

# Diseño e Implantación de un Laboratorio para la Docencia de Redes Telemáticas

G. Maciá-Fernández, J. E. Díaz-Verdejo, P. García-Teodoro, J. M. López-Soler, J. J. Ramos Muñoz, F. de Toro Negro, P. Ameigeiras Gutiérrez, J. Navarro Ortiz

Dpto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones. Universidad de Granada.

E-mail: {gmacia, jedv, pgteodor, juanma, jjramos, ftoro, pameigeiras, jorgenavarro}@ugr.es

**Abstract.** *The current paper presents the design of a laboratory targeted for educational purposes in telematic networks and technologies. The laboratory has been designed to offer a wide range of teaching possibilities in the disciplines of Wide Area Networks, Local Area Networks, switching and access technologies. It allows practical training in fields such as ATM, X.25, Frame Relay, LAN interconnection, network monitoring, WLAN, ISDN and telephony technologies. The design has been based on several criteria relevant for educational purposes. The result is a laboratory well suited to cover the aspects related to teaching telematics in a telecommunications engineering degree.*

## 1 Introducción

La implantación de los estudios de Telecomunicación en la Universidad de Granada ha generado unas necesidades docentes que incluyen la puesta en funcionamiento de un laboratorio de redes que posibilite una formación lo más completa posible de los alumnos, de acuerdo a los contenidos teóricos incluidos en el plan de estudios de la titulación. En este artículo se describe la implantación de un laboratorio para la interconexión de diferentes tipos de redes telemáticas cuyo objetivo es satisfacer las necesidades formativas mencionadas. En consecuencia, el objetivo docente primario del laboratorio es permitir la realización de prácticas que desarrollen las capacidades de los alumnos en el área de la interconexión de diferentes tipos de redes.

Para ello, se deben considerar equipos que implementen tecnologías existentes en los distintos ámbitos que engloban las redes de telecomunicaciones, desde los equipos que componen las redes troncales, pasando por las tecnologías de acceso a los servicios telemáticos y finalizando en la configuración y utilización de los equipos del usuario final. En el diseño y especificación del laboratorio ha sido necesario considerar, obviamente, tanto los aspectos presupuestarios como el plan de estudios de la titulación a la que va destinado, que determina el volumen de equipos y las tecnologías más relevantes (véanse las experiencias previas [1] y [2]).

El presente artículo se estructura en los siguientes apartados. El Apartado 2 se centra en el establecimiento de los criterios de diseño considerados globalmente. Basándose en esos criterios, el Apartado 3 describe la solución adoptada, tanto a nivel físico como a nivel lógico, así como el proceso de decisión seguido. A continuación, en el Apartado 4 se presenta un conjunto de prácticas representativas que muestran el alto grado de funcionalidad y nivel técnico que permite el

laboratorio. El último apartado presenta las conclusiones de este artículo.

## 2 Criterios de diseño

Los criterios de diseño considerados más relevantes para la realización de las prácticas relacionadas con la docencia en Ingeniería Telemática son los siguientes:

**Funcionalidad elevada.** El equipamiento del laboratorio ha de permitir que los alumnos realicen actividades que les permitan afianzar sus conocimientos, tanto en redes de área extensa, en el acceso a dichas redes, en telefonía fija y en redes de área local.

**Independencia.** El diseño del laboratorio debe permitir que los diferentes grupos reducidos de alumnos trabajen con la misma o distintas tecnologías de forma simultánea e independiente, de forma no haya injerencias entre grupos.

**Visibilidad.** Los alumnos deben poder observar y acceder físicamente a los equipos y a las conexiones.

**Sencillez.** En el etiquetado de equipos, la asignación de direcciones, numeración, etcétera, se considerará la sencillez como requisito indispensable, de forma que sea fácil de entender y de utilizar.

