



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Grado en Ingeniería Informática

**Infraestructura de red de nodos
cifradores/descifradores AES basada en ApSoC**

Curso 2019-2020

Jesús Rodríguez Heras

Puerto Real, 3 de Septiembre de 2020



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

Grado en Ingeniería Informática

**Infraestructura de red de nodos
cifradores/descifradores AES basada en ApSoC**

DEPARTAMENTO: Ingeniería en Automática, Electrónica, Arquitectura y Redes de Computadores.

DIRECTORA DEL PROYECTO: María Ángeles Cifredo Chacón.

CODIRECTORA DEL PROYECTO: María Mercedes Rodríguez García.

AUTOR DEL PROYECTO: Jesús Rodríguez Heras.

Puerto Real, 3 de Septiembre de 2020

Fdo.: Jesús Rodríguez Heras

Declaración personal de auditoría

Jesús Rodríguez Heras con DNI 32088516C, estudiante del título de Grado de Ingeniería Informática en la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz, como autor de este documento académico titulado “Infraestructura de red de nodos cifradores/descifradores AES basada en ApSoC” y presentado como Trabajo Final de Grado

DECLARO QUE:

Es un trabajo original, que no copio ni utilizo parte de obra alguna sin mencionar de forma clara y precisa su origen tanto en el cuerpo del texto como en su bibliografía y que no empleo datos de terceros sin la debida autorización, de acuerdo con la legislación vigente. Asimismo, declaro que soy plenamente consciente de que no respetar esta obligación podrá implicar la aplicación de sanciones académicas, sin perjuicio de otras actuaciones que pudieran iniciarse.

En Puerto Real, a 3 de Septiembre de 2020.

Fdo.: Jesús Rodríguez Heras

Agradecimientos

Me gustaría mostrar mis agradecimientos a mis tutoras del proyecto, a mi familia, mi pareja y mis amigos que me han ayudado psicológicamente en todo el proceso motivándome día a día a seguir y terminar el último paso de mi carrera.

Resumen

En este proyecto se ha trabajado en el diseño de una estructura de red que conecta un ordenador con unos nodos cifradores/descifradores basados en tecnología programable ApSoC. Para tal fin, los nodos incluyen un periférico hardware de cifrado/descifrado AES-128 implementado en la lógica programable ApSoC. Cada nodo de la red recibe información del nodo anterior, la descifra, agrega información y vuelve a cifrar el conjunto para enviarlo al siguiente nodo. De este modo se recolecta información de todos los nodos de forma colectiva, enviándose al monitor central al finalizar.

Para la conexión de todos los dispositivos de red se han usado cables de red UTP de categoría 5E y un switch TP-Link TL-SG1024D. Se ha desarrollado un conjunto de scripts que automatizan el proceso al completo, encargándose por tanto de la recepción, cifrado/descifrado y envío del conjunto de información mediante el protocolo de comunicación SSH. Este proceso ha sido automatizado con el objetivo de conseguir una mayor independencia del agente humano por parte del sistema.

La red montada para el proceso de test y verificación del sistema, usa un total de tres nodos, sin embargo, el diseño permite aumentar el número de dispositivos en base a las necesidades y capacidades físicas de la red.

Palabras clave

Red, Zynq, Conexión, AES, ApSoC.

Contenido

I	Contenido	21
1	Introducción	23
1.1	Objetivos	23
1.2	Descripción	23
1.3	Alcance	24
2	Metodología	25
2.1	Marco teórico	25
2.2	Tecnologías a utilizar	25
2.2.1	Diseño de la arquitectura	25
2.2.2	Diseño de componentes	25
2.3	Análisis del sistema	27
2.3.1	Hardware	27
2.3.2	Software	27
2.4	Diseño y desarrollo	29
2.4.1	Hardware	29
2.4.2	Software	30
2.5	Pruebas del sistema	30
2.5.1	Hardware	30
2.5.2	Software	31
3	Conclusiones y trabajo futuro	35
3.1	Conclusiones	35
3.2	Trabajo futuro	37

4 Referencias/Bibliografía	39
 II Anexos técnicos	 41
A Manuales de usuario	43
A.1 Clonación de tarjetas SD para tarjetas Zybo	43
A.1.1 Clonación de Linux en tarjeta SD	43
A.1.2 Inicio de Linux desde la tarjeta SD	43
A.1.3 Creación de usuarios	44
A.1.4 Habilitar SSH en placas Zybo	45
A.2 Creación de una infraestructura de red de tarjetas Zybo	47
A.2.1 Material necesario	47
A.2.2 Pasos para el montaje de la infraestructura	49
A.3 Test de interconexión de red Zybo	54
A.3.1 Descripción	54
A.4 Envío y recepción de ficheros	56
A.4.1 Entre ordenador y tarjeta	56
A.4.2 Entre tarjetas	57
A.5 Comunicación y tratamiento de ficheros	58
A.5.1 Introducción	58
A.5.2 Directorios	59
 B Scripts	 61
B.1 Inicio.sh	62
B.1.1 Diagrama de flujo	62
B.1.2 Código	63
B.2 Lanzador.sh	63
B.2.1 Diagrama de flujo	64
B.2.2 Código	64
B.3 Automatico.sh	65
B.3.1 Diagrama de flujo	65
B.3.2 Código	65

B.4	Recibiendo.sh	66
B.4.1	Diagrama de flujo	66
B.4.2	Código	66
B.5	Cristian.sh	67
B.5.1	Diagrama de flujo	68
B.5.2	Código	69
B.6	Enviando.sh	70
B.6.1	Diagrama de flujo	71
B.6.2	Código	72
B.7	Borrar.sh	73
B.7.1	Diagrama de flujo	73
B.7.2	Código	73

Lista de Figuras

2.1	Secuencia de trabajo	28
2.2	Interfaces de red en la tarjeta Zybo	29
2.3	Infraestructura de red de tarjetas Zybo	30
2.4	Prueba de Inicio.sh	31
2.5	Fichero inicial en el ordenador central y envío al primer nodo	32
2.6	Estado del fichero después de su modificación en Zybo1	33
2.7	Fichero final en el ordenador central	34
3.1	Red completa	35
3.2	Red sin nodo intermedio	36
3.3	Red sin primer nodo	36
A.1	Ejemplo de creación del usuario zybo0	44
A.2	Fichero sshd_config modificado	45
A.3	Reiniciando el servicio SSH	46
A.4	Placa Zybo Zynq 7010	47
A.5	Diagrama de Zybo Zynq 7010 procedente del manual de referencias	48
A.6	Interfaces de red del ordenador central	50
A.7	Configuración de PuTTY	51
A.8	Interfaces de red de la tarjeta Zybo	52
A.9	Líneas a modificar en el script Inicio.sh.	54
B.1	Diagrama de flujo de Inicio.sh	62
B.2	Diagrama de flujo de Lanzador.sh.	64
B.3	Diagrama de flujo de Automatico.sh.	65
B.4	Diagrama de flujo de Recibiendo.sh.	66
B.5	Diagrama de flujo de Cristian.sh.	68
B.6	Diagrama de flujo de Diagramas/Enviando.sh.	71
B.7	Diagrama de flujo de Borrar.sh.	73

Lista de Tablas

2.1 Direcciones IP de las tarjetas Zybo	27
A.1 Direcciones IP de las tarjetas	53

Parte I

Contenido

Capítulo 1

Introducción

1.1 Objetivos

El objetivo del trabajo es diseñar una red de nodos basada en tecnología ApSoC, de modo que cada uno de los nodos/elementos de la red reciban un fichero de datos, lo descifre, inserte información adicional y lo vuelva a cifrar antes de enviarlo a otro elemento de la red. El monitor generará el primer conjunto de datos que enviará a uno de los nodos, y cuando haya pasado por todos, recibirá el conjunto final. La red será privada y contará con un monitor basado en un ordenador personal.

1.2 Descripción

Cada uno de los nodos de la red será una tarjeta basada en la tecnología Zynq de Xilinx. Esta tecnología incluye un procesador ARM dual-core que se encargará de gestionar las comunicaciones en la red mediante protocolo TCP/IP. Para ello, se incluirá un sistema operativo basado en Linux.

El otro elemento constituyente de Zynq es lógica programable, en la que estará implementado el periférico cifrador/descifrador, ya diseñado y verificado en el trabajo de Fin de Grado de Cristian Ambrosio Costoya[1].

El diseño de la infraestructura de red implica:

1. La preparación e instalación de un arranque autónomo de cada tarjeta desde una memoria SD.
2. La interconexión física de las tarjetas y el monitor a través de un switch mediante una topología Ethernet, siendo el número de nodos ampliable de forma dinámica y automática.
3. Desarrollo de un conjunto de scripts para recibir, cifrar/descifrar, añadir información y enviar los ficheros de datos.
4. La creación y ejecución de un conjunto de pruebas que permitan confirmar el correcto funcionamiento de la red, en primera instancia, y el correcto funcionamiento del sistema de envío/recepción de datos, en segunda.

1.3 Alcance

El trabajo incluirá:

- Instalación física del ordenador personal que actuará como monitor.
- Creación de una imagen de arranque en tarjeta SD para las placas que formarán parte de la red. El arranque incluirá el bitstream necesario para configurar la lógica programable de Zynq con el IP AES core, así como el sistema operativo desarrollado por Gabriel Fernando Sánchez Reina [2] y los scripts.
- Instalación física y configuración de cada tarjeta en la red, y configuración del switch.
- Creación de los scripts necesarios para que cada nodo/tarjeta sea capaz de:
 - Recibir datos.
 - Descifre datos.
 - Añada datos.
 - Cifre datos.
 - Envíe el conjunto datos a otro nodo.
- Creación y ejecución de los tests que permitan comprobar el correcto funcionamiento de la infraestructura.
- Preparación del fichero de datos inicial en el monitor.
- Creación y ejecución de los tests que permitan comprobar el correcto funcionamiento de la transferencia, cifrado/descifrado y agregación de datos.

Capítulo 2

Metodología

2.1 Marco teórico

El punto de partida del proyecto consta de una serie de tarjetas Zybo [3] que incluyen la tecnología Zynq anteriormente citada, las cuales actuarán como nodos y que queremos conectar para realizar una comunicación entre ellas.

Dicha comunicación se establece para enviar un fichero entre ellas con el objetivo de recolectar una cierta información de cada una de ellas y enviarla al ordenador central.

2.2 Tecnologías a utilizar

2.2.1 Diseño de la arquitectura

La infraestructura a diseñar es una red privada Ethernet TCP/IP y consta de los siguientes elementos:

- Tarjetas Zybo Zynq-7010 actuando como nodos de la red.
- Un ordenador con sistema operativo Linux (Debian 10 Buster)¹ y Windows 10. Será denominado “monitor” y será el encargado de enviar el fichero inicial de datos y recibir el fichero final.
- Un switch Tp-Link TL-SG1024D.

2.2.2 Diseño de componentes

Ordenador monitor

El ordenador usado como monitor central es un Toshiba Satellite L750 que cuenta con los siguientes componentes:

- Procesador Intel Core I5-3240 quad-core.
- 6 Gb de memoria RAM.
- Disco duro SSD de 240 Gb.
- SO Debian 9 Stretch.

¹Es posible usar cualquier distribución de Linux.

Tarjetas Zybo Zynq 7010

Los componentes principales de este proyecto son las tarjetas Zybo Zynq 7010 que tienen las siguientes características:

- Procesador Cortex-A9 doble núcleo a 650 MHz.
- Memoria DDR3 con 8 canales de DMA².
- Controladores de periféricos de gran ancho de banda: 1Gb Ethernet, USB 2.0.
- Controladores de periféricos de bajo ancho de banda: SPI, UART, CAN, I²C.
- Ranura MicroSD (compatible con el sistema de archivos Linux).
- Lógica reprogramable equivalente a Artix-7 FPGA:
 - 4.400 segmentos lógicos, cada uno con cuatro LUT de 6 entradas y 8 flip-flops.
 - 512 MB x32 DDR3 con ancho de banda de 1050 Mbps.
 - Dos cristales de administración de reloj, cada uno con un bucle de fase bloqueada (PLL) y un administrador de reloj de modo mixto (MMCM).
 - Procesadores digitales de señales de 80 componentes.
 - Velocidades de reloj interno que exceden los 450MHz.
 - Convertidor analógico a digital en chip (XADC).

Switch

El switch utilizado es un Tp-Link TL-SG1024D con las siguientes especificaciones:

- Estándares y protocolos: IEEE 802.3i, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab , IEEE 802.3x.
- Interfaz: 24 puertos RJ45 a 10/100/1000 Mbps con negociación automática (MDI/MDIX automático).
- Medios de red: 10BASE-T: cable UTP categoría 3, 4, 5 (100 metros máximo) 100BASE-TX/1000BASE-T: cable UTP categoría 5, 5e o above cable (máximo 100 metros).
- Capacidad de conmutación: 48 Gbps.
- Tasa de reenvío de paquetes: 35.7 Mpps.
- Tabla de direcciones MAC: 8K.
- Certificaciones: FCC, CE, RoHS.

²Acceso Directo a Memoria: Permite a cierto tipo de componentes de una computadora acceder a la memoria del sistema para leer o escribir independientemente de la unidad central de procesamiento (CPU) principal.

