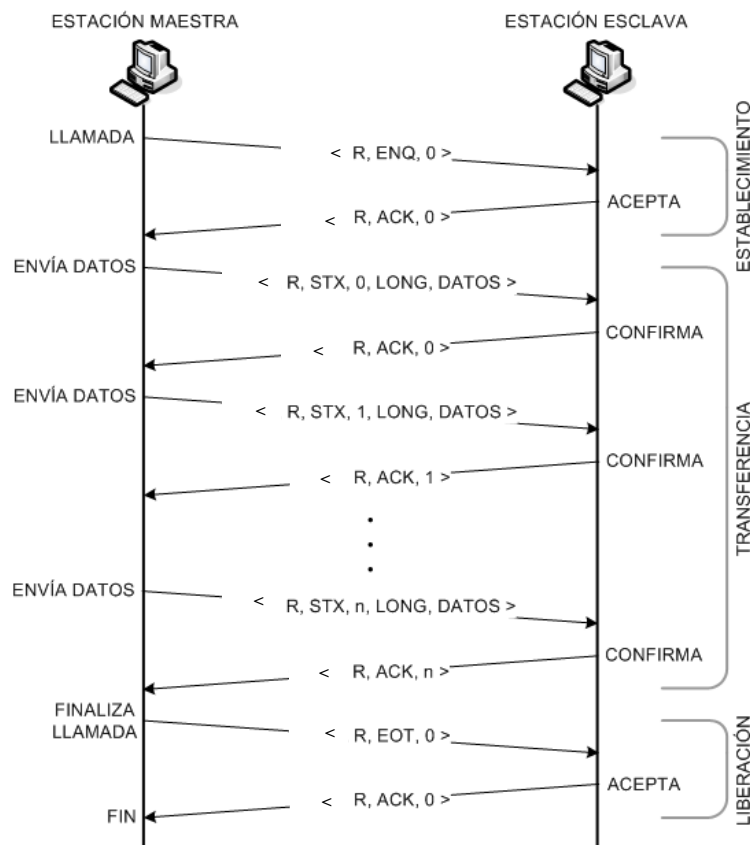


Figura 3: Fases de la operación de Selección.

Como se puede comprobar en la figura 3, **al comienzo de cada fase de operación (establecimiento, transferencia y cierre), el número de trama será '0'**. Dentro de cada fase, se irá alternando entre '0' y '1'.

Para comprobar el funcionamiento de la práctica, se deberán mostrar en todo momento **TODAS** las tramas (control y datos) que se envían y que se reciban durante las tres fases de la comunicación (establecimiento, transferencia y liberación), tanto en el equipo emisor como en el equipo receptor. En caso de no mostrar todas las tramas la práctica será considerada NO APTA. De cada trama **SOLO** se mostrará la información estrictamente necesaria que se indica a continuación.

Para la estación maestra se mostrará (en orden de aparición):

- **E** si la trama es enviada o **R** si la trama es recibida.
- **R**, que indica que el tipo de operación que estamos realizando es de Selección.
- La descripción del valor de control (**ENQ**, **ACK**, **NACK**, **EOT** o **STX** (si es trama de datos)).
- El número de trama, que se corresponderá con '0' o '1'.

- El **BCE** de la trama que se envía. El valor que se muestre deberá ser un valor numérico, no se admitirá un carácter como representación en pantalla.

Para la estación esclava se mostrará en pantalla (en orden de aparición):

- **E** si la trama es enviada o **R** si la trama es recibida.
- **R**, que indica que el tipo de operación que estamos realizando es de Selección.
- La descripción del valor de control (**ENQ**, **ACK**, **NACK**, **EOT** o **STX** (si es trama de datos)).
- El número de trama, que se corresponderá con '0' o '1'.
- El **BCE** que se recibe de la trama (el BCE que le llega al receptor). El valor que se muestre deberá ser un valor numérico, no se admitirá un carácter como representación en pantalla.
- El **BCE** que se calcula de la trama recibida. El valor que se muestre deberá ser un valor numérico, no se admitirá un carácter como representación en pantalla.

A continuación, se muestra un ejemplo correspondiente al envío de un fichero compuesto por 3 tramas de datos.



Figura 4: Ejemplo del envío de un fichero mediante Selección.