**Robustez.** Este laboratorio será utilizado por muchos alumnos que realizarán prácticas especializadas, por lo que tendrán acceso a múltiples funcionalidades y, en muchos casos, con privilegios de administrador. Por ello, será esencial poder volver a un estado estable del laboratorio así como poder realizar modificaciones en los equipos de forma simple y centralizada, facilitando así la tarea al administrador del laboratorio.

**Flexibilidad.** El laboratorio debe presentar el mayor grado de flexibilidad posible en cuanto al uso de las tecnologías implantadas (combinaciones de tecnologías, complejidad de las redes a estudiar, etc.).

### 3 Diseño e implementación del laboratorio

A partir de las características previamente indicadas, se ha considerado un diseño lógico del laboratorio que presenta tres características destacables. Por una parte, se ha establecido un número de conjuntos idénticos de equipos, cada uno de los cuales incorpora todas las funcionalidades y tecnologías que se implantarán, y operan, en principio, de forma aislada de las restantes (*independencia y sencillez*). Estos conjuntos, que serán descritos con mayor detalle en el subapartado siguiente, han sido denominados *islas*. Por otra parte, aunque pueda ir en contra del criterio de *independencia*, las islas se encuentran interconectadas entre sí, posibilitando la conformación de topologías y redes más complejas y primando así la *flexibilidad*.

Adicionalmente, los equipos de usuario se encuentran conectados tanto a las redes internas del laboratorio, a través de las islas, como a la propia red de la Escuela. Este último aspecto resulta relevante en lo que respecta a la *flexibilidad* de uso del laboratorio y, sobre todo, a la *robustez*, ya que permite la integración de los equipos de usuario en la infraestructura de soporte de la Escuela, facilitando enormemente la administración y disponibilidad de software adecuado y correctamente instalado (e.g. una configuración inicial por defecto).

#### 3.1 Estructura general

El laboratorio dispone de 24 puestos de usuario, consistentes en un PC (cuyas características se detallarán más adelante) y un teléfono digital. Los puestos de usuario están conectados a los grupos de equipos previamente mencionados, que hemos denominado *islas*, y que pueden funcionar de forma independiente entre sí. Cada una de las islas tiene asociados 4 puestos de trabajo y un conjunto idéntico de equipos de comunicaciones, de forma que todas las islas son equivalentes en cuanto a arquitectura interna, equipos incluidos y funciones que es posible realizar. Las limitaciones presupuestarias han permitido adquirir únicamente 6 de estas islas.

Físicamente, los equipos de comunicaciones que componen cada una de las islas se encuentran ubicados en armarios tipo rack de 19 pulgadas con puertas de cristal, con el cableado de interconexión interna hacia los puestos de usuario a la vista (*visibilidad*) y convenientemente etiquetado (*robustez*). Por otra parte, para facilitar todas las operaciones, cada isla y equipo se encuentran convenientemente etiquetados de acuerdo a una terminología establecida al efecto. Así, p.e. los puestos de trabajo asociados a cada isla se encuentran etiquetados de acuerdo a la nomenclatura  $Px/y$ , donde  $x$  se corresponde al número de la isla e  $y$  al número del puesto dentro de la isla, de forma que el alumno/usuario puede identificar fácilmente el equipo y su relación con los restantes (*sencillez*). A

este efecto, también se han distribuido por todo el laboratorio esquemas de las redes y topologías existentes, junto con las asignaciones de nombres de equipo y direcciones lógicas (*visibilidad*).

#### 3.2 Equipamiento

Cada una de las islas contiene el equipamiento que se utilizará para realizar las diferentes prácticas. Los equipos contenidos en una isla son los siguientes:

##### Relacionados con tecnologías de redes WAN

- 1 conmutador ATM Cisco LightStream 1010 [5], etiquetado como “ATM-x”.
- 3 encaminadores (*routers*) Cisco 1841, etiquetados como “Rx-A”, “Rx-B” y “Rx-C”.
- 4 equipos MUX ACE-52 para conversión de Fast-Ethernet a fibra óptica (encapsulación SDH), etiquetados como “ACEx-n”.
- 1 equipo de conmutación multiprotocolo SPS-6 [6] de RAD utilizado para la conmutación X.25 y *Frame Relay*, etiquetado como “SPS-x”.