2.3 Análisis del sistema

2.3.1 Hardware

- **Ordenador monitor:** Contará con un sistema operativo Linux. En este caso se ha usado Debian 9 Stretch y tendrá almacenado el fichero inicial de datos, que será modificado por el resto de nodos de la red, hasta que reciba el fichero final una vez que se complete la cadena. Es el punto de inicio y final de la cadena de nodos siendo tanto el emisor del fichero inicial como el receptor del fichero final (una vez que ha sido modificado por otros nodos de la red).
- **Nodos:** Cada tarjeta Zybo deberá incluir una instalación de un sistema operativo Linux para facilitar la gestión de los ficheros y las comunicaciones entre los nodos. El sistema operativo, el bitstream con el IP cifrador/descifrador y la aplicación forman una imagen desarrollada en el Trabajo de Fin de Grado de Gabriel Fernando Sánchez Reina [3]. Esta imagen, se clonará en las tarjetas de memoria SD incorporadas en cada tarjeta Zybo.

El proceso de clonación de las tarjetas SD lo podemos ver en el apéndice [Clonación de tarjetas SD para tarjetas Zybo](#).

Para el mejor reconocimiento de las tarjetas Zybo en la red, cada una contará con un nombre y una IP fija.

Dispositivo	Dirección IP
monitor	192.168.1.10
zybo1	192.168.1.11
zybo2	192.168.1.12
zybo3	192.168.1.13

Tabla 2.1: Direcciones IP de las tarjetas Zybo

- **Switch:** Se ha usado un switch Tp-Link TL-SG1024D al que no se le ha aplicado ninguna configuración adicional.

2.3.2 Software

Para la transmisión del fichero de datos, usaremos SSH [4] debido a que nos ofrece la mayor seguridad a la hora de enviar ficheros a través de la red.

Se han diseñado una serie de scripts para automatizar el proceso de transmisión, cifrado/descifrado y adición de datos. Estos scripts³ son los siguientes:

- **Inicio.sh:** Script encargado de probar las conexiones de todos los dispositivos de la red. Será lanzado manualmente desde el ordenador central para que el usuario pueda comprobar el estado de las conexiones. La ejecución de este script, será recomendado pero opcional.
- **Lanzador.sh:** Script encargado de lanzar el script `Automatico.sh`. Éste script será lanzado mediante la herramienta de programación de tareas `cron`.
- **Automatico.sh:** Script encargado de lanzar periódicamente los siguientes scripts cada segundo. Debido a su comportamiento periódico, podemos garantizar la correcta comprobación de los directorios y ficheros implicados en el proceso.
 - **Recibiendo.sh:** Script encargado de comprobar si se ha recibido algo y prepararlo para su tratamiento en cada nodo.

³Para ver detalladamente todos los scripts, ver el [Apéndice B](#).

- **Cristian.sh**: Script encargado de añadir información en cada nodo de la red. En el caso de tener implementado en hardware el IP cifrador/descifrador, será también el encargado de realizar el proceso de cifrado/descifrado a la información localmente añadida.
- **Enviando.sh**: Script encargado de enviar los datos al siguiente nodo. En caso de que no exista el siguiente nodo (o no esté disponible), se enviará de vuelta al ordenador central.
- **Borrar.sh**: Sctipt encargado de borrar vaciar todos los directorios de trabajo. Deberá ser lanzado manualmente por el usuario en caso de querer vaciar los directorios de trabajo.

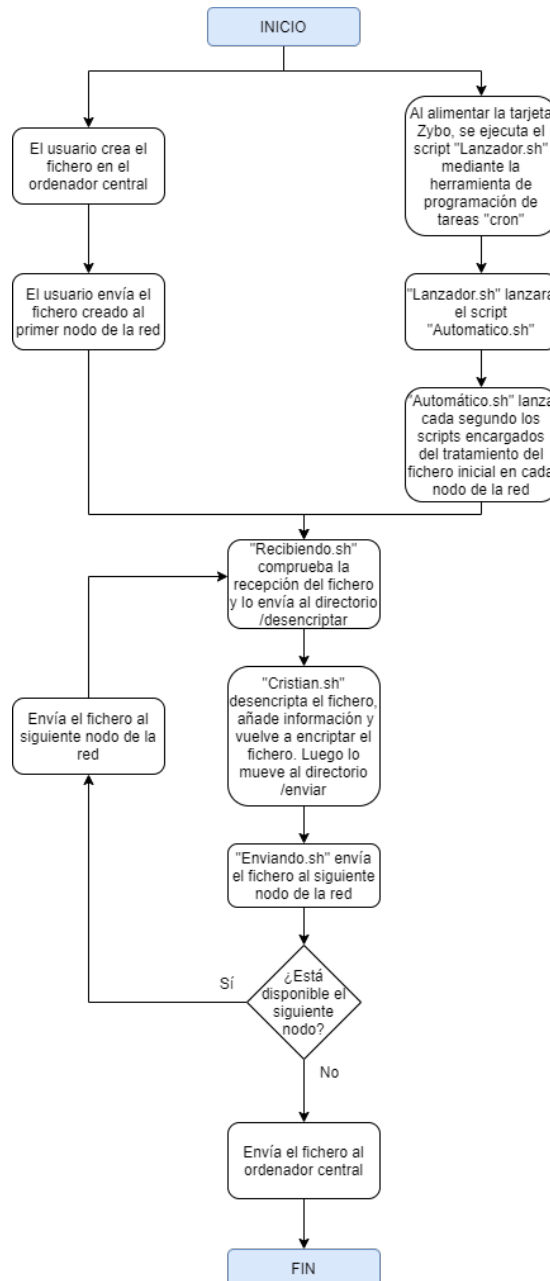


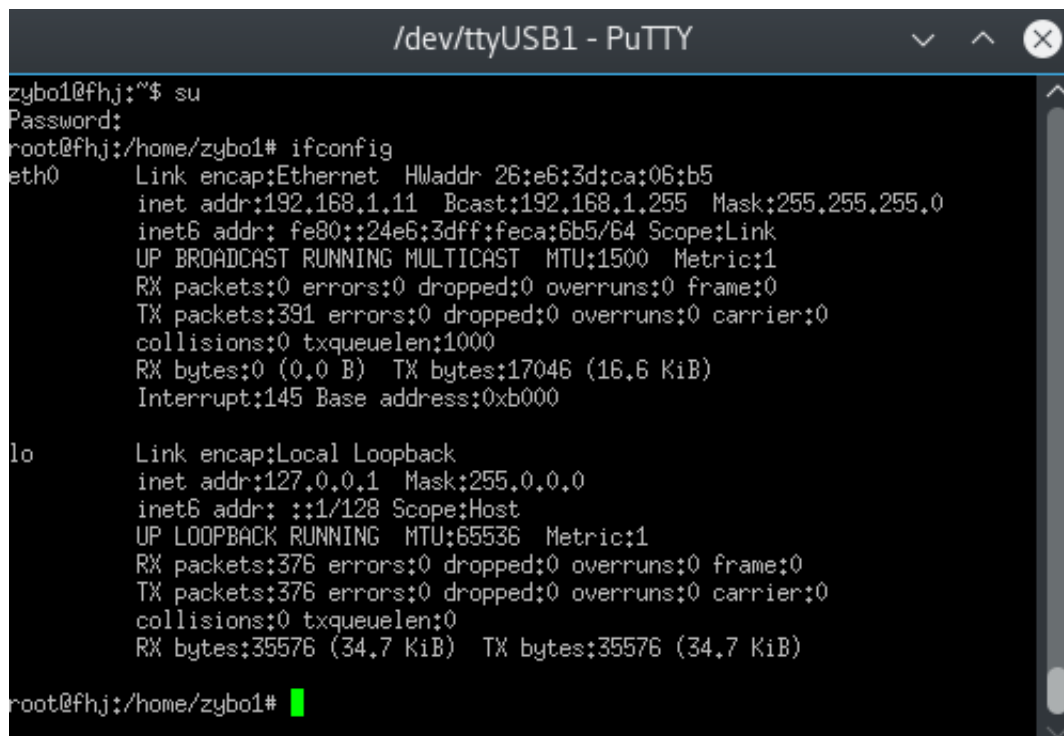
Figura 2.1: Secuencia de trabajo

2.4 Diseño y desarrollo

2.4.1 Hardware

Tanto las tarjetas Zybo como el ordenador monitor se conectarán al switch usando un cableado de red adecuado (podemos usar prácticamente cualquier tipo de cableado homologado, aunque, para este proyecto se han usado cables UTP categoría 5E).

Todos los dispositivos de la red tienen IP fija por lo que debemos configurar dichas IP en todos los ellos. Como estamos usando Linux, tendremos que configurar la IP en la interfaz correspondiente: Figura 2.2.



```
/dev/ttyUSB1 - PuTTY
zybo1@fhj:~$ su
Password:
root@fhj:/home/zybo1# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 26:e6:3d:ca:06:b5
          inet addr:192.168.1.11  Bcast:192.168.1.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::24e6:3dff:feca:6b5/64  Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:391 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:17046 (16.6 KiB)
          Interrupt:145 Base address:0xb000

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128  Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:376 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:376 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:35576 (34.7 KiB)  TX bytes:35576 (34.7 KiB)

root@fhj:/home/zybo1#
```

Figura 2.2: Interfaces de red en la tarjeta Zybo

Para asociar una dirección IP al nombre de cada dispositivo, tendremos que rellenar el fichero `/etc/hosts` de todos los dispositivos con las direcciones IP y el nombre de los dispositivos conectados a la red. Este archivo será idéntico en todos los dispositivos para garantizar una consistente agenda de direcciones.

Este proyecto ha sido diseñado para que se puedan usar tantas tarjetas como se requiera o como permitan las capacidades físicas de la red ya que solo habrá que ajustar el fichero `/etc/hosts` para añadir más nodos en caso de que sea necesario.

Todo el proceso de asignación de IP's para la creación de la infraestructura de red, lo podemos ver en el anexo [Creación de una infraestructura de red de tarjetas Zybo](#).

A la hora de hacer las pruebas del proyecto, hemos usado solo tres nodos cifradores/descifradores ya que es suficiente como para comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

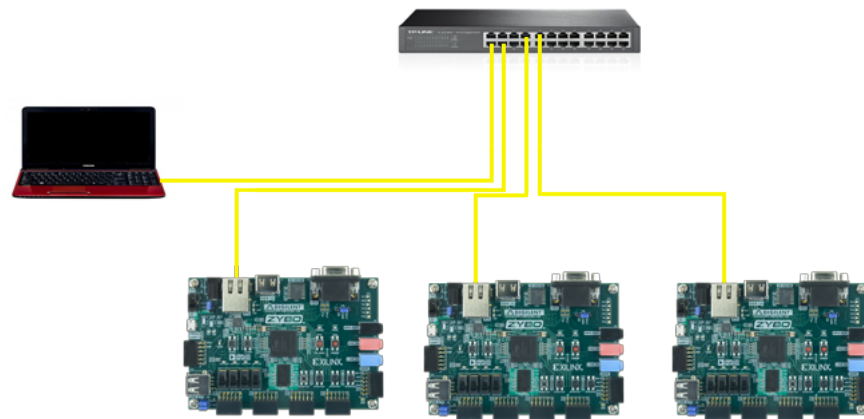


Figura 2.3: Infraestructura de red de tarjetas Zybo

2.4.2 Software

El proceso de comunicación se inicia en el ordenador monitor cuando éste envía un fichero a la primera tarjeta Zybo. Cuando ésta lo recibe, descifra el contenido, introduce los cambios necesarios, cifra el fichero y lo envía a la siguiente tarjeta.

Dicho proceso se lleva a cabo de la misma forma entre todas las tarjetas hasta que se llega a la última de éstas⁴, la cual envía el archivo nuevamente al ordenador monitor.

Toda esta comunicación se realiza gracias a la función de varios scripts programados en bash, por lo que tanto las tarjetas con Linux, como el ordenador monitor, son capaces de ejecutarlos.

Dichos scripts estarán automatizados mediante crontab⁵. Los podemos encontrar en el **Apéndice B** y se corresponden con la siguiente secuencia:

1. Recepción del fichero: Proceso llevado a cabo por el script **Recibiendo.sh**. Gracias al comando `stat` de Linux, podemos comprobar el estado del directorio de forma cíclica para poder detectar cualquier cambio (como la recepción de un fichero) en cuanto se produzca.
2. Adición de datos: Proceso llevado a cabo por el script **Cristian.sh**.
3. Envío del fichero: Proceso llevado a cabo por el script **Enviando.sh**. Gracias al protocolo SSH y a la herramienta `sshpas`⁶ de Linux, podremos enviar de forma automática el fichero modificado al siguiente nodo de la red.

En caso de que se quieran vaciar los directorios de trabajo, siempre se podrá lanzar de forma manual el script **Borrar.sh**.

2.5 Pruebas del sistema

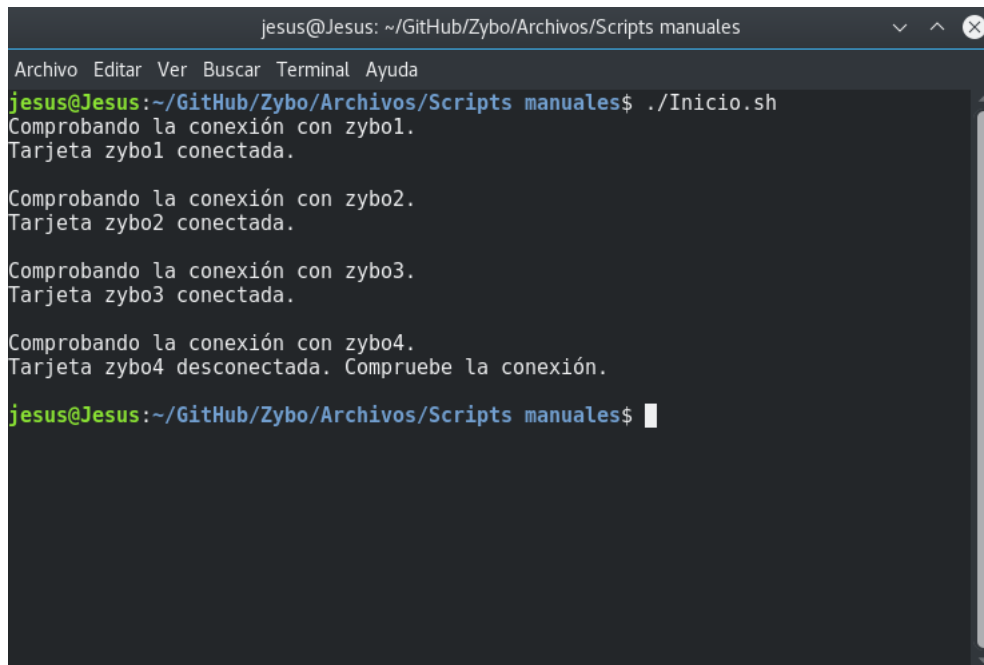
2.5.1 Hardware

Para realizar la prueba de la arquitectura de red, lanzaremos el script **Inicio.sh**. Este script, nos dirá qué tarjeta está conectada o desconectada de la red.

