

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación
Curso académico 2017-2018

Trabajo Fin de Grado

“Planificación de un sistema de comunicación para la digitalización de procesos electorales mediante el acceso biométrico de usuarios.”

Patricia Cabrera Álvarez

Tutor

Jose Blanco Alonso

Leganés, Junio 2018.

Título

Planificación de un sistema de comunicación para la digitalización de procesos electorales mediante el acceso biométrico de usuarios.

Autora

Patricia Cabrera Álvarez

Director

José Blanco Alonso

Composición del tribunal

Presidente

Luis Sánchez Fernández

Secretario

Lorena Álvarez Pérez

Vocal

José Antonio García Souto

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo Fin de Grado el día 2 de Julio de 2018

En el municipio de la Comunidad de Madrid de Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid

Resumen

La tecnología cada día forma más parte de nuestra vida, el ocio, el trabajo, la educación, la medicina, la relación entre personas está en constante cambio debido a la tecnología, por ello se ve conveniente una modificación en el sistema de elección del gobierno, es decir, una modernización en el sistema de votación actual que esté a la altura de las exigencias de una población cada vez más acostumbrada a la rapidez y exactitud de la tecnología.

En este Trabajo Fin de Grado se pretende hacer un análisis, estudio y descripción de los elementos necesarios para llevar a cabo la red de comunicaciones necesaria para la implementación de la votación electrónica. Esta red se realizará mediante fibra óptica, el medio de transmisión físico con más ventajas en la actualidad, que proporciona grandes velocidades de subida y bajada, fiabilidad de la red, gran durabilidad y fácil escalabilidad. La red implementada está ideada para ser usada en procesos electorales pero podrá aprovecharse su instalación durante el período docente y ser usada como una red de acceso a internet común para los colegios.

El proyecto se divide en dos partes:

- Diseño de la red exterior. En este apartado se realiza un análisis del cableado de fibra óptica y los diferentes componentes de la red a lo largo del municipio, que interconecta los diferentes colegios con el nodo de acceso a la fibra óptica y los CPD que tendrán almacenada la información de identificación de usuarios y a su vez almacenarán también el voto de los ciudadanos.
- Diseño de la red interior de un colegio. Se propone el diseño de red en el edificio de un colegio modelo con los correspondientes planos. Debido a las similitudes arquitectónicas entre los colegios, la estructura de red puede ser implementada en cualquiera de ellos. La arquitectura que se propone es un cableado estructurado.

Aunque el proyecto requiere un gran esfuerzo económico por parte de la administración pública, son claros los beneficios que esta red proporciona frente a la votación electoral actual. Debido a las vulnerabilidades de las redes informáticas la votación electrónica estará combinada con un sistema de impresión del voto e inserción en urna para poder realizar auditorías.

Abstract

Technology is increasingly part of our life, leisure, work, education, medicine, the relationships are constantly changing due to technology, for this reason it is convenient to change the system of government election, such a modernization in the current voting system that is up to the demands of a population increasingly accustomed to the speed and accuracy of technology.

In this Final Project the aim is to analyze, study and describe the necessary elements to carry out the communications network for the implementation of electronic voting. This network will be carried out by optical fiber, the physical transmission medium with more advantages at present, it provides great upload and download speeds, network reliability, great durability and easy scalability. The implemented network is designed to be used in electoral processes but its installation can be used during the teaching period and used as a common Internet access network for schools.

The project is divided into two parts:

- Exterior network design. In this section it is made an analysis of the fiber optic cabling and the different network components throughout the municipality is carried out, which interconnects the different schools with the fiber optic access node and the CPDs that will have stored the users identification information stored and the vote of the citizens.
- Design of the internal network of a school. It is proposed the network design in the building of a model school with the corresponding plans. Due to the architectural similarities between the schools, the network structure can be implemented in any of them. The proposed architecture is structured cabling.

Although the project requires a great economic effort on the part of the public administration, the benefits that this network provides against the current electoral vote are clear. Due to the vulnerabilities of the computer networks, electronic voting will be combined with a system for printing the vote and inserting it into an urn to carry out audits.