5. Fases de la operación de Sondeo.

En la siguiente figura se muestra cómo se realiza la comunicación cuando la operación es de Sondeo, es decir, el maestro le pide al esclavo que le envíe el fichero de texto:

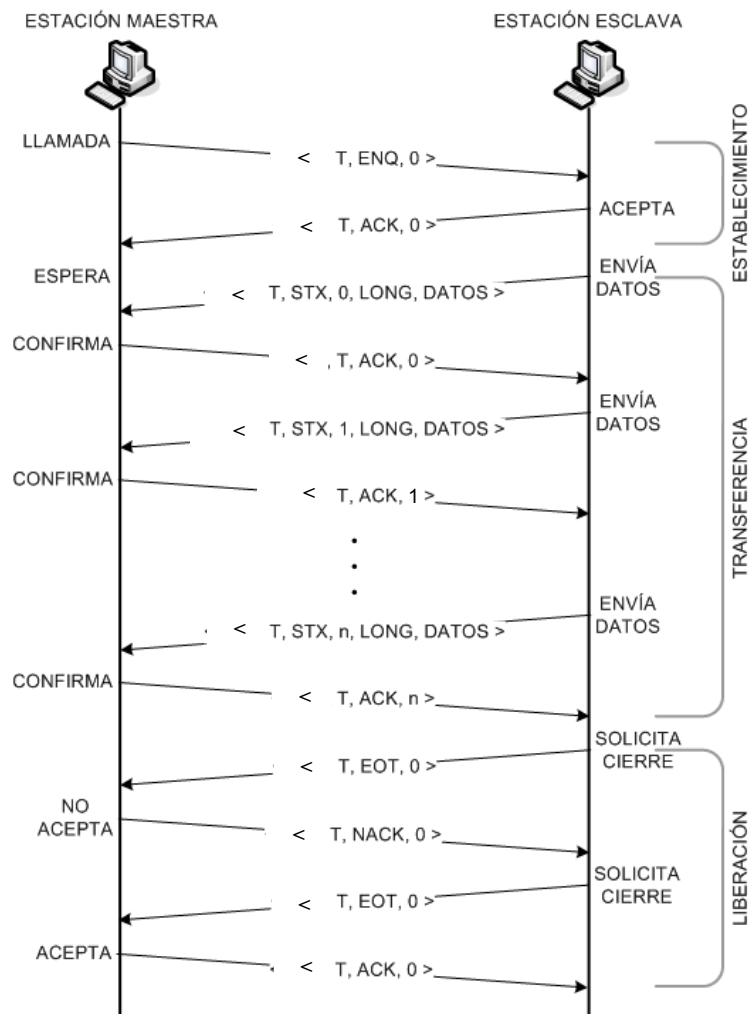


Figura 5: Fases de la operación de Sondeo.

Como se puede comprobar en la figura 5, **al comienzo de cada fase de operación (establecimiento, transferencia y liberación), el número de trama será '0'**. Dentro de cada fase, se irá alternando entre '0' y '1'. Para cada cierre o liberación solicitada a la estación maestra, también se alternará el número de trama.

Para comprobar el funcionamiento de la práctica, se deberá mostrar en todo momento **TODAS** las tramas (control y datos) que se envían y que se reciben durante las tres fases (establecimiento, transferencia y liberación), tanto en el equipo emisor como en el receptor. En caso de no mostrar todas las tramas la práctica será considerada NO APTA. De cada trama solo se mostrará la información estrictamente necesaria que se indica a continuación.

Para la estación maestra se mostrará en pantalla (en orden de aparición):

- **E** si la trama es enviada o **R** si la trama es recibida.
- **T**, que indica que el tipo de operación que estamos realizando es de Sondeo.
- La descripción del valor de control (**ENQ**, **ACK**, **NACK**, **EOT** o **STX** (si es trama de datos)).
- El número de trama, que se corresponderá con '0' o '1'.

- El **BCE** que se recibe de la trama (el BCE que le llega). El valor que se muestre deberá ser un valor numérico, no se admitirá un carácter como representación en pantalla.
- El **BCE** que se calcula de la trama recibida. El valor que se muestre deberá ser un valor numérico, no se admitirá un carácter como representación en pantalla.