⁴Esto se puede ver en el archivo `/etc/hosts`, donde están almacenadas todas las direcciones IP de los dispositivos.

⁵Crontab es un administrador regular de procesos en segundo plano que ejecuta procesos o guiones a intervalos regulares.

⁶Esta herramienta es necesaria para poder funcionar automáticamente sin tener que aceptar manualmente la conexión con el servidor.



```
jesus@Jesus: ~/GitHub/Zybo/Archivos/Scripts manuales
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
jesus@Jesus:~/GitHub/Zybo/Archivos/Scripts manuales$ ./Inicio.sh
Comprobando la conexión con zybo1.
Tarjeta zybo1 conectada.

Comprobando la conexión con zybo2.
Tarjeta zybo2 conectada.

Comprobando la conexión con zybo3.
Tarjeta zybo3 conectada.

Comprobando la conexión con zybo4.
Tarjeta zybo4 desconectada. Compruebe la conexión.

jesus@Jesus:~/GitHub/Zybo/Archivos/Scripts manuales$
```

Figura 2.4: Prueba de Inicio.sh

2.5.2 Software

Para realizar las pruebas de funcionamiento, basta con alimentar los nodos participantes en la cadena. En ese momento se ejecuta automáticamente los scripts descritos en el [Apéndice B](#).

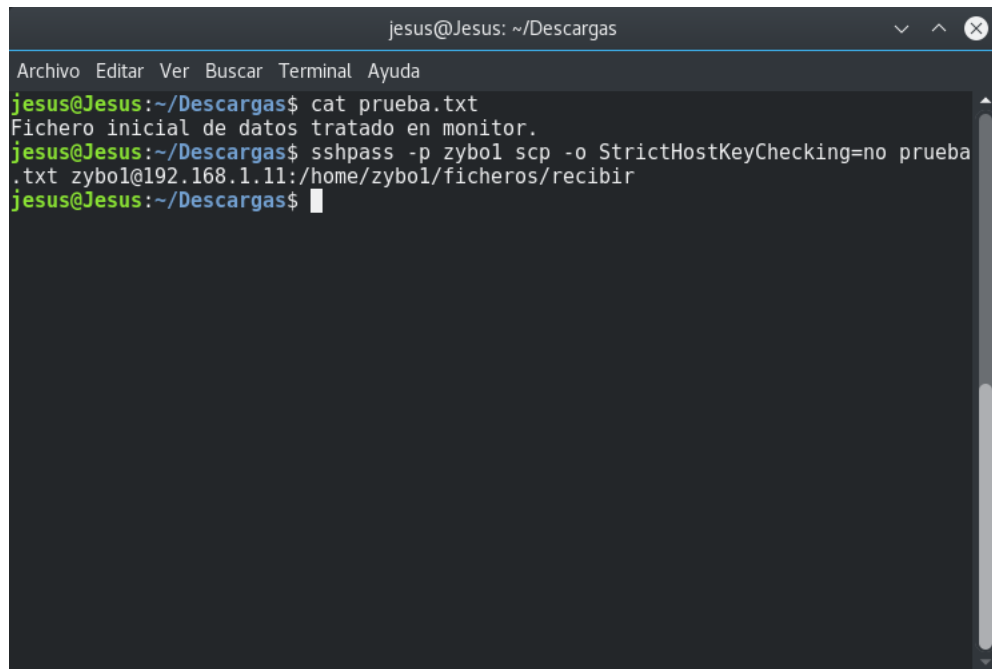
Para el correcto funcionamiento de estos scripts, se requiere que el monitor central disponga del fichero inicial de datos creado por el usuario y que dicho usuario lo envíe al primer nodo de la red.

Hecho esto, sucede lo siguiente:

1. Envío del fichero inicial a la primera tarjeta: Esto lo haremos gracias a la herramienta `sshpass` de Linux con la siguiente orden:

```
sshpass -p zyboX scp -o StrictHostKeyChecking=no archivoLocal
zyboX@zyboX:/home/zyboX/ficheros/recibir
```

Este proceso (Figura 2.5) lo podemos ver más detalladamente en el [Apéndice A.4](#).



```
jesus@Jesus: ~/Descargas
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
jesus@Jesus:~/Descargas$ cat prueba.txt
Fichero inicial de datos tratado en monitor.
jesus@Jesus:~/Descargas$ sshpass -p zybol scp -o StrictHostKeyChecking=no prueba
.txt zybol@192.168.1.11:/home/zybol/ficheros/recibir
jesus@Jesus:~/Descargas$
```

Figura 2.5: Fichero inicial en el ordenador central y envío al primer nodo

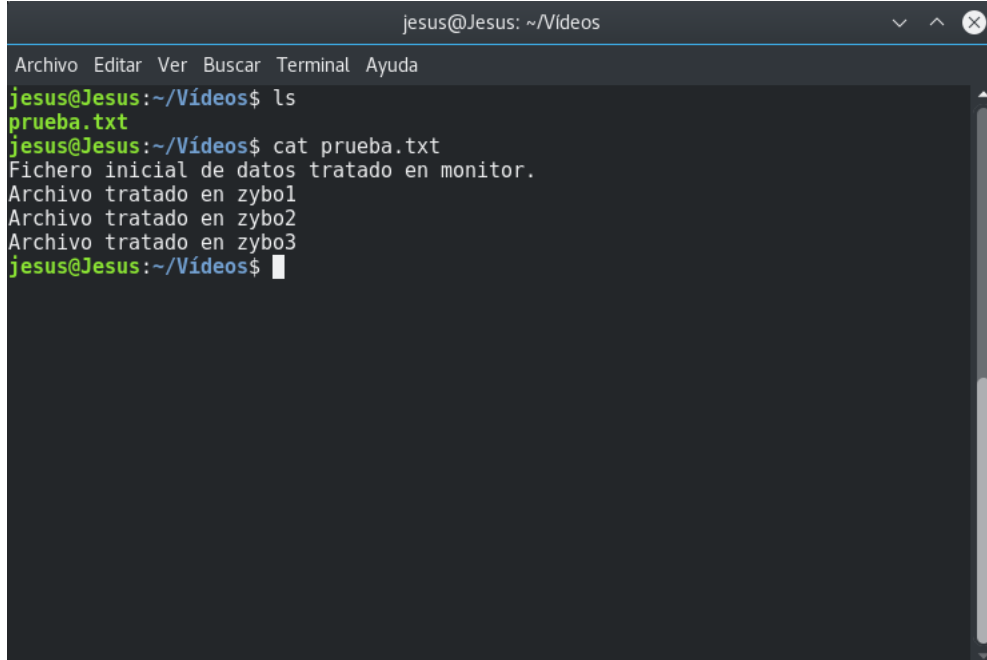
2. Recepción del fichero en las tarjetas: Será el script `Recibiendo.sh` el encargado de comprobar la llegada del fichero y actuar en consecuencia cambiándolo de directorio.
3. Modificación del fichero: El script `Cristian.sh` será el encargado de abrir el fichero, modificarlo en cada una de las tarjetas y dejarlo preparado para su envío al siguiente nodo de la red. Para comprobar que los resultados de este script son correctos, podemos usar los comandos que vemos en la Figura 2.6.

A screenshot of a terminal window titled 'zybol@fhj: ~/ficheros'. The terminal shows a series of commands and their outputs. The user first lists the contents of the 'recibir/' directory, which shows 'prueba.txt'. Then, the user runs 'cat recibir/prueba.txt', resulting in the output 'Fichero inicial de datos tratado en monitor.'. Next, the user runs 'cat trabajar/prueba.txt', also resulting in 'Fichero inicial de datos tratado en monitor.'. Finally, the user runs 'cat enviar/prueba.txt', which outputs 'Fichero inicial de datos tratado en monitor.' followed by 'Archivo tratado en zybol' on the next line. The terminal window has a menu bar with 'Archivo', 'Editar', 'Ver', 'Buscar', 'Terminal', and 'Ayuda'. The background is dark, and the text is light-colored.

Figura 2.6: Estado del fichero después de su modificación en Zybol

4. Envío del fichero hacia el siguiente nodo: Podemos distinguir dos tipos de envío del mismo fichero. Ambos llevados a cabo por el script **Enviando.sh**:
 - (a) Tarjeta-Tarjeta: Esta opción se dará cuando la tarjeta actual detecte que la siguiente tarjeta está conectada.
 - (b) Tarjeta-Ordenador: Esta opción se dará cuando la tarjeta no detecte a la siguiente tarjeta. Entonces, enviará el fichero de datos, de vuelta al ordenador central.

5. Recepción del fichero en el ordenador central: El fichero final de datos, será recibido en el directorio `/home/jesus/Videos` del ordenador central y contendrá los datos añadidos por todos los nodos de la red.



```
jesus@Jesus: ~/Videos
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
jesus@Jesus:~/Videos$ ls
prueba.txt
jesus@Jesus:~/Videos$ cat prueba.txt
Fichero inicial de datos tratado en monitor.
Archivo tratado en zybo1
Archivo tratado en zybo2
Archivo tratado en zybo3
jesus@Jesus:~/Videos$
```

Figura 2.7: Fichero final en el ordenador central

Capítulo 3

Conclusiones y trabajo futuro

3.1 Conclusiones

Después de las pruebas llevadas a cabo, podemos concluir el proyecto con un enfoque positivo. Gracias a la infraestructura de red creada, se ha conseguido con éxito una recopilación de datos colaborativa partiendo de un fichero inicial de datos desde el ordenador central, pasando por todos los nodos de la red y llegando, de nuevo, al ordenador central.

Además se ha conseguido que la información aportada por cada uno de los nodos de la red, está desligada de su dirección IP, de forma que, a priori, no se conozca la información que añadió cada nodo. El único inconveniente de esto es que, al ser una cadena secuencial, solo tendremos que saber qué nodos están conectados a la red para saber la información añadida por cada nodo.

Se pueden destacar varios escenarios de trabajo:

- Si todos los nodos están conectados correctamente a la red, se producirá un recorrido lineal que partirá desde el ordenador central, viajará por todos los nodos desde zybo1 hasta zyboX. Una vez que se recorra toda la cadena y, al no detectar el siguiente nodo, zybo(X+1), el fichero retornará al ordenador central.

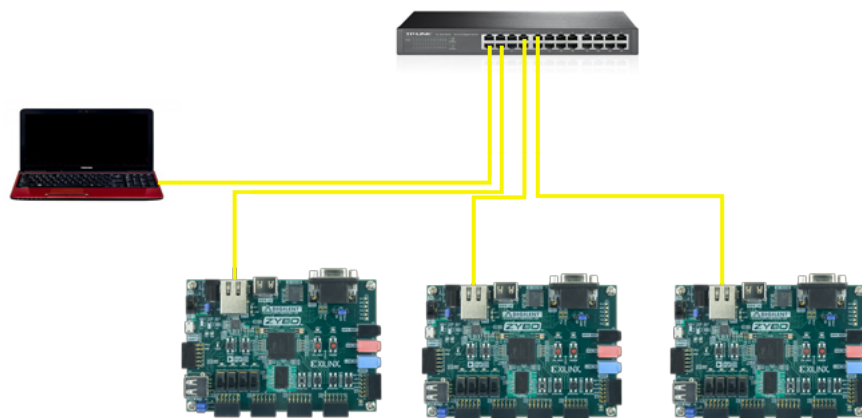


Figura 3.1: Red completa

- Cuando algún nodo intermedio de la red está desconectado, la cadena se romperá y, el nodo anterior, al no conseguir comunicación, enviará el fichero con la información recopilada al ordenador central, obviando el resto de nodos.

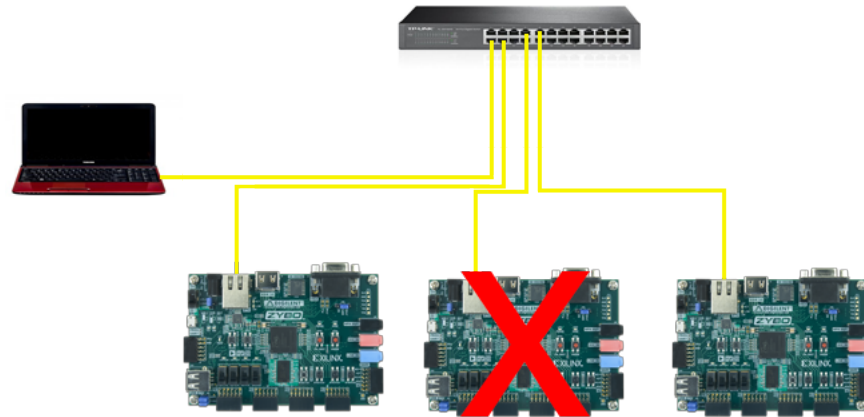


Figura 3.2: Red sin nodo intermedio

- Otro escenario será cuando el primer nodo de la red está desconectado.