##### Relacionados con telefonía

- 1 centralita telefónica PABX BP-Compact de Ericsson [7], etiquetada como “PABX-x”, con equipamiento de extensiones analógicas, digitales, accesos RDSI y VoIP.

##### Relacionados con tecnologías de redes de área local

- 3 conmutadores (*switches*) Catalyst 2950, etiquetados como “SWx-A”, “SWx-B” y “SWx-C”.

##### Equipamiento de los puestos de usuario

- 4 ordenadores personales (Pentium Celeron 2.66 GHz con 512 MB de RAM), etiquetados como “Px/1”, “Px/2”, “Px/3” y “Px/4”.
- Cada PC dispone de cuatro tarjetas de red Fast Ethernet que permiten el acceso a las diferentes redes LAN implementadas en el laboratorio. Además, cuentan con una tarjeta WLAN y una tarjeta RDSI.
- 4 teléfonos digitales y 2 teléfonos IP.

El equipamiento considerado incluye las tecnologías de mayor interés para los estudios del área de Telemática de la titulación: TCP/IP, X.25, *Frame Relay*, ATM, SDH, telefonía, LAN, WiFi y VoIP. Por tanto, las potenciales capacidades docentes asociadas son las adecuadas.

#### 3.3 Diseño lógico

De acuerdo a lo indicado previamente, la estructura lógica del laboratorio se articula en torno al concepto de isla. Cada una de las islas puede operar de forma independiente de las restantes y desconectadas de la red del Campus (operación en modo aislado), aunque se han establecido conexiones entre las islas, en una topología completamente conectada, que posibilitan

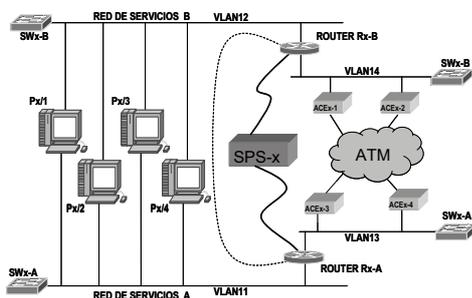


Figura 1. Esquema de la red de datos en la isla x.

la configuración de redes relativamente complejas y facilita la configuración centralizada por parte de los administradores del laboratorio.

La estructura de red en cada isla se corresponde a la superposición de dos estructuras básicas lógicamente separadas (*robustez*). La primera de ellas, que denominaremos *red de datos* (Figura 1), constituye la red a explotar y configurar por los alumnos en el desarrollo normal de las prácticas. La segunda estructura, denominada *red de gestión* (Figura 2), posibilita la gestión y configuración individualizada de los equipos que constituyen la isla de forma independiente a la red de datos [3] [4].

Adicionalmente, las islas incluyen una centralita telefónica a la que se encuentran conectados los terminales telefónicos digitales, los terminales telefónicos de VoIP y también los equipos de usuario mediante tarjetas RDSI. La red telefónica resultante es independiente de la de datos y de la de gestión.

Un análisis más detallado de la red de datos (Figura 1) revela algunos aspectos de interés. En primer lugar, las diferentes tecnologías disponibles se encuentran claramente diferenciadas y pueden ser usadas de forma independiente entre sí (*independencia*). Este aspecto también facilita la comprensión por parte del alumno (*sencillez*). En dicha figura se puede apreciar que cada puesto de trabajo está conectado a las "redes de servicios A y B", implementadas mediante los conmutadores "SWx-A" y "SWx-B", respectivamente. Además, los encaminadores "Rx-A" y "Rx-B" conectan, respectivamente, las redes de servicio con las redes de acceso WAN (ATM, X.25 y *Frame Relay*). El nodo "SPS-x" es el que implementa la red X.25 y/o *Frame Relay*. Tanto el conmutador "SWx-A" como el "SWx-B" implementan dos LAN virtuales: las primeras, VLAN 11 y VLAN 12 permiten la interconexión de los equipos de usuario con los correspondientes dispositivos de encaminamiento "Rx-A" y "Rx-B"; mientras que las segundas, VLAN 13 y VLAN 14, permiten el acceso de los encaminadores a las redes WAN. Los dispositivos de encaminamiento se conectan con la red ATM mediante los puentes "ACEx-n". La red ATM se compone de un único conmutador que permite establecer circuitos virtuales entre los puentes.