Para la estación esclava se mostrará (en orden de aparición):

- **E** si la trama es enviada o **R** si la trama es recibida.
- **T**, que indica que el tipo de operación que estamos realizando es de Sondeo.
- La descripción del valor de control (**ENQ**, **ACK**, **NACK**, **EOT** o **STX** (si es trama de datos)).
- El número de trama, que se corresponderá con '0' o '1'.
- El **BCE** de la trama que se envía. El valor que se muestre deberá ser un valor numérico, no se admitirá un carácter como representación en pantalla.

A continuación, se muestra un ejemplo correspondiente al envío de un fichero compuesto por 3 tramas de datos.

En este ejemplo, al solicitar el esclavo el cierre de la comunicación, el maestro rechazó el primer cierre y aceptó el segundo.



Figura 6: Ejemplo del envío de un fichero mediante Sondeo.

6. Tareas a realizar.

Partiendo de la práctica anterior:

1. Desarrollar el protocolo de Paro y Espera mediante tramas de control y tramas de datos implementadas sobre tramas ethernet suponiendo que el medio de transmisión está libre de errores.
2. Implementar la operación de Selección y la operación de Sondeo.
3. Mediante el protocolo se enviará el contenido del fichero **EProtoc.txt** y cuando se reciba se almacenará en el fichero **RProtoc.txt**.

4. No se mostrará en ningún momento el contenido del fichero en pantalla. Únicamente se mostrarán el envío y la recepción de tramas tal y como se ha explicado en los apartados anteriores.
5. La salida que se mostrará cuando se ejecute esta entrega será la mostrada en la figura 7.

<pre> ----- SESION 4 - FRC ----- Interfaces disponibles: [0] enp0s5 [1] enp0s6 [2] lo [3] any [4] bluetooth-monitor [5] nflog [6] nfqueue Seleccione interfaz: 1 Interfaz Elegida: enp0s6 La MAC es: 0:1C:42:34:99:B4 Introduzca el número de grupo: 1 Puerto abierto correctamente Seleccione el modo de la estación: [1] Modo Maestra. [2] Modo Esclava 1 Esperando que se una la estación esclava Estación encontrada. La MAC es: 0:1C:42:DA:D1:45 Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F2] - Envío de un fichero [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>	<pre> ----- SESION 4 - FRC ----- Interfaces disponibles: [0] enp0s5 [1] enp0s6 [2] lo [3] any [4] bluetooth-monitor [5] nflog [6] nfqueue Seleccione interfaz: 0 Interfaz Elegida: enp0s5 La MAC es: 0:1C:42:DA:D1:45 Introduzca el número de grupo: 1 Puerto abierto correctamente Seleccione el modo de la estación: [1] Modo Maestra. [2] Modo Esclava 2 Esperando que se una la estación maestra Estación encontrada. La MAC es: 0:1C:42:34:99:B4 Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>
---	--

Estación maestra

Estación esclava

Figura 7: Salida de la práctica.

7. Si se selecciona la opción del Protocolo en ambas estaciones, en pantalla se mostrará (figura 8) solo en la estación maestra la elección del tipo de operación:

<pre> ----- SESION 4 - FRC ----- Interfaces disponibles: [0] enp0s5 [1] enp0s6 [2] lo [3] any [4] bluetooth-monitor [5] nflog [6] nfqueue Seleccione interfaz: 1 Interfaz Elegida: enp0s6 La MAC es: 0:1C:42:34:99:B4 Introduzca el número de grupo: 1 Puerto abierto correctamente Seleccione el modo de la estación: [1] Modo Maestra. [2] Modo Esclava 1 Esperando que se una la estación esclava Estación encontrada. La MAC es: 0:1C:42:DA:D1:45 Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F2] - Envío de un fichero [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir ^[OR Protocolo paro y espera. Para salir pulse ESC. Seleccione el tipo de operación: [1] Operación selección. [2] Operación sondeo. [3] Salir. </pre>	<pre> ----- SESION 4 - FRC ----- Interfaces disponibles: [0] enp0s5 [1] enp0s6 [2] lo [3] any [4] bluetooth-monitor [5] nflog [6] nfqueue Seleccione interfaz: 0 Interfaz Elegida: enp0s5 La MAC es: 0:1C:42:DA:D1:45 Introduzca el número de grupo: 1 Puerto abierto correctamente Seleccione el modo de la estación: [1] Modo Maestra. [2] Modo Esclava 2 Esperando que se una la estación maestra Estación encontrada. La MAC es: 0:1C:42:34:99:B4 Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>
--	--

Estación maestra

Estación esclava

Figura 8: Salida de la práctica – Tipos de operación.