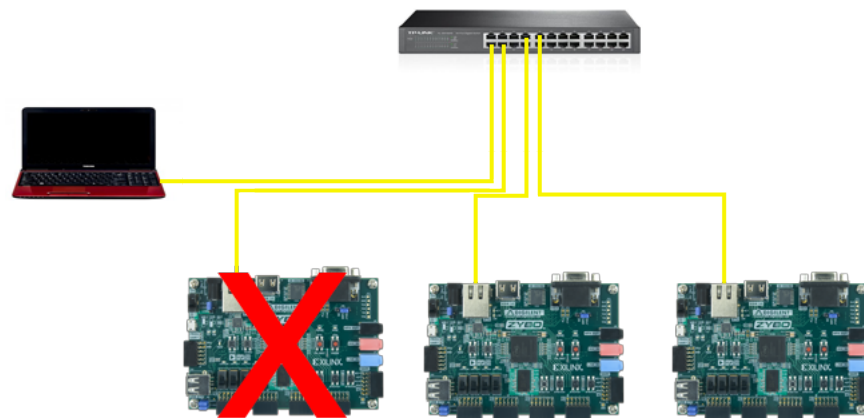


Figura 3.3: Red sin primer nodo

Entonces, tendremos dos opciones:

- Volver a revisar la conexión con el primer nodo hasta conseguir solucionar el problema.
- Usar como primer nodo el segundo, enviando el fichero inicial directamente al segundo nodo de la red.

Como ejemplo práctico de aplicación de esta red, se planteó como objetivo que la información aportada localmente por cada nodo fuera cifrada mediante un IP cifrador/descifrador AES [1]. Para llevar a cabo esta aplicación, era necesario contar con el driver incluido en el sistema operativo compilado en otro Trabajo de Fin de Grado [2]. A causa de la incompatibilidad de dicho sistema operativo compilado y los modelos de tarjeta Zybo utilizados en ambos proyectos, este objetivo no se ha podido completar.

3.2 Trabajo futuro

Como trabajo futuro quedaría cambiar la cadena de conexiones y que, en vez de recorrer los nodos de forma secuencial, se hiciera de forma aleatoria. De este modo, se conseguiría desligar totalmente la información de cada nodo que lo envía. Así, se conseguirá un desconocimiento total por parte del ordenador central sobre qué nodo añadió cada información a la cadena.

Para completar el trabajo de cifrado/descifrado de datos en la cadena de nodos de la red, deberíamos encontrar la compatibilidad con el sistema operativo aportado por el Trabajo de Fin de Grado de Gabriel Fernando Sánchez Reina. Una vez tengamos dicha compatibilidad y, debido a que dicho sistema operativo incluye el IP cifrador/descifrador de Cristian Ambrosio Costoya, ya podríamos realizar el cifrado/descifrado de los ficheros enviados por la red.

Otro posible uso de la red sería el tratamiento de una imagen, de modo que un IP dedicado a esto e implementado en el ApSoC, formara parte del nodo de red.

También se podría mejorar el proyecto incluyendo un módulo Wi-Fi, de modo que los nodos, no tengan que estar necesariamente conectados por cable. Esto nos daría la posibilidad de ubicar cada nodo donde quisiéramos (dentro de las capacidades físicas de la red Wi-Fi) y así poder usar dicha estructura en un entorno de IoT¹ para una casa o el edificio que necesitemos. Para este cambio no haría falta modificar nada del software aportado por este proyecto.

¹Internet of Things.

Capítulo 4

Referencias/Bibliografía

- [1] IP cifrador/descifrador como Trabajo de Fin de Grado de Cristian Ambrosio Costoya.
- [2] Interfaz de conexión entre Linux y el IP cifrador/descifrador como Trabajo de Fin de Grado de Gabriel Fernando Sánchez Reina.
- [3] Manual de referencia oficial de DIGILENT: https://reference.digilentinc.com/_media/zybo:zybo_rm.pdf.
- [4] Manual de SSH: <https://linux.die.net/man/1/ssh>.
- [5] Manual de la herramienta dd: <https://man7.org/linux/man-pages/man1/dd.1.html>
- [6] Manual de la herramienta sshpass: <https://linux.die.net/man/1/sshpas>.
- [7] Manual de scp: <https://linux.die.net/man/1/scp>.
- [8] Compresión y descompresión de ficheros <http://ecapy.com/comprimir-y-descomprimir-tgz-tar-gz-y-zip-por-linea-de-comandos-en-linux/index.html>.
- [9] Manual de stat: <https://linux.die.net/man/2/stat>.
- [10] Manual de crontab: <https://linux.die.net/man/1/crontab>.
- [11] Creación de diagramas de flujo gracias a la herramienta <https://app.diagrams.net/>.
- [12] Clonación de tarjetas SD en Linux: <https://www.altaruru.com/como-clonar-una-sd-raspberry-pi-orange-pi/>.
- [13] Protocolo SSH: https://es.wikipedia.org/wiki/Secure_Shell

Parte II

Anexos técnicos

Apéndice A

Manuales de usuario

A.1 Clonación de tarjetas SD para tarjetas Zybo

A.1.1 Clonación de Linux en tarjeta SD

Como sistema operativo de las tarjetas Zybo, usaremos el que creó nuestro compañero Gabriel Fernando Sánchez Reina [2], el cual ya está preparado para usar el IP hardware de Cristian Ambrosio Costoya [1].

Para ello, seguiremos los siguientes pasos:

- Insertaremos la tarjeta SD con el sistema operativo en nuestro ordenador.
- Mediante la herramienta `dd` [5], guardaremos un fichero con extensión `.img` en nuestro ordenador, que será la copia de seguridad de la tarjeta SD.

```
sudo dd if=/dev/sdb of=/media/jesus/Gabri/Zybo.img
```

- A continuación, introducimos una tarjeta SD vacía de igual o mayor capacidad en nuestro ordenador.
- Mediante la herramienta `dd`, restauramos la copia de seguridad anterior en la nueva tarjeta SD.

```
sudo dd if=/media/jesus/Gabri/Zybo.img of=/dev/sdb
```

A.1.2 Inicio de Linux desde la tarjeta SD

Para iniciar la tarjeta con Linux debemos seguir los siguientes pasos:

- Insertar la tarjeta SD en la placa Zybo.
- Cambiar el jumper JP5 a la posición SD para que arranque desde dicha tarjeta SD.
- Conectamos el cable USB de la placa al ordenador y arrancamos la placa.
- Abrimos un terminal de comunicación serie, PuTTY en la consola del ordenador¹. Ahora establecemos la conexión con la tarjeta Zybo y, podemos verificar la conexión y ver el arranque del sistema operativo.

¹Puerto `ttyUSB1` y velocidad 115200.

A.1.3 Creación de usuarios

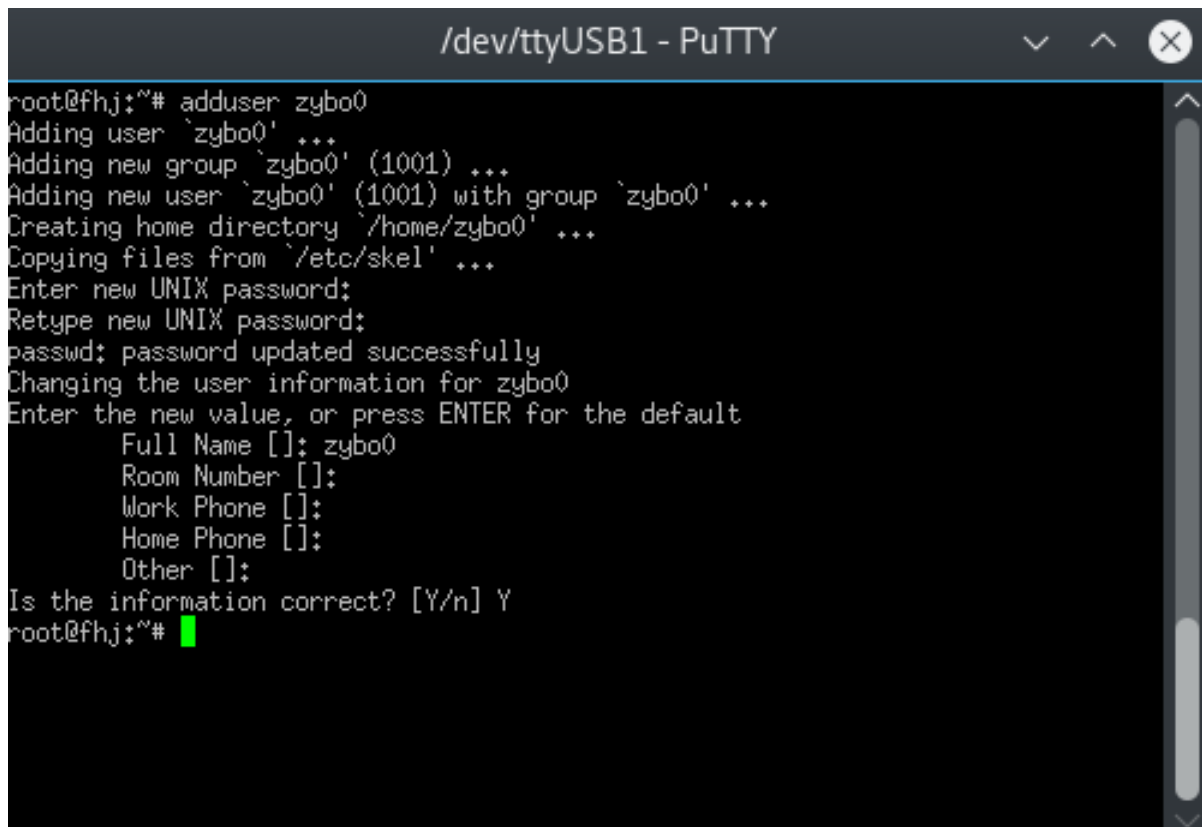
Al ser la primera vez que arrancamos el sistema operativo Linux, contamos únicamente con el usuario `root`, cuya contraseña es `root`. Por lo tanto, tenemos que crear otro usuario, que será con el que iniciemos sesión en las placas usando el comando:

```
adduser zyboX
```

Donde `X` es el identificador de la placa con la que estamos trabajando.

A continuación, tendremos que rellenar los siguientes campos:

- **Contraseña de usuario:** Introducimos la contraseña para el usuario creado. Si seguimos la nomenclatura que sigue el proyecto, será `zyboX`.
- **Repetir contraseña:** Repetiremos la contraseña para comprobar que no nos hemos equivocado.
- **Nombre:** Pondremos el nombre del usuario, `zyboX`, siguiendo la nomenclatura del proyecto.
- **Número de habitación, teléfono de trabajo y de casa, y “otro”:** Presionamos la tecla `ENTER` para dejarlo por defecto y continuar.



```
/dev/ttyUSB1 - PuTTY
root@fhj:~# adduser zybo0
Adding user `zybo0' ...
Adding new group `zybo0' (1001) ...
Adding new user `zybo0' (1001) with group `zybo0' ...
Creating home directory `/home/zybo0' ...
Copying files from `/etc/skel' ...
Enter new UNIX password:
Retype new UNIX password:
passwd: password updated successfully
Changing the user information for zybo0
Enter the new value, or press ENTER for the default
  Full Name []: zybo0
  Room Number []:
  Work Phone []:
  Home Phone []:
  Other []:
Is the information correct? [Y/n] Y
root@fhj:~#
```

Figura A.1: Ejemplo de creación del usuario `zybo0`

A.1.4 Habilitar SSH en placas Zybo

Para establecer una conexión entre el ordenador central y las placas, tendremos que usar el protocolo SSH, que viene deshabilitado por defecto en Linux.

Para habilitarlo tendremos que acceder al archivo `/etc/ssh/sshd_config` como super-usuario. Para ello, utilizaremos el siguiente comando:

```
nano /etc/ssh/sshd_config
```

A continuación, nos dirigimos a la línea que tiene la siguiente sentencia:

```
#PasswordAuthentication yes
```

Borramos la almohadilla (#), guardamos y cerramos el fichero.