ÍNDICE

Resumen.....	II
Abstract.....	III
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación y contexto del proyecto.....	2
1.3. DAFO	4
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Planificación del Trabajo Fin de Grado.....	5
1.5.1. Diagrama de Gantt del TFG	6
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. La votación electrónica	7
2.2. Fibra óptica	11
2.3. Análisis de riesgos	19
2.4. Seguridad	20
2.5. Marco regulador.....	22
2.6.1. Características del municipio y población	25
CAPÍTULO 3: DISEÑO TÉCNICO	30
3.1. Desarrollo red de telecomunicaciones exterior	30
3.1.1. Topología de la red exterior.....	32
3.1.2. Elementos de la red exterior	36
3.1.3. Descripción tecnología red exterior	39
3.1.3.1. OLT.....	39
3.1.3.2. Conectores.....	40
3.1.3.3. Splitter	40
3.1.3.4. Fibra	40
3.1.4. CPD	46
3.2. Desarrollo red colegio electoral	47
3.2.1. Cableado estructurado	49
3.2.1.1. Pasos para la realización de la instalación de cableado estructurado	51
3.2.2. Arquitectura de cada planta	52

3.2.3. Descripción tecnología red colegio electoral	53
3.2.4. Dibujo de los planos	68
CAPÍTULO 4: PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO	75
4.1 Planificación	75
4.1.1 Tareas	75
4.1.2 Diagrama de Gantt proyecto	81
4.2 Presupuesto.....	85
4.2.1. Costes iniciales.....	85
4.2.2. Costes mensuales.....	89
4.2.3. Costes día electoral	90
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	92
5.1. Conclusiones.....	92
5.2. Líneas futuras de trabajo	93
GLOSARIO	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Key statistical indicators for the world's Internet, mobile an social media users.	1
Figura 2: Diagrama Gantt TFG	6
Figura 3: Guiado de la luz en el núcleo	14
Figura 4: Esquema arquitectura FTTx.....	15
Figura 5: Red GPON.....	17
Figura 6: Esquema cifrado/descifrado	21
Figura 7: Mapa colegios municipio.....	26
Figura 8: Mapa municipio colegios y CPDs.....	28
Figura 9: Mapa colegios, CPDs y nodos.....	29
Figura 10: Esquema redes de acceso	32
Figura 11: Topología física de la red.....	33
Figura 12: Red anillos lógicos entre colegios	34
Figura 13: Esquema de la red	36
Figura 14: Elementos de la red.....	36
Figura 15: OLT.....	39
Figura 16: Propiedades ópticas fibra G652	41
Figura 17: Propiedades geométricas fibra G652.....	42
Figura 18: Distribución plantas colegio	48
Figura 19: Esquema racks.....	53
Figura 20: Cable par trenzado cat6	54
Figura 21: Armario rack.....	56
Figura 22: Switch S5700-28C-HI-24S	57
Figura 23: Switch S5710-108C-PWR-HI	58
Figura 24: Uso básico del Firewall de filtrado de paquetes	59
Figura 25: Firewall Encaminador de Protección.....	60
Figura 26: Firewall Zona desmilitarizada.....	61
Figura 27: Firewall Host bastión.....	61
Figura 28: Firewall subred protegida y host bastión.....	62
Figura 29: Firewall subred protegida y host bastión con 2 interfaces de red.....	62
Figura 30: Firewall subred protegida y DMZ	63
Figura 31: Firewall 15600 next generation security gateway	63
Figura 32: ONU de la serie SmartAX5821.....	64
Figura 33: Router Empresarial AR3670 de Huawei	65
Figura 34: LogiLink Patch Panel 19"- mounting Cat.6 UTP 24 ports black	65
Figura 35: DP300 Desktop Presence	67
Figura 36: Regleta eléctrica 19"	67
Figura 37: Generador Diésel.....	68
Figura 38: Plano planta cero.	70
Figura 39: Plano planta primera y segunda.....	71
Figura 40: Plano ejemplo aula planta cero.....	72
Figura 41: Plano ejemplo aula planta primera y segunda.....	73
Figura 42: Plano cabina planta primera y segunda.	74
Figura 43: Plano cabina planta cero.	74
Figura 44: Grafo PERT.....	82
Figura 45: Diagrama de Gantt del Proyecto.	84