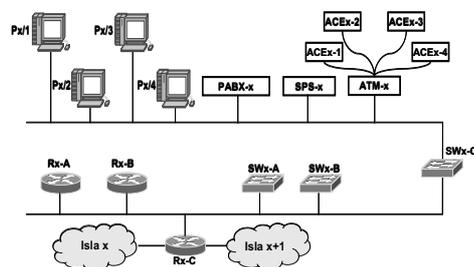


Figura 2. Esquema de la red de gestión en la isla x.

Por otro lado, la red de gestión (Figura 2) se encuentra implementada mediante el conmutador de gestión "SWx-C". El encaminador de gestión "Rx-C" permitirá la interconexión de las redes de gestión correspondientes a las diferentes islas. Esta interconexión es la que permite establecer topologías más complejas utilizando el equipamiento de diferentes islas (*flexibilidad y funcionalidad elevada*).

## 4 Capacidades del laboratorio

El diseño e implantación del laboratorio se ha desarrollado con el objetivo de que el alumno pueda realizar las prácticas que se consideran oportunas relacionadas con su formación en el campo de la ingeniería telemática. En este sentido, a continuación se describen, a modo de ejemplo y sin pretender ser exhaustivos, las posibilidades que permite el laboratorio diseñado y que cubrirían la mayor parte de los contenidos docentes objeto de interés.

### Capacidades del laboratorio relacionadas con redes WAN: ATM, X.25, IP y Frame Relay

Para conectar las redes de servicios A y B a través de la red ATM primeramente se han de configurar los puentes que interconectan los encaminadores "Rx-A" y "Rx-B" con el conmutador ATM. Estos puentes reenvían el tráfico que entra por los puertos Ethernet hacia los puertos de salida SDH y viceversa. Durante la fase de configuración de los puentes "ACEx-n", se han de definir los circuitos virtuales ATM que terminan en cada uno de estos puentes. Finalmente, se ha de configurar la tabla de encaminamiento del conmutador "ATM-x".

La arquitectura del laboratorio también permite la interconexión de los encaminadores "Rx-A" y "Rx-B" mediante redes X.25 o *Frame Relay*. Para ello, se ha instalado un nodo de conmutación multiprotocolo "SPS-x" que puede proporcionar conectividad entre dos puntos finales que implementen estas tecnologías.

Dentro de las prácticas que permite desarrollar el laboratorio se encuentra la configuración de los encaminadores, que abarca desde la definición de rutas que permitan conectar diferentes redes hasta el

uso de diferentes protocolos de encaminamiento dinámicos.

#### **Capacidades del laboratorio relacionadas con redes de área local**

El laboratorio permite desarrollar las funcionalidades habituales relacionadas con redes de área local, como la asignación de direcciones, configuración de servicios de red como *telnet*, *ftp*, *NFS*, *DNS*, creación de redes con diferentes niveles inferiores, creación y gestión de redes de área local virtuales (VLAN), etcétera.

#### **Capacidades del laboratorio relacionadas con tecnologías de acceso, RDSI y telefonía**

El laboratorio también permite la familiarización por parte del alumno con protocolos de acceso a redes, como el clásico protocolo punto a punto (PPP) o sus variantes de acceso a redes xDSL (PPPoE y PPPoA).

Además, se pueden configurar las funcionalidades relacionadas con la seguridad en los accesos a redes de datos, como la utilización conjunta de los esquemas de autenticación que el propio PPP proporciona (CHAP/PAP) y los proporcionados por protocolos de autenticación en la red troncal (e.g. RADIUS).