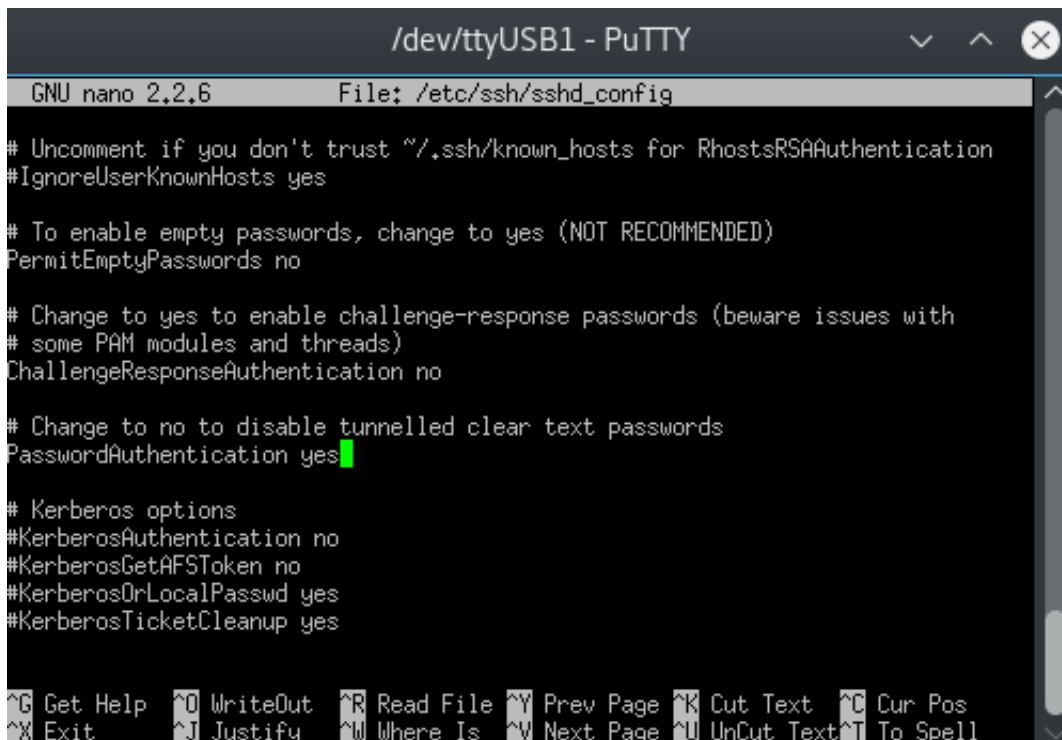
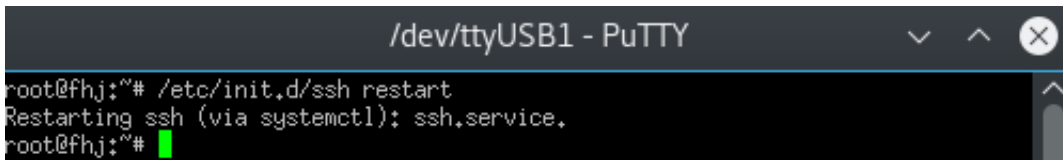


Figura A.2: Fichero `sshd_config` modificado

Para establecer los cambios realizados, debemos reiniciar el servicio SSH. Para ello utilizamos:

```
/etc/init.d/ssh restart
```

A screenshot of a PuTTY terminal window titled "/dev/ttyUSB1 - PuTTY". The terminal shows a root user at a machine named fhj. The user enters the command "/etc/init.d/ssh restart". The output of the command is "Restarting ssh (via systemctl): ssh.service.". The prompt returns to "root@fhj:~#" with a green cursor.

```
/dev/ttyUSB1 - PuTTY
root@fhj:~# /etc/init.d/ssh restart
Restarting ssh (via systemctl): ssh.service.
root@fhj:~#
```

Figura A.3: Reiniciando el servicio SSH

A partir de aquí ya podemos establecer conexiones SSH desde el ordenador central al resto de placas Zybo y enviar cualquier tipo de ficheros bien sea desde el ordenador central a las placas o bien, entre placas.

A.2 Creación de una infraestructura de red de tarjetas Zybo

A.2.1 Material necesario

Para la creación de la infraestructura de red física de placas Zybo contaremos con el siguiente material:

- Placas Zybo Zynq-7010.
- Un ordenador con sistema operativo Linux (Debian 9 Stretch)² y Windows 7.
- Un switch tp-link modelo TL-SG1024D.
- Software Vivado.

Placas Zybo Zynq-7000

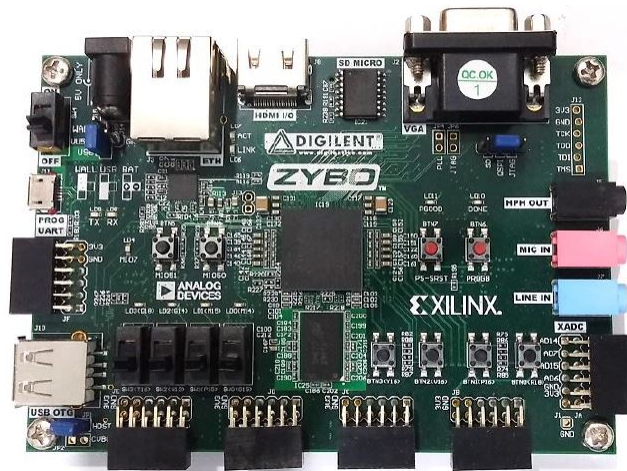


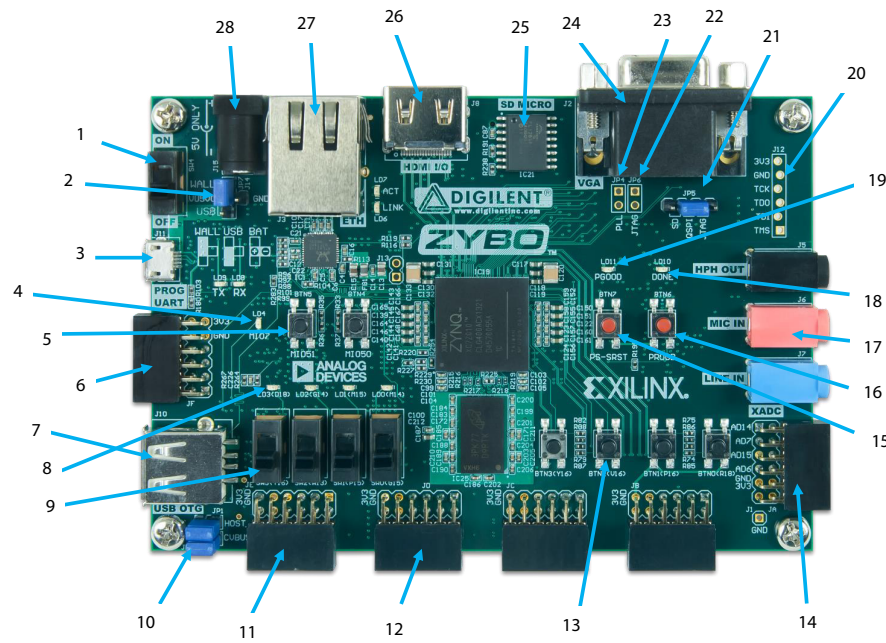
Figura A.4: Placa Zybo Zynq 7010

Para este proyecto necesitaremos poder programar la FPGA integrada en la placa desde la tarjeta SD de memoria. Para ello se va a preparar una imagen para que el procesador ARM integrado en la placa arranque desde la tarjeta SD y pueda programar la FPGA. El sistema operativo elegido es Linux.

Las placas Zybo Zynq 7010 tienen tres posibles modos de arranque que podemos seleccionar con el jumper JP5: QSPI, SD, JTAG. En este proyecto, el sistema operativo estará en la tarjeta SD, por lo tanto, tendremos que cambiar el jumper JP5 (situado arriba a la derecha) a la posición "SD"³.

²También es posible usar cualquier otra distribución de Linux.

³Dicho jumper está identificado con el número 21 en la imagen de la siguiente página.



Callout	Component Description	Callout	Component Description
1	Power Switch	15	Processor Reset Pushbutton
2	Power Select Jumper and battery header	16	Logic configuration reset Pushbutton
3	Shared UART/JTAG USB port	17	Audio Codec Connectors
4	MIO LED	18	Logic Configuration Done LED
5	MIO Pushbuttons (2)	19	Board Power Good LED
6	MIO Pmod	20	JTAG Port for optional external cable
7	USB OTG Connectors	21	Programming Mode Jumper
8	Logic LEDs (4)	22	Independent JTAG Mode Enable Jumper
9	Logic Slide switches (4)	23	PLL Bypass Jumper
10	USB OTG Host/Device Select Jumpers	24	VGA connector
11	Standard Pmod	25	microSD connector (Reverse side)
12	High-speed Pmods (3)	26	HDMI Sink/Source Connector
13	Logic Pushbuttons (4)	27	Ethernet RJ45 Connector
14	XADC Pmod	28	Power Jack

Figura A.5: Diagrama de Zybo Zynq 7010 procedente del manual de referencias

Fuente: Manual de referencia oficial de [DIGILENT®](https://www.digilentinc.com).

Ordenador central

- **Sistemas operativos:** El ordenador usado en el proyecto tendrá dos sistemas operativos.
 - **Debian 9 Stretch:** Este sistema operativo tendrá un usuario llamado `zybo` y su contraseña será `zybomonitor`. La contraseña para los permisos de super-usuario también será `zybomonitor`. Este sistema operativo realizará la clonación del sistema operativo Linux a partir de la imagen generada en el Trabajo de Fin de Grado de Gabriel Fernando Sánchez Reina [2].
- **Red:** El ordenador central tendrá dos interfaces de red:
 - **Red externa:** Interfaz que nos proporcionará acceso a Internet en el ordenador central mediante la red de la UCA.
 - **Red interna:** Interfaz conectada al switch del proyecto y tendrá la IP 192.168.1.10 (estática).

Switch

El switch usado en este proyecto es el modelo tp-link TL-SG1024D que cuenta con 24 puertos con tecnología Gigabit y conectores RJ-45. También cuenta con interfaz accesible para su configuración.

A.2.2 Pasos para el montaje de la infraestructura

Asignar direcciones IP

Para asignarles las direcciones de IP a los dispositivos diferenciamos entre:

- **Ordenador:** Debemos identificar la interfaz de red con la que estamos trabajando. Para ello, abrimos un terminal y ejecutamos el siguiente comando como super-usuario⁴:

```
ifconfig
```

⁴Comando `su` y contraseña `zybomonitor`.

```
zybo@Monitor: ~
Archivo  Editar  Ver  Buscar  Terminal  Ayuda
root@Monitor:/home/zybo# ifconfig
enp4s0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>  mtu 1500
        inet 10.142.14.78  netmask 255.255.0.0  broadcast 10.142.255.255
        inet6 fe80::221:70ff:fe3e:deca  prefixlen 64  scopeid 0x20<link>
        ether 00:21:70:3e:de:ca  txqueuelen 1000  (Ethernet)
        RX packets 1002726  bytes 292451083 (278.9 MiB)
        RX errors 0  dropped 247  overruns 0  frame 0
        TX packets 15307  bytes 1944983 (1.8 MiB)
        TX errors 0  dropped 0  overruns 0  carrier 0  collisions 0

enp5s0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>  mtu 1500
        ether 00:13:f7:71:b0:a3  txqueuelen 1000  (Ethernet)
        RX packets 542  bytes 33166 (32.3 KiB)
        RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
        TX packets 281  bytes 34689 (33.8 KiB)
        TX errors 0  dropped 0  overruns 0  carrier 0  collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING>  mtu 65536
        inet 127.0.0.1  netmask 255.0.0.0
        inet6 ::1  prefixlen 128  scopeid 0x10<host>
        loop txqueuelen 1  (Local Loopback)
        RX packets 12821  bytes 1070302 (1.0 MiB)
        RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
        TX packets 12821  bytes 1070302 (1.0 MiB)
        TX errors 0  dropped 0  overruns 0  carrier 0  collisions 0

root@Monitor:/home/zybo#
```

Figura A.6: Interfaces de red del ordenador central

En la figura A.6, podemos ver las siguientes interfaces:

- **enp4s0**: Interfaz de red externa.
- **enp5s0**: Interfaz de red interna.

Una vez identificada la interfaz, debemos acceder al fichero

/etc/network/interfaces.d/INTERFAZ⁵ como super-usuario con el siguiente comando:

```
gedit /etc/network/interfaces.d/enp5s0
```

Y lo modificamos de la siguiente forma:

```
1 allow-hotplug enp5s0
2     iface enp5s0 inet static
3         address 192.168.1.10
4         netmask 255.255.255.0
5         gateway 192.168.1.1
```

⁵Siendo INTERFAZ, la interfaz que estamos usando. En este ejemplo, enp5s0.

- **Tarjetas Zybo:** Conectamos la tarjeta mediante USB al ordenador y abrimos un terminal serie en PuTTY⁶ e iniciamos sesión en Linux⁷.