Figure 46: Introducing a new dimension to the telecommunication environment.....	103
Figure 47: Methodology scheme	104
Figure 48: Network Design.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: DAFO.....	4
Tabla 2-Numeración de los colegios electorales.....	27
Tabla 3: Pérdidas fibra multimodo asociadas a longitud de onda	54
Tabla 4: Pérdidas fibra monomodo asociadas a longitud de onda	55
Tabla 5: Distribución switch por planta.....	57
Tabla 6: Número salidas F.O planta cero.	69
Tabla 7: Horas/tarea.....	80
Tabla 8: Duraciones y predecesiones actividades.....	81
Tabla 9: Holgura libre, independiente y total	83
Tabla 10: Costes iniciales.....	87
Tabla 11: Costes mensuales	89
Tabla 12: Costes día electoral	90

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En la actualidad es muy difícil encontrar un hogar en España que no posea un dispositivo electrónico y en la misma línea es muy complicado dar con un hogar sin acceso a Internet (81'9% de los hogares españoles disponen de conexión a la red en 2016 según INE [1]). La aparición de Internet, con el desarrollo de las redes de comunicaciones, sobre los años 60, ha ido ganando terreno a lo largo de las posteriores décadas llegando a superar la mitad de la población mundial de usuarios conectados a internet en la actualidad [2].



Figura 1: Key statistical indicators for the world's Internet, mobile an social media users.
Fuente: Hootsuite

En las ciudades el uso de la tecnología ha ido más allá del entretenimiento y es una herramienta que hace más sencillo muchas actividades cotidianas, como la realización de una compra, el pago de ésta, la comunicación, la forma de trabajo (con la introducción del teletrabajo), el acceso a noticias o información meteorológica... Gracias al desarrollo y evolución de la tecnología se pueden llevar a cabo dichas actividades reduciendo el esfuerzo y tiempo que el usuario debe emplear para ello.

Es necesario mencionar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), el conjunto de herramientas o recursos tecnológicos que digitalizan imágenes, sonidos, textos, vídeos... Estas herramientas han revolucionado el

mundo de la comunicación, facilitando el acceso, emisión y tratamiento de la información.

En este Trabajo Fin de Grado se propone el diseño de una red de comunicaciones de fibra óptica en el municipio madrileño de Leganés para llevar a cabo votación electoral electrónica. Se analiza el municipio con sus habitantes y los colegios electorales y se estudia qué tipo de cableado y elementos pueden ser adecuados para el despliegue de esta red. Además la red diseñada puede ser usada por los diferentes colegios durante el período lectivo y así es aprovechada al máximo.

Hay que tener especial cuidado con la seguridad y el fallo de dispositivos ya que el fin de la red es proporcionar un medio robusto, fiable y más rápido que el convencional para realizar su función, por lo que los días que se realice el proceso electoral, la configuración de los dispositivos que aseguran la comunicación entre colegios y que no haya ataques externos, será diferente a la configuración cuando la red se dedique a fines docentes.

1.2. Justificación y contexto del proyecto

El sistema de votación electoral español actual se regula por la Ley Orgánica del Régimen Electoral General (LOREG), aprobada en el año 1985 y posteriormente modificada en 2011. Existen cuatro tipos de elecciones en España: generales, autonómicas, municipales y europeas así como ocasionalmente se pueden realizar otro tipo de consultas según se vea conveniente.

Mediante el sistema actual se puede votar de manera presencial o por correo si la situación geográfica no lo permite. La votación por correo debe realizarse unos días antes de las elecciones y el interesado debe acudir al envío del voto. En el caso del voto presencial, el ciudadano que ha recibido la tarjeta censal debe acudir el día de las elecciones al lugar que le indica. La votación dura 11 horas (desde las 9 de la mañana hasta las 8 de la tarde). El elector será identificado en su mesa electoral por los vocales mediante el DNI o el permiso de conducir y depositará el sobre de la votación cerrado en la urna. A las 8 de la tarde, una vez acabado el período de votación se añadirán las papeletas recibidas por correo y se procederá al escrutinio de los votos. El escrutinio están involucrados un gran número de personas entre los ciudadanos escogidos y miembros de cada partido político que garantizan el correcto funcionamiento.

Después los resultados deben ser entregados al Juzgado de Primera instancia o de Paz al igual que los votos. El recuento suele durar tres o cuatro horas.