8. Si se elige la operación de Selección se mostrará en pantalla la información mostrada en la figura 9.

<pre> Protocolo paro y espera. Para salir pulse ESC. Seleccione el tipo de operación: [1] Operación selección. [2] Operación sondeo. [3] Salir. 1 E R ENQ 0 R R ACK 0 E R STX 0 63 R R ACK 0 E R STX 1 54 R R ACK 1 E R STX 0 57 R R ACK 0 E R STX 1 73 R R ACK 1 E R EOT 0 R R ACK 0 Fin de Selección por parte del Maestro Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F2] - Envío de un fichero [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>	<pre> Protocolo paro y espera. Para salir pulse ESC. Estás en modo esclavo R R ENQ 0 E R ACK 0 R R STX 0 63 63 E R ACK 0 R R STX 1 54 54 E R ACK 1 R R STX 0 57 57 E R ACK 0 R R STX 1 73 73 E R ACK 1 R R EOT 0 E R ACK 0 Fin de Selección por parte del Esclavo Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>
---	--

*Estación maestra**Estación esclava**Figura 9: Salida de la práctica – Operación de Selección.*

9. Si se elige la operación de Sondeo se mostrará en pantalla la información mostrada en la figura 10.

<pre> Protocolo paro y espera. Para salir pulse ESC. Seleccione el tipo de operación: [1] Operación selección. [2] Operación sondeo. [3] Salir. 2 E T ENQ 0 R T ACK 0 R T STX 0 63 63 E T ACK 0 R T STX 1 54 54 E T ACK 1 R T STX 0 57 57 E T ACK 0 R T STX 1 73 73 E T ACK 1 R T EOT 0 Acepta el cierre de la comunicación: [1] Sí. [2] No. 2 E T NACK 0 R T EOT 1 Acepta el cierre de la comunicación: [1] Sí. [2] No. 1 E T ACK 1 Fin de Sondeo por parte del Maestro Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F2] - Envío de un fichero [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>	<pre> Protocolo paro y espera. Para salir pulse ESC. Estás en modo esclavo R T ENQ 0 E T ACK 0 E T STX 0 63 R T ACK 0 E T STX 1 54 R T ACK 1 E T STX 0 57 R T ACK 0 E T STX 1 73 R T ACK 1 E T EOT 0 R T NACK 0 E T EOT 1 R T ACK 1 Fin de Sondeo por parte del Esclavo Seleccione opción: [F1] - Envío de caracteres interactivo [F3] - Protocolo paro y espera [ESC] - Salir </pre>
---	---

*Estación maestra**Estación esclava**Figura 10: Salida de la práctica – Operación de Sondeo.*

En este ejemplo, al ejecutar la operación de Sondeo la estación maestra rechazó el primer cierre de la comunicación y aceptó el segundo cierre. No siempre tiene que ser así.

7. Entrega de la sesión práctica.

A través de la herramienta AVUEx, según las instrucciones dadas en clase a este respecto, debe entregarse un archivo comprimido en formato ZIP o RAR que contenga lo siguiente:

- Un archivo AUTORES.TXT, que incluya nombre y apellidos, por este orden, de los autores de la práctica, así como el grupo al que pertenecen ambos.
- Los archivos fuente de la práctica. **Cada fichero fuente** debe incluir **obligatoriamente** el nombre, apellidos y grupo de los autores de la práctica.
- El fichero ejecutable (compilado a partir de los ficheros fuentes entregados) de la práctica.
- La carpeta oculta **.vscode**.
- Debe incorporarse documentación interna adecuada y suficiente como para seguir adecuadamente el código.
- La fecha tope para subir esta **entrega 4** se comentará en clase. **Cualquier práctica entregada con posterioridad a la fecha y hora indicada se considerará no válida a todos los efectos.**