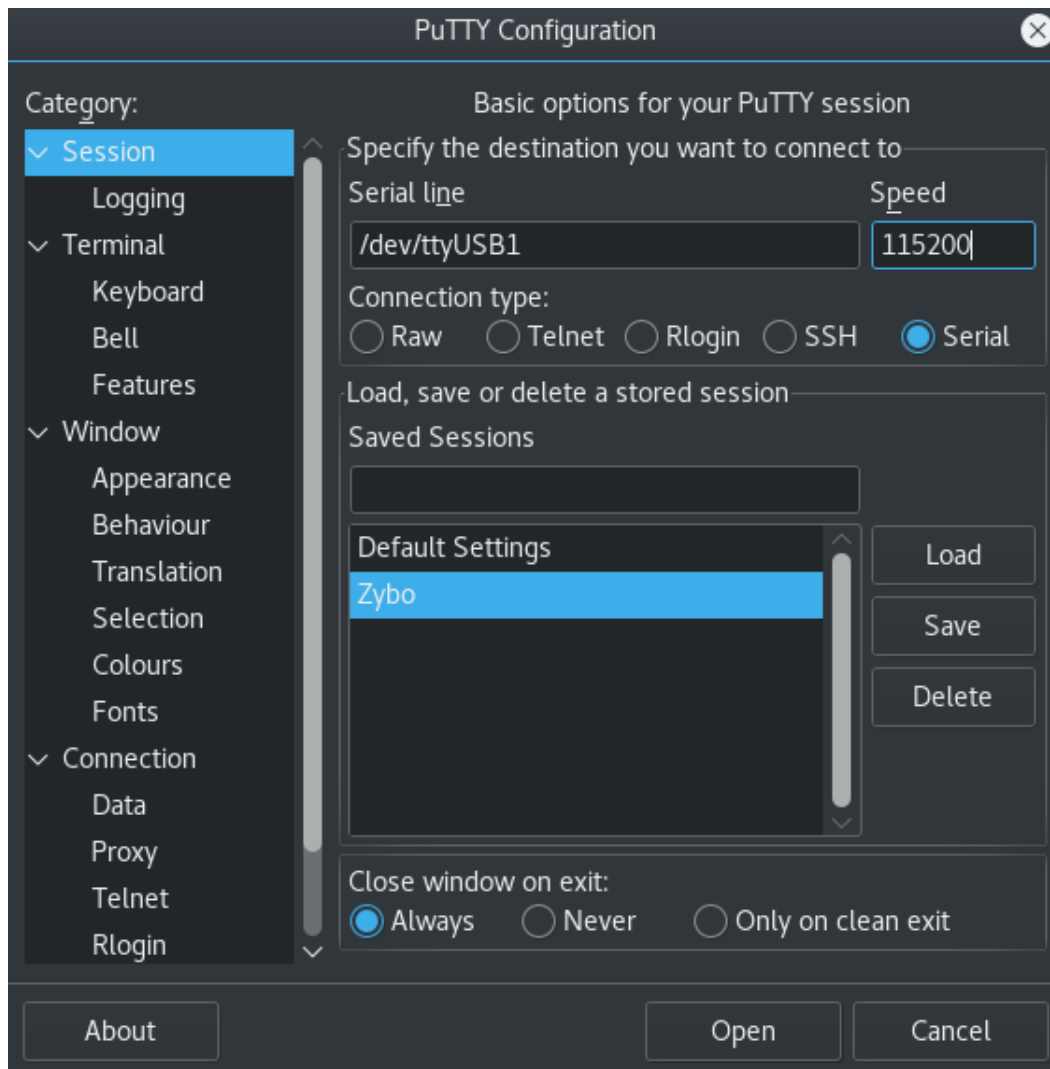


Figura A.7: Configuración de PuTTY

Debemos identificar la interfaz de red con la que estamos trabajando. Para ello, ejecutamos el siguiente comando como super-usuario⁸:

```
ifconfig
```

⁶Puerto ttyUSB1 y velocidad 115200.

⁷Usuario: zyboX; contraseña zyboX. Siendo X el identificador de la tarjeta.

⁸Comando su y contraseña root.

```

/dev/ttyUSB1 - PuTTY
zybo1@fhj:~$ su
Password:
root@fhj:/home/zybo1# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 26:e6:3d:ca:06:b5
          inet addr:192.168.1.11  Bcast:192.168.1.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::24e6:3dff:feca:6b5/64  Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:391 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:17046 (16.6 KiB)
          Interrupt:145 Base address:0xb000

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128  Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:376 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:376 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:35576 (34.7 KiB)  TX bytes:35576 (34.7 KiB)

root@fhj:/home/zybo1#

```

Figura A.8: Interfaces de red de la tarjeta Zybo

Una vez identificada la interfaz, debemos acceder al fichero

/etc/network/interfaces.d/INTERFAZ⁹ como super-usuario con el siguiente comando:

```
nano /etc/network/interfaces.d/eth0
```

Y lo modificamos de la siguiente forma:

```

1 allow-hotplug eth0
2     iface eth0 inet static
3         address 192.168.1.11
4         netmask 255.255.255.0
5         gateway 192.168.1.1

```

⁹Siendo INTERFAZ, la interfaz que estamos usando. En este ejemplo eth0.

Para establecer la dirección IP del resto de dispositivos, repetiremos el proceso y estableceremos las direcciones IP siguiendo la siguiente tabla:

Dispositivo	Dirección IP
Monitor	192.168.1.10
Zybo1	192.168.1.11
Zybo2	192.168.1.12
Zybo3	192.168.1.13
Zybo4	192.168.1.14

Tabla A.1: Direcciones IP de las tarjetas

Las tarjetas estarán identificadas como ZyboX (siendo “X” el identificador de la tarjeta con la que estamos trabajando) y el ordenador se identificará como “Monitor”.

Se puede observar que el número identificador de la tarjeta coincide con el último número de la dirección IP –10, de tal forma que si queremos añadir la tarjeta Zybo10, su dirección IP será 192.168.1.20.

Conexión al switch de las placas Zybo

Una vez tengamos los dispositivos identificados tenemos que conectarlos al switch¹⁰. No es necesario una configuración previa del switch ni entrar en su interfaz web, ya que no vamos a requerir acciones avanzadas.

Para probar la conectividad entre todos los dispositivos tendremos que ejecutar el test de interconexión de red. Dicho test se encuentra descrito en el anexo **Test de interconexión de red Zybo**.

¹⁰Podemos conectar los dispositivos al puerto del switch que queramos debido a que se encargará de ir rellenando su tabla CAM con las direcciones de los dispositivos que tiene conectados.

A.3 Test de interconexión de red Zybo

A.3.1 Descripción

Una vez se han conectado todos los dispositivos al switch como se indicó en el tutorial de creación de una infraestructura de red de placas Zybo, y, estando encendidos todos los dispositivos, necesitamos comprobar que existe conexión entre todos ellos.

Para ello, se ha desarrollado un script en bash, llamado `Inicio.sh`, que comprueba el estado de conexión de los dispositivos. En este script se pueden definir las tarjetas Zybo que se vayan a usar, con su alias y su dirección IP de red (previamente establecida). Para ello, tendremos que abrir el fichero `Inicio.sh` con nuestro editor favorito y cambiar las siguientes líneas:

```
3 direcciones=(192.168.1.11 192.168.1.12 192.168.1.13 192.168.1.14)
4 tarjetas=(zybo1 zybo2 zybo3 zybo4)
```

Figura A.9: Líneas a modificar en el script `Inicio.sh`.

- **Línea 3:** Introducir la dirección IP de la tarjeta que queramos añadir. O borrar la que queramos quitar.
- **Línea 4:** Introducir el alias de la tarjeta que queramos añadir. O borrar la que queramos quitar.

El script será ejecutado desde el ordenador central abriendo una terminal en el directorio donde se ubique el mismo. Este script lo podemos encontrar en el apéndice [Inicio.sh](#).

Cabe destacar que tiene dos modos de funcionamiento:

Normal

En esta opción, la salida del script será meramente informativa, devolviendo si la tarjeta está o no conectada a la red.

- Se ejecuta mediante el comando:

```
./Inicio.sh
```

- El script lanza cuatro paquetes de ping a cada una de las tarjetas, una por una, guardando el resultado del mismo comando en una variable y sin mostrarla por pantalla.
- Mediante scraping¹¹ el script lee la salida del último de los paquetes de ping.
- **Éxito:** Si en dicho texto no se encuentra la secuencia “100% packet loss” indicará que la tarjeta está conectada.
- **Fracaso:** Si en dicho texto se encuentra la secuencia “100% packet loss” indicará que la tarjeta a la cual se está realizando el ping, no está conectada.

¹¹Técnica usada mediante programas software para extraer información de un texto.

Verboso

En esta opción, la salida del script es más detallada ya que muestra más información al respecto de la conexión.

- Se ejecuta mediante el comando:

```
./Inicio.sh -v
```

- El script lanza cuatro paquetes de ping a cada una de las tarjetas, una por una.
- Mediante la opción `-v` le indicamos que nos muestre por pantalla la salida de los comandos de ping, para ver el estado de la conexión más detalladamente.

A.4 Envío y recepción de ficheros

Para el envío y recepción de archivos entre los distintos dispositivos, usaremos la utilidad `sshpass` [7] que está diseñada para ejecutar `ssh` de modo no-interactivo.

Para instalar `sshpass` lo haremos de la siguiente forma tanto en el ordenador central como en las tarjetas zybo:

1. Entramos en modo super-usuario con el comando: `su`¹².
2. Introducimos el siguiente comando para la instalación de `sshpass`:

```
apt-get install sshpass
```

A.4.1 Entre ordenador y tarjeta

Para el envío de archivos, independientemente de su extensión, mediante `ssh`¹³ desde el ordenador a las tarjetas Zybo debemos usar el siguiente comando en un terminal del ordenador ubicado en el directorio donde está el archivo que queremos enviar:

```
sshpass -p zyboX scp -o StrictHostKeyChecking=no archivoLocal  
zyboX@zyboX:/home/zyboX/ficheros/recibir
```

Siendo:

- **zyboX:** La tarjeta Zybo a la que queremos enviar el archivo¹⁴. Por ejemplo: `zybo1`.
- **archivoLocal:** Nombre del archivo local que queremos enviar.
- **Directorio /ficheros/recibir:** Directorio donde se recibirán los archivos en el proyecto¹⁵.

¹²La contraseña será `zybomonitor` (para el ordenador central), o `root` (para las tarjetas).

¹³La opción “`-o StrictHostKeyChecking=no`” que encontraremos en los siguientes comandos se usa para evadir la confirmación de conexión y que la acepte inmediatamente.

¹⁴Gracias a la existencia del fichero `/etc/hosts` tenemos asociada cada tarjeta con su dirección de red. Por lo tanto, solo tenemos que poner el alias de la tarjeta para referirnos a su dirección IP.

¹⁵Si queremos enviar un fichero a otra ubicación, solo debemos cambiar la ruta donde queremos enviarlo.

A.4.2 Entre tarjetas

Para el envío de archivos entre las tarjetas Zybo tenemos dos formas, manual y automática:

Manual

Debemos conectarnos a las placas por SSH, desde el ordenador central, usando el siguiente comando:

```
sshpass -p zyboX ssh -o StrictHostKeyChecking=no zyboX@zyboX
```

Donde X es el identificador de la placa a la que nos queremos conectar.

Luego, nos situamos en el directorio donde se encuentra el archivo de la primera placa que queramos enviar a la segunda, y escribimos el siguiente comando:

```
sshpass -p zyboX scp -o StrictHostKeyChecking=no archivoLocal  
zyboX@zyboX:/home/zyboX/ficheros/recibir
```

Siendo:

- **zyboX:** La tarjeta Zybo a la que queremos enviar el archivo. Por ejemplo: zybo1.
- **archivoLocal:** Nombre del archivo local que queremos enviar.
- **Directorio /ficheros/recibir:** Directorio donde se recibirán los archivos en el proyecto¹⁶.

Automática

Usaremos el script `Enviando.sh` situado en el directorio `~/ficheros` de las placas Zybo. Este script lo podemos encontrar en el apéndice `Enviando.sh`

Este script usará el mismo comando que el scp [7] de forma manual, pero estará parametrizado para que lo envíe al siguiente dispositivo.

¹⁶Si queremos cambiar el directorio, solo tenemos que cambiarlo al igual que en el caso ordenador-placa.

A.5 Comunicación y tratamiento de ficheros

En este documento se desarrolla un tutorial de envío y recepción de ficheros mediante SSH entre los dispositivos de la red de manera secuencial y automática.

Para conseguir dicha finalidad, las tarjetas iniciarán automáticamente un proceso que comprobará si les envían un fichero nuevo y, en caso de que así sea, realizarán alguna modificación en él y lo enviarán a la siguiente tarjeta, o, en caso de que dicha tarjeta sea la última, al ordenador central.

Particularmente, la tarea a realizar aquí consta de la recepción de un fichero cifrado, su descifrado, modificación, cifrado y, por último, su envío hacia el siguiente dispositivo.

Se describirá una estructura de directorios que serán recorridos por el fichero inicial en sus distintos estados. Basándonos en dichos estados, nombraremos los directorios tal como se describen a continuación:

- `/ficheros/recibir`: Directorio donde se recibirán los ficheros.
- `/ficheros/desencriptar`: Directorio donde se dejan los ficheros una vez descryptados.
- `/ficheros/trabajar`: Directorio donde se dejan los ficheros para incluir los datos y volverlo a cifrar.
- `/ficheros/enviar`: Directorio donde se dejan los ficheros que están listos para ser enviados al siguiente dispositivo.

A.5.1 Introducción

Para realizar una comunicación automática y secuencial entre los distintos dispositivos, cada tarjeta Zybo Zynq 7010 contará con la siguiente estructura de directorios:

```
~/ficheros/backups/
|                   |ViejoEnviar.txt
|                   |ViejoRecibir.txt
|                   |ViejoTrabajar.txt
|desencriptar/..
|enviar/..
|recibir/..
|trabajar/..
|Automatico.sh
|Borrar.sh
|Cristian.sh
|Enviando.sh
|Recibiendo.sh
```

Este árbol de directorios estará en el archivo `ficheros.tar.gz` que se encontrará en el ordenador central y será distribuido a cada tarjeta mediante `ssh`¹⁷ con el siguiente comando:

```
sshpass -p zyboX scp -o StrictHostKeyChecking=no ficheros.tar.gz zyboX@zyboX:
```

Luego, entramos en la tarjeta mediante `ssh` con el siguiente comando:

¹⁷Recordemos que, tanto para `ssh` como para `scp`, el elemento `zyboX` es el identificador de la tarjeta Zybo con la que estamos trabajando.

```
sshpass -p zyboX ssh -o StrictHostKeyChecking=no zyboX@zyboX
```

Para ver si tenemos el archivo `ficheros.tar.gz` usamos el comando:

```
ls
```

A continuación, aplicamos el siguiente comando para descomprimir [8] el archivo `ficheros.tar.gz`:

```
tar -xzf ficheros.tar.gz
```

Se nos creará el árbol de directorios anteriormente citado en el directorio `/home` de la tarjeta Zybo a la que hayamos accedido.

Para que la automatización del proceso se lleve a cabo correctamente, también tendremos que modificar el fichero `/etc/hosts` de la tarjeta. Para ello, enviamos el fichero con el siguiente comando:

```
sshpass -p zyboX scp -o StrictHostKeyChecking=no hosts zyboX@zyboX:
```

Y, luego, lo copiamos como super-usuario¹⁸ en el directorio `/etc` con el siguiente comando:

```
cp hosts /etc
```

Una vez hecho esto, el proceso de automatización estaría listo para ser lanzado.