Desde los años 60 que empezó a utilizarse sistemas de votación electrónica hasta ahora sólo tres países lo han implantado en todo su territorio, India, Brasil y Venezuela y otros países han optado en algunas partes de su territorio por este tipo de sistema electoral como Francia, Estados Unidos, Perú, México, Canadá, Argentina, Reino Unido, Italia, Holanda y Alemania. Algunos usan un sistema de Grabación Electrónica Directa, en el que los votantes marcan directamente en la máquina el voto que quieren realizar y obtienen un resguardo de su voto, el resultado se obtiene en menos de dos horas desde el cierre del colegio electoral. Este es el tipo de sistema que se propone en el proyecto.

Otros países han optado por la votación a través de Internet desde cualquier lugar, como Estonia y Suiza, pero este sistema carece de menos fiabilidad al no tratarse de una red específica creada y cuidada para el voto electrónico, sino que al poder realizar la votación desde cualquier lugar, cualquier red puede estar implicada sin ser necesariamente una red robusta [2].

La poca popularidad en la actualidad del voto electrónico se debe a las dudas de la fiabilidad por una intrusión en la red o un falso recuento, por ello algunos de estos países usan un sistema de auditoría para asegurar el correcto funcionamiento de la votación electrónica.

El principal objetivo de este TFG es proponer una alternativa al actual sistema de votación electoral español, que garantiza el proceso democrático pero no ha evolucionado tecnológicamente como sí lo ha hecho su población. Por lo que el objetivo del diseño de la red de fibra óptica para votación electoral es obtener un recuento de votos **más rápido** (podrían obtenerse los resultados inmediatamente al cierre de la jornada electoral), una ejecución del voto más **sencilla** (identificación por medio de huella dactilar) y la obtención de **resultados más exactos** (se elimina la posibilidad de papeletas extraviadas o recuento erróneo). Este tipo de votación supone una modernización en el sistema que puede atraer a las nuevas generaciones electoras, que según la fuente de bancos de Metroscopia son las que menos acuden a las urnas, a participar más activamente en la democracia del país.

1.3. DAFO

Tras la justificación del proyecto es importante resaltar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que este proyecto nos brinda y así explicar de una manera más práctica el estado del cual parte el proyecto. Este análisis puede también ayudar en la toma de decisiones.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none">• Inversión inicial.• Rentabilidad a largo plazo.• Desconfianza en un nuevo método de votación.	<ul style="list-style-type: none">• Proyectos competidores.• Quiebra del estado y falta de pago.• Cambios en las regulaciones que afecten al fin del proyecto.
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none">• Planificación flexible.• Personal cualificado.• Capaz de afrontar contratiempos en el proyecto.	<ul style="list-style-type: none">• Aumentar servicios con la administración pública.• Comunicar a la red el municipio entero.• Prestigio en caso de éxito en el proyecto.• Digitalizar más áreas de la administración pública.

Tabla 1: DAFO

Fuente: Elaboración propia

1.4. Objetivos

Acorde con la justificación y contexto en el que nos encontramos y teniendo en cuenta las limitaciones económicas y temporales bajo las cuales se lleva a cabo este Trabajo de Fin de Grado los principales objetivos que se han marcado a la hora de la realización del proyecto son:

- Análisis de riesgos y desconfianzas en un sistema de votación electrónico.
- Conocer y describir el despliegue de la tecnología FTTH que se propone en el diseño de la red exterior y estudiar los elementos que la componen.

- Conocer y describir la estructura de la red interior de los colegios donde se va a llevar a cabo el proceso electoral así como los elementos necesarios para su puesta en marcha.
- Realizar un estudio de los costes.
- Extracción de conclusiones y modificaciones y mejoras futuras en el proyecto.

1.5. Planificación del Trabajo Fin de Grado.

Finalmente, para la realización del proyecto es necesaria una planificación del mismo ya que se cuenta con tiempo limitado y es necesario trabajar un número aproximado de horas para cumplir con los requisitos del Trabajo Fin de Grado. El número aproximado de horas que es necesario emplear es de 360 (12 créditos x 30h/crédito). Como es un trabajo destinado a ser completado en un cuatrimestre, es necesario dedicar unas 20 horas semanales al TFG para que éste sea completado con éxito. En este caso, la planificación a seguir es la siguiente:

- **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

En este apartado se comentan los aspectos teóricos más importantes a tener en cuenta al abordar el proyecto, tales como una visión histórica a la votación electrónica, un conocimiento de la evolución y funcionamiento de la fibra óptica, analizar los riesgos a los que se expone el proyecto y analizar el municipio en el que se desarrolla y su población.