De igual forma, se puede utilizar la infraestructura del laboratorio para conectar una red a otra mediante una red privada virtual (VPN), en la que se pueden ilustrar diferentes métodos de encapsulación (e.g. PPTP, L2TP).

Por otro lado, cada uno de los PC's incorpora una tarjeta que proporciona conectividad de RDSI. Asimismo, la interconexión RDSI entre los puestos de trabajo es posible gracias a la disponibilidad de la centralita ("PABX-x"). Esta conectividad permite realizar el diseño de programas que gestionen el establecimiento, mantenimiento y liberación de llamadas (mediante el protocolo Q.931).

Respecto a las capacidades relacionadas con la telefonía, la centralita dispone del equipamiento necesario para el acceso de 8 extensiones digitales, 4 analógicas, 4 RDSI y de un acceso para redes IP en el que están implementados tanto una *gateway VoIP*, como un *gatekeeper*. La disponibilidad de este equipo permite realizar la configuración de extensiones, configuración de troncales y *tie-lines* entre centralitas, el encaminamiento de llamadas, la implementación de centros de atención al cliente y la implementación de redes de telefonía de VoIP.

## **5 Conclusiones**

En este artículo se ha presentado el diseño e implantación del laboratorio desarrollado para la docencia del Área de Ingeniería Telemática del Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y

Comunicaciones de la Universidad de Granada en los estudios de Ingeniería de Telecomunicación.

El objetivo principal de este laboratorio es proporcionar un amplio abanico de posibilidades en la formación práctica de los alumnos en el ámbito de la interconexión de redes WAN y LAN, así como del acceso a redes de voz y datos.

En el diseño del laboratorio se han tenido presentes ciertos criterios relevantes, como la robustez ante posibles configuraciones erróneas por parte de los alumnos, la sencillez de diseño (para simplificar el aprendizaje del alumno), o la visibilidad (para que el alumno pueda ver físicamente tanto los equipos como el cableado).

Para cumplir con las condiciones de diseño, la estructura de la red del laboratorio se ha dividido en dos redes superpuestas: una red de datos y una red de gestión, estando la primera destinada a la transferencia de información desde los PCs de los alumnos a través de todas las redes disponibles (LAN, ATM, X.25, Frame Relay, etc.), y la segunda a la configuración de los equipos que componen la red de datos.

## **Agradecimientos**

La implantación de este laboratorio no hubiese sido posible sin la necesaria colaboración de los técnicos del servicio de informática de la E.T.S. Ing. Informática y Telecomunicación de la Univ. de Granada y, en especial, del Subdirector de Diseño, Planificación y Gestión de Laboratorios de Prácticas: D. J. Enrique Cano Ocaña.

## **Referencias**

- [1] F.J. Ruiz *et al*, "Implantación de un Laboratorio Docente para Redes de Comunicaciones", III Jornada de Ingeniería Telemática JITEL Septiembre de 2001, pp. 259-266.
- [2] N. Rodríguez *et al*, "Laboratorio de Interconexión de Redes Telemáticas", V Jornada de Ingeniería Telemática JITEL Septiembre de 2005, pp. 103-108.
- [3] H. Hegering, S. Abeck, and B. Neumair, "Integrated Management of Networked Systems", 1st ed: Morgan Kaufmann, 1999.
- [4] J. García, A. Alesanco, "Web-Based System for Managing a Telematics Laboratory Network", IEEE Transactions on Education, Vol. 47, No. 2, May 2004.
- [5] Cisco, "ATM and Layer 3 Module Installation Guide for the Catalyst 8500, LightStream 1010, and Catalyst 5500".
- [6] RAD Data Communications, "SPS-6, SPS-12. Multiprotocol FRAD / Switch / Frame Relay / SDLC / X.25 / Async / SLIP. Installation and Operation Manual, v4".
- [7] Ericsson, "Descripción del Sistema ASB 150 02".