A.5.2 Directorios

En este apartado, describiremos los distintos directorios que podemos encontrar en las tarjetas Zybo una vez que se ha descomprimido el archivo `ficheros.tar.gz`.

Dicha descripción se hará siguiendo el orden que recorrerá el archivo recibido desde el ordenador central, salvo el directorio `/backups` que se describirá primero ya que no interviene de forma directa en el camino a recorrer por el archivo recibido.

Directorio `/backups`

En este directorio se guardarán los últimos estados de los directorios nombrados a continuación, generados por el comando `stat` [9].

- **ViejoDesencriptar.txt:** Este fichero contendrá el estado del directorio `/desencriptar` una vez que el script `Desencriptando.sh` lo compruebe. Si no se producen cambios en dicho directorio, este fichero no se modificará.
- **ViejoEnviar.txt:** Este fichero contendrá el estado del directorio `/enviar` una vez que el script `Enviando.sh` lo compruebe. Si no se producen cambios en dicho directorio, este fichero no se modificará.
- **ViejoRecibir.txt:** Este fichero contendrá el estado del directorio `/recibir` una vez que el script `Recibiendo.sh` lo compruebe. Si no se producen cambios en dicho directorio, este fichero no se modificará.
- **ViejoTrabajar.txt:** Este fichero contendrá el estado del directorio `/trabajar` una vez que el script `Trabajando.sh` lo compruebe. Si no se producen cambios en dicho directorio, este fichero no se modificará.

¹⁸Comando: `su`, y contraseña `root`.

Directorio /recibir

Este directorio contendrá los ficheros enviados por otros dispositivos mediante ssh¹⁹.

Directorio /desencriptar

Este directorio contendrá los ficheros enviados desde el directorio /recibir por el script `Recibiendo.sh` que comprobará el estado del directorio anterior.

Directorio /trabajar

Este directorio contendrá los ficheros enviados por el script `Cristian.sh` que comprobará el estado del directorio anterior.

Será donde se realicen las acciones específicas que se contemplan en este tutorial.

Directorio /enviar

Este directorio contendrá los ficheros enviados por el script `Cristian.sh` que comprobará el estado del directorio anterior.

Una vez aquí, dichos ficheros estarán listos para pasar al siguiente dispositivo.

¹⁹Para ver como enviar ficheros desde un dispositivo a otro hasta este directorio, ver el documento “Envío y recepción de ficheros con sshpass”.

Apéndice B

Scripts

En este apéndice, describiremos los distintos scripts que podemos encontrar en las tarjetas Zybo con su explicación y código correspondiente.

Dicha descripción se hará siguiendo el orden que recorrerá el archivo recibido desde el dispositivo anterior hasta ser enviado al siguiente dispositivo.

Para comprobar el estado de todos los directorios, usaremos el comando `stat` para comprobar el estado de los directorios.

En el trabajo aquí mencionado se emula el desenscriptado de un fichero, adición de información, cifrado, y envío del mismo a otro dispositivo¹.

¹Para cambiar dicho comportamiento, solo tendremos que modificar los scripts que se encargan de automatizar el proceso.

B.1 Inicio.sh

El script se encarga de probar las conexiones de todos los dispositivos de la red para ver que están conectados al switch.

B.1.1 Diagrama de flujo

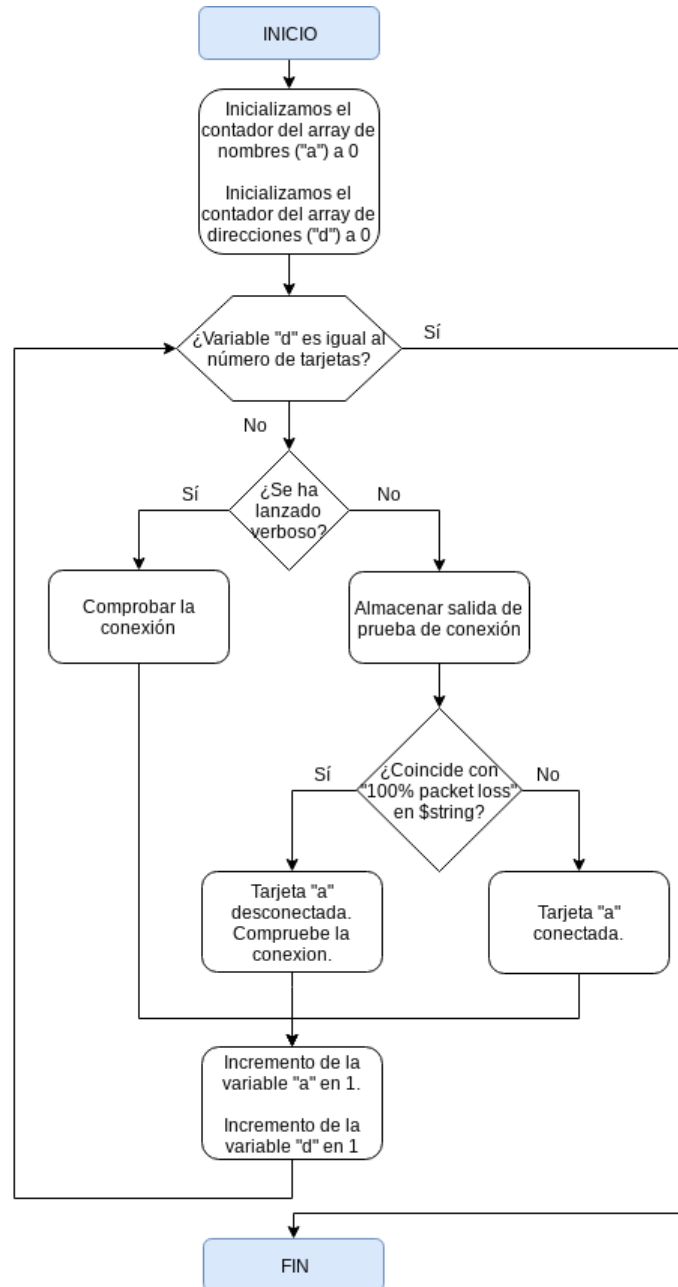


Figura B.1: Diagrama de flujo de `Inicio.sh`

B.1.2 Código

```

1  #!/bin/bash
2
3  #Inicio.sh
4
5  direcciones=(192.168.1.11 192.168.1.12 192.168.1.13 192.168.1.14)
6  tarjetas=(zybo1 zybo2 zybo3 zybo4)
7  a=0
8  for d in "${direcciones[@]}"
9  do
10   if [[ $1 = "-v" ]]; then
11     echo Comprobando la conexión con ${tarjetas[a]}.
12     ping -c 4 $d
13   else
14     echo Comprobando la conexión con ${tarjetas[a]}.
15     string=$(ping -c 4 $d)
16     if [[ $string == *100%\ packet\ loss* ]]; then
17       echo Tarjeta ${tarjetas[a]} desconectada. Compruebe la conexión.$'\n'
18     else
19       echo Tarjeta ${tarjetas[a]} conectada.$'\n'
20     fi
21   fi
22   let a=a+1
23 done

```

Código de Inicio.sh usando cuatro tarjetas como ejemplo.

B.2 Lanzador.sh

Este script se encarga de lanzar el script Automático.sh mediante la herramienta crontab [10] al inicio del sistema operativo Linux.

Para usarlo, debemos usar el siguiente comando:

```
crontab -e
```

Y, luego, añadir la regla que queramos que se ejecute al final del fichero. En nuestro caso es la siguiente:

```
@reboot (cd ~/ficheros; ./Lanzador.sh)
```

Esto hará que la herramienta cron inicie este script al iniciar el sistema operativo Linux de las tarjetas Zybo.

B.2.1 Diagrama de flujo

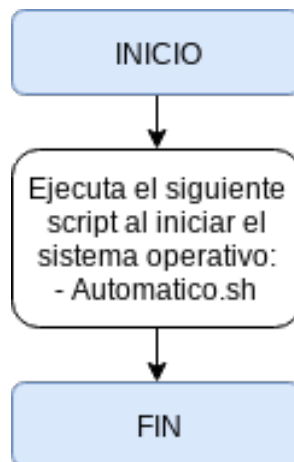


Figura B.2: Diagrama de flujo de `Lanzador.sh`.

B.2.2 Código

```
1 #!/bin/bash
2
3 #Lanzador.sh
4
5 ./Automatico.sh
```

Código de `Lanzador.sh`.

B.3 Automatico.sh

Este script es el encargado de lanzar el resto de scripts periódicamente para que vayan comprobando los directorios correspondientes y se produzca la comunicación de forma automática.

B.3.1 Diagrama de flujo

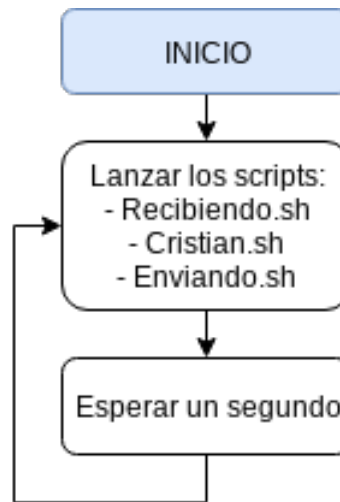


Figura B.3: Diagrama de flujo de Automatico.sh.

B.3.2 Código

```
1 #!/bin/bash
2
3 #Automatico.sh
4
5 while :
6 do
7     ./Recibiendo.sh
8     ./Cristian.sh
9     ./Enviando.sh
10    sleep 1
11 done
```

Código de Anexos/Anexo3/Automatico.sh.

B.4 Recibiendo.sh

Este script es el encargado de comprobar el estado del directorio ~/ficheros/recibir y, si llega un archivo nuevo, enviarlo al directorio ~/ficheros/desencriptar.

B.4.1 Diagrama de flujo

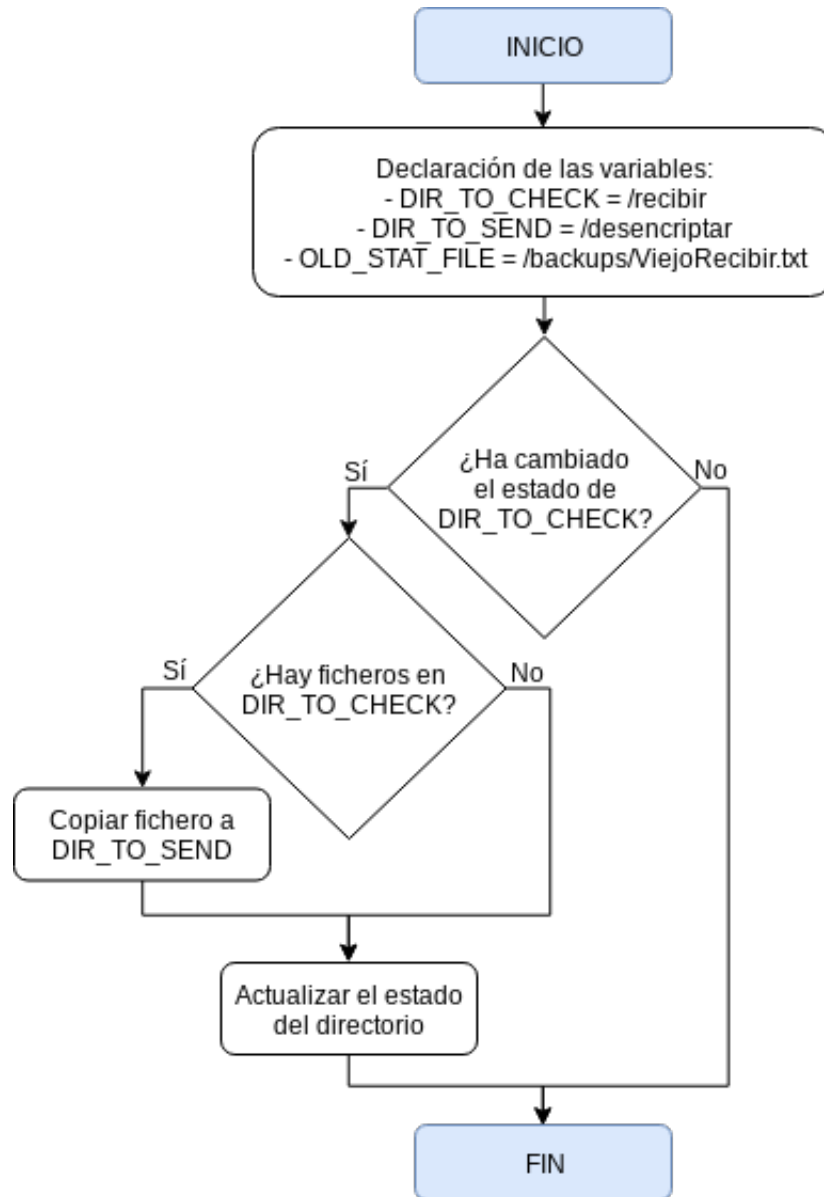


Figura B.4: Diagrama de flujo de `Recibiendo.sh`.