- **CAPÍTULO 3: DISEÑO TÉCNICO**

El objetivo de esta parte es proporcionar el diseño del problema propuesto, proporcionando pautas y procedimientos que se creen necesarios para el desarrollo de la red de comunicaciones. En este apartado están incluidos el diseño de la red exterior que interconecta los diferentes colegios, nodos y CPD, la propuesta de diseño de la red de un colegio electoral y la descripción de todos los elementos que son necesarios para llevarlas a cabo. Es el capítulo que más tiempo de trabajo requiere.

- **CAPÍTULO 4: PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO**

Tras la propuesta de diseño es importante disponer de una organización de los tiempos en los que se realizará cada tarea, esto se explica en la planificación. También hay que tener en cuenta los costes del proyecto, que se desglosarán en el presupuesto.

- **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO**

Finalmente se hará una evaluación personal de los resultados y propondrán aspectos que pueden ser mejorados o soluciones que pueden añadir valor al proyecto.

Y en las últimas páginas se encuentra el glosario, bibliografía y un anexo que recoge un resumen del proyecto en inglés.

1.5.1. Diagrama de Gantt del TFG

El diagrama de Gantt se realiza con el software Microsoft Project Professional 2013, una herramienta especializada en la administración de proyectos y que es útil para ver en forma de cronograma la duración de cada capítulo y su organización.

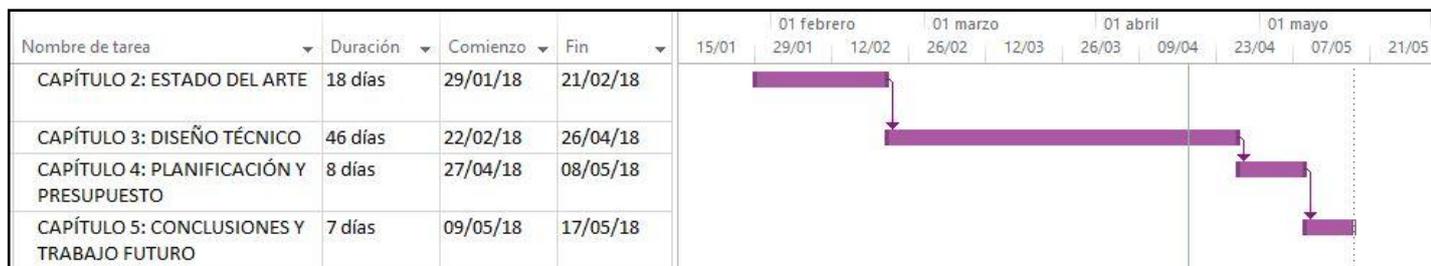


Figura 2: Diagrama Gantt TFG

Fuente: Elaboración propio

El comienzo de este TFG data de enero 2018 y continúa hasta finales de mayo, dedicando un mínimo de 360 horas necesarias para el desarrollo exitoso del Trabajo Fin de Grado. Desde esta fecha se realizan mejoras y correcciones en la elaboración de la memoria.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1. La votación electrónica

La votación electrónica es la emisión de votos mediante medios electrónicos diferentes a los tradicionales, como son el voto presencial en papel y el voto por correo [3]. En los años 60 comenzó el uso de la votación electrónica en algunos países del mundo, en la actualidad solo India, Brasil, Venezuela lo usan en la totalidad de su territorio y Estados Unidos, Francia, Argentina, Perú, México y Canadá lo han usado en ciertas zonas de su territorio [4]. Otros países como Estonia han optado por el voto electrónico online que acarrea más desventajas que el voto electrónico en sede específica.

El origen de la votación está directamente relacionado con el origen de la democracia que la Real Academia Española define como “*forma de gobierno en la que el poder político es ejercido por los ciudadanos*”.

El voto electrónico se puede realizar de diferentes formas, voto presencial o voto remoto. El voto presencial puede ser mediante DRE a través de un PC, de una pantalla táctil (como se propone en este proyecto), por impresión (propuesto en este proyecto también combinado con la pantalla táctil para tener un registro electrónico y físico) o con tarjeta chip. El voto presencial también se puede realizar mediante una lectura óptica del voto. En cambio, el voto remoto tiene varias formas por las que se puede llevar a cabo, en cualquier sitio con acceso a internet o en sitios determinados, mediante el envío de un SMS o de un teléfono de tono [5].

En España el derecho de sufragio corresponde a los españoles mayores de edad (18 años) inscritos en el Censo Electoral que no estén incluidos en los supuestos de la Ley Orgánica 5/1985, de 19 de junio, del Régimen Electoral General (BOE num. 147, de 20 de junio de 1985). Actualmente este derecho a voto se realiza presencialmente en el lugar donde esté empadronado cada ciudadano mediante la introducción de un sobre en la urna de la mesa correspondiente. Estas mesas se constituirán por un presidente, unos vocales (ciudadanos elegidos aleatoriamente) e interventores. El recuento se realiza al final de la jornada por los miembros encargados de las mesas y el Presidente lee en voz alta la denominación de la candidatura de cada papeleta. Una vez terminado el escrutinio cada Mesa enviará un acta de escrutinio a la persona designada por la Administración para recibirla. Después de preparar una documentación electoral

con los resultados (tres sobres), el Presidente, los vocales y los interventores que deseen entregarán uno de los sobres a la sede de Juzgado de primera instancia o de paz, otro de los sobres quedará archivado en el Juzgado y el tercer sobre será recogido por el funcionario de servicio de correos según el Real Decreto-ley 20/1977, de 18 de Marzo, sobre Normas Electorales (BOE num. 70, de 23 de marzo de 1977)

El planteamiento de una votación electrónica se puede realizar gracias al desarrollo de la computación. La computación se ha ido desarrollando a lo largo de los años, desde la invención del ábaco, que es el artefacto conocido más antiguo de las antiguas civilizaciones romanas usado para la manipulación de datos [6] pasando por la Pascalina, la primera máquina analítica de Blaise Pascal... hasta las tres generaciones que marcan el inicio de la computación actual:

-Primera generación (Décadas de 1940-1950): Las máquinas que pertenecen a esta generación empleaban tubos de vacío para conducir la electricidad, por lo que se trataba de máquinas grandes, voluminosas y costosas. Además estaban programadas en lenguaje máquina [7]. Las más destacables son UNIVAC (NIVersAL Computer), la primera computadora comercial que disponía hasta mil palabras de memoria y era capaz de leer cintas magnéticas. Fue el primer contacto de la computación con la democracia pues fue usada para procesar el censo de 1950 de los Estados Unidos [7]. Las otras máquinas destacables de esta primera generación son IBM 650 e IBM 305 RAMAC, la primera tuvo un gran número de producción y supuso la base de los discos actuales al usar un esquema de memoria secundaria, que en la segunda se ve actualizado con un disco magnético para almacenaje externo [6].

-Segunda generación (Década de 1960): Se reduce el tamaño de las máquinas y se aumenta la capacidad de procesamiento, lo que da comienzo a la programación de sistemas, referida a la comunicación con las máquinas. El principal cambio en esta generación de computadoras es que están construidas con circuitos de transistores, programados con nuevos lenguajes de alto nivel y se reduce su coste debido a su menor tamaño. Aparece un nuevo elemento clave en la computación, el usuario, que cambia y evoluciona con el tiempo junto con la computación, y se comienza a pensar en nuevos diseños de pantalla e interfaces de software que sean intuitivos para el usuario. Las computadoras más destacables de esta generación fueron: Philco 212, UNIVAC M460, IBM 709 [7].

-Tercera generación (comienza en abril de 1964 con la aparición de IBM 360): Su electrónica está basada en circuitos integrados en un chip y un manejo por medio de los lenguajes de control de los sistemas operativos. En la década de 1970 aparecen computadoras con dimensiones menores y menos costosas, que consumen menos energía y aumentan la confiabilidad de la información obtenida, aunque siguen necesitando una gran capacidad de procesamiento. Otros modelos importantes fueron PDP-8 que introduce la primera microcomputadora, VAX, NOVA y ECLIPSE.

-Cuarta generación (comienzos 1970): Marcada por el desarrollo de la tecnología de microprocesadores, circuitos integrados de gran densidad y con una gran velocidad [7]. En este período se concentran grandes avances tecnológicos en un período de tiempo muy corto, como el envío del primer mensaje de correo electrónico, la aparición de las microcomputadoras y los ordenadores personales, evolucionando el software con ello para una interacción más sencilla con el usuario. En esta generación aparecen en el mercado nombres como Microsoft y Apple.

-Quinta generación (década 1980-1990): Surgen computadoras con chips de alta velocidad y la competencia internacional por el dominio del mercado informático. Aparecen nuevos avances como la holografía, la nanotecnología, robótica, redes neuronales, la fibra óptica... etc [8].

Se puede hablar de una sexta generación de la computación, que está ocurriendo ahora mismo, donde se intenta conseguir la resolución de problemas por parte de la computación como si de humanos se tratase. Todo el desarrollo de la computación hace posible el planteamiento del diseño de una red para la votación electrónica. El sistema de **votación electrónica** debe cumplir unos **requisitos** [9]:

- Elegibilidad y autenticidad: solo los usuarios inscritos en el censo pueden realizar la votación.
- Anonimato y privacidad: deben protegerse los datos de los ciudadanos para que éstos puedan votar con total libertad.
- Integridad: Ausencia de una alteración en los votos.
- Confiable, exacto y verificable: El sistema debe ser robusto, no deben producirse problemas a la hora de almacenar los votos ni

información ni problemas a la hora de identificar usuarios. Así como debe tratarse de un sistema verificable.

- Fácil uso: la interfaz del equipo debe ser intuitiva, debe ser sencillo emitir el voto.

Las **ventajas** de esta implementación son numerosas respecto a la votación habitual:

-La contabilización de los votos se realiza más rápido lo que conlleva ahorro de tiempo a las personas encargadas de las mesas y la obtención de resultados es casi simultánea, lo que genera confianza en el pueblo.

-Más comodidad a la hora de votar, menos colas en los centros debido a la identificación inmediata que puede aumentar la participación.

-Se puede hacer un seguimiento en tiempo real de los resultados.

-Auditable, transparente, seguro y exacto.

-Voto seguro. Mayor confidencialidad a la hora de votar que produce mayor participación e incrementa el compromiso.

-Reducción de costes a largo plazo. Aunque es una gran inversión inicial a largo plazo es un ahorro en personal, papel, limpieza...

-Beneficioso para el medioambiente.

También existen algunas **desventajas** en el uso del voto electrónico:

-Como cualquier sistema tecnológico puede fallar, por ello, es objetivo de este trabajo crear una red lo más segura y redundante posible.

-Es complicado averiguar si ha habido fraude, es decir, no se puede comprobar el correcto escrutinio. Pero en este proyecto se propone un sistema de votación combinado para eliminar este problema, es decir, se propone votación electrónica con un equipo que incorpore un **sistema de impresión** para obtener el voto de manera física, este voto se introducirá en un sobre y a su vez en una de las correspondientes urnas habilitadas en la misma sala. Aunque implica un gasto

mayor a un sistema simple de votación electrónica hace posible la **auditoría** de los resultados electrónicos.

-Gasto de mantenimiento con personal cualificado para el mantenimiento de la red y del sistema de seguridad.

2.2. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión de información a través de un filamento de vidrio o plástico (que resulta más económico) muy fino y flexible por el que se transporta luz que posee la información de un extremo a otro.

La luz puede transportar información ya que se trata de una onda electromagnética con las mismas características que las ondas de radio. Su funcionamiento se basa en las propiedades de refracción y reflexión de la luz al atravesar un medio, quiere decir, el objetivo es que el haz de luz enviada se refleje totalmente a lo largo de todo el filamento y conseguir que su transmisión no tenga pérdidas por la refracción a lo largo del viaje, esto se consigue construyendo las dos partes de la fibra óptica con un índice de refracción diferente para así confinar el haz de luz que va rebotando por el interior de la fibra.

Historia

El origen de la transmisión de información