B.4.2 Código

```
1 #!/bin/bash
2
```

```

3 #Recibiendo.sh
4
5 DIR_TO_CHECK=$PWD/recibir #Directorio que queremos inspeccionar
6
7 DIR_TO_SEND=$PWD/desencriptar #Directorio donde enviar
8
9 OLD_STAT_FILE=$PWD/backups/ViejoRecibir.txt #Estado del directorio
10
11 if [ -e $OLD_STAT_FILE ]
12 then
13     OLD_STAT=`cat $OLD_STAT_FILE`
14 else
15     OLD_STAT="nothing"
16 fi
17
18 NEW_STAT=`stat -t $DIR_TO_CHECK`
19
20 if [ "$OLD_STAT" != "$NEW_STAT" ]
21 then
22
23     cd $DIR_TO_CHECK
24
25     n=$(ls | wc -l)
26     cero=0
27
28     if [[ n -ne cero ]]
29     then
30         fichero=$(ls -t | head -1) #Obtenemos el fichero más reciente
31         cp $fichero $DIR_TO_SEND
32     fi
33     echo $NEW_STAT > $OLD_STAT_FILE #Actualiza el estado del directorio
34 fi

```

Código de Recibiendo.sh.

B.5 Cristian.sh

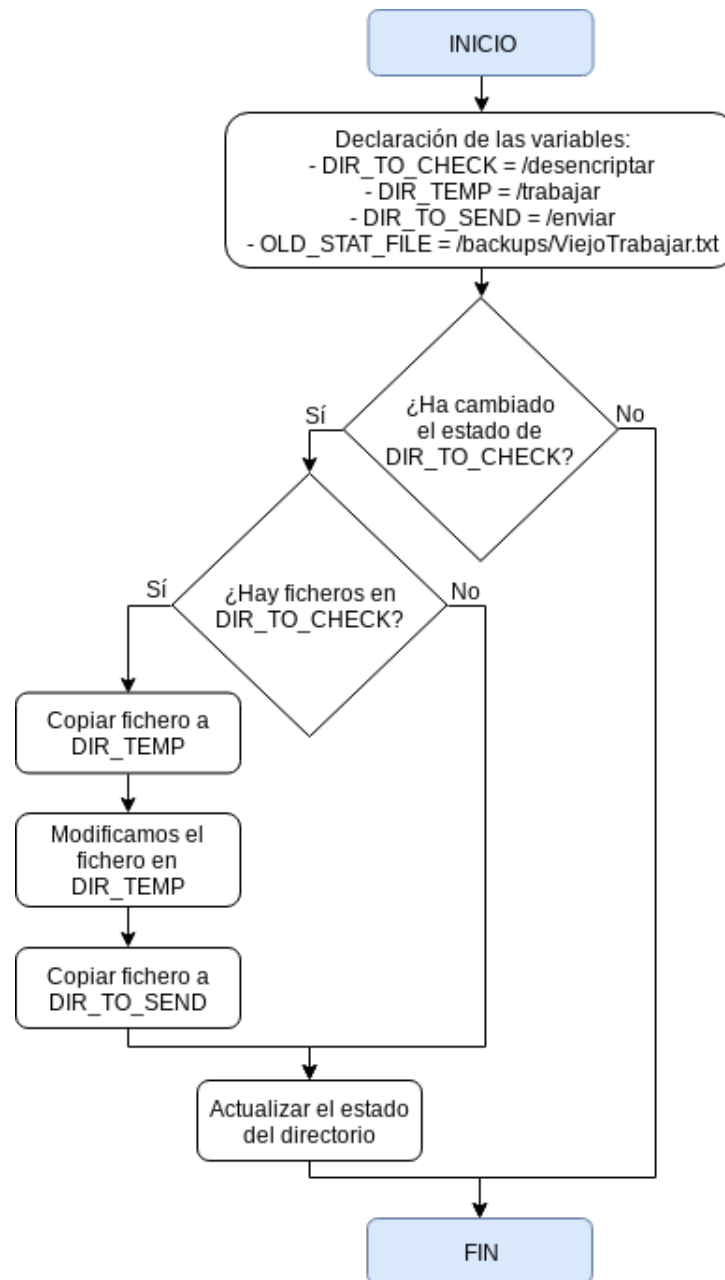
Este script es el encargado de añadir la información local en cada nodo. Nuevamente, si se contara con el IP hardware cifrador/descifrador, este script sería el encargado de realizar el cifrado/descifrado de la información:

- Gracias al crontab establecido, se encarga de comprobar periódicamente el estado del directorio ~/ficheros/desencriptar.
- Mueve el archivo allí situado al directorio ~/ficheros/trabajar (simulando el desencriptado del mismo).
- Una vez allí, añade un texto como el siguiente:

Archivo tratado en zyboX

Siendo zyboX el identificador de la tarjeta con la que estamos trabajando.

- Por último, envía el fichero al directorio ~/ficheros/enviar.

B.5.1 Diagrama de flujoFigura B.5: Diagrama de flujo de `Cristian.sh`.

B.5.2 Código

```

1  #!/bin/bash
2
3  #Cristian.sh
4
5  DIR_TO_CHECK=$PWD/desencriptar #Directorio que queremos inspeccionar
6
7  DIR_TEMP=$PWD/trabajar #Directorio temporal para trabajar
8
9  DIR_TO_SEND=$PWD/enviar #Directorio donde enviar
10
11 OLD_STAT_FILE=$PWD/backups/ViejoTrabajar.txt #Estado del directorio
12
13 if [ -e $OLD_STAT_FILE ]
14 then
15     OLD_STAT=`cat $OLD_STAT_FILE`
16 else
17     OLD_STAT="nothing"
18 fi
19
20 NEW_STAT=`stat -t $DIR_TO_CHECK`
21
22 if [ "$OLD_STAT" != "$NEW_STAT" ]
23 then
24
25     cd $DIR_TO_CHECK
26
27     n=$(ls | wc -l)
28     cero=0
29
30     if [[ n -ne cero ]]
31     then
32         fichero=$(ls -t | head -1) #Obtenemos el fichero más reciente
33         cp $fichero $DIR_TEMP
34         cd $DIR_TEMP
35         tarjeta=$(cat /etc/passwd | cut -d : -f1 | grep zybo)
36         echo 'Archivo_tratado_en_'$tarjeta >> $fichero
37         cp $fichero $DIR_TO_SEND
38     fi
39     echo $NEW_STAT > $OLD_STAT_FILE #Actualiza el estado del directorio
40 fi

```

Código de Cristian.sh.

B.6 Enviando .sh

Este script es el encargado de comprobar periódicamente el estado del directorio `~/ficheros/enviar` y, cuando detecta un cambio, envía el archivo a la siguiente tarjeta, o, si ésta se encuentra desconectada, al ordenador central.

A la hora de comprobar si la siguiente tarjeta está conectada o no, se hace enviando un comando `ping` a la siguiente tarjeta, por lo que se nos presentarán dos posibles casos:

- **Éxito:** La tarjeta está conectada y será allí donde se envíe el fichero.
- **Fracaso:** La tarjeta no está conectada y el fichero será enviado al ordenador central.

Para que podamos usar el comando `ping` desde este script, debemos darle permisos de ejecución en modo usuario de la siguiente forma:

1. Entramos como super-usuario con el comando `su` y contraseña `zyboX` (siendo `X` el identificador de la tarjeta con la que estamos trabajando).
2. A continuación, introducimos el siguiente comando:

```
chmod u+s /bin/ping
```

Y con eso, quedaría activado el comando `ping` para poder usarlo desde este script.

B.6.1 Diagrama de flujo

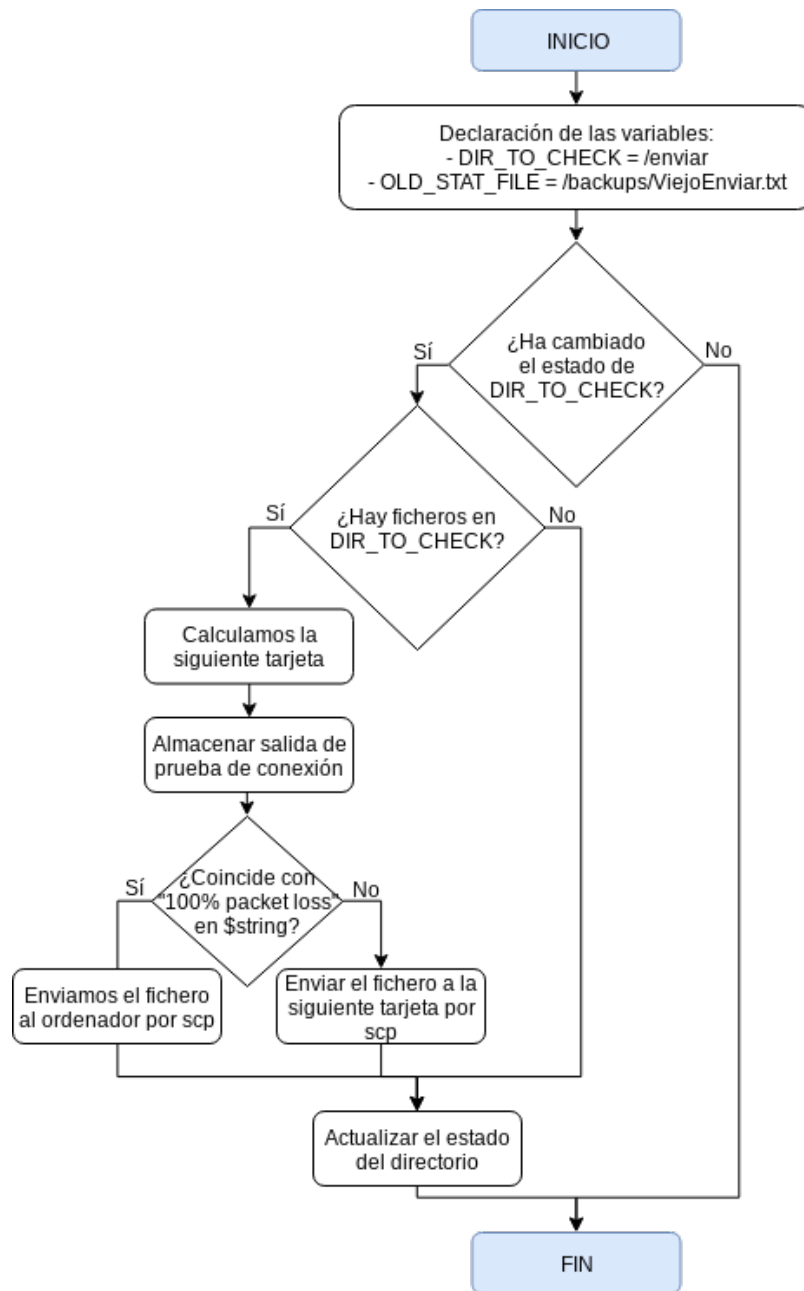


Figura B.6: Diagrama de flujo de Diagramas/Enviando.sh.

B.6.2 Código

```

1  #!/bin/bash
2
3  #Enviando.sh
4
5  DIR_TO_CHECK=$PWD/Enviar #Directorio que queremos inspeccionar
6
7  OLD_STAT_FILE=$PWD/backups/ViejoEnviar.txt #Estado del directorio
8
9  if [ -e $OLD_STAT_FILE ]
10 then
11     OLD_STAT=`cat $OLD_STAT_FILE`
12 else
13     OLD_STAT="nothing"
14 fi
15
16 NEW_STAT=`stat -t $DIR_TO_CHECK`
17
18 if [ "$OLD_STAT" != "$NEW_STAT" ]
19 then
20
21     cd $DIR_TO_CHECK
22
23     n=$(ls | wc -l)
24     cero=0
25
26     if [[ n -ne cero ]]
27     then
28         fichero=$(ls -t | head -1) #Obtenemos el fichero más reciente
29
30         actual=$(cat /etc/passwd | cut -d : -f1 | grep zybo)
31         nActual=$(echo ${actual##*o})
32         let nSiguiente=nActual+1
33         siguiente=zybo$nSiguiente
34
35         string=$(ping -c 3 $siguiente)
36
37         if [[ $string == *100%\ packet\ loss* ]]
38         then
39             sshpass -p zybomonitor scp -o StrictHostKeyChecking=no $fichero
40                 zybo@monitor:/home/zybo/Documento/Zybo
41         else
42             siguienteZybo=$siguiente
43             siguienteZybo+=@
44             siguienteZybo+=$siguiente
45             siguienteZybo+=:/home/
46             siguienteZybo+=$siguiente
47             siguienteZybo+=/ficheros/recibir
48
49             sshpass -p $siguiente scp -o StrictHostKeyChecking=no $fichero
50                 $siguienteZybo
51         fi
52     fi
53 fi
54 echo $NEW_STAT > $OLD_STAT_FILE #Actualiza el estado del directorio
55 fi

```

Código de Enviando.sh.

B.7 Borrar.sh

Este script se encarga de borrar el contenido de los directorios ~/ficheros/recibir, ~/ficheros/desencriptar, ~/ficheros/trabajar y ~/ficheros/enviar de las tarjetas Zybo.

Para ejecutarlo solo debemos usar el siguiente comando en el directorio ~/ficheros de las tarjetas Zybo:

```
./Borrar.sh
```

B.7.1 Diagrama de flujo

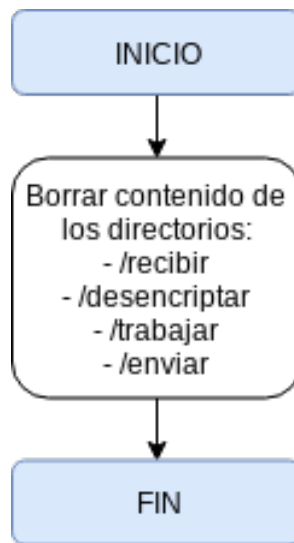


Figura B.7: Diagrama de flujo de Borrar.sh.

B.7.2 Código

```
1 #!/bin/bash
2
3 #Borrar.sh
4
5 rm recibir/*
6 rm desencriptar/*
7 rm trabajar/*
8 rm enviar/*
```

Código de Borrar.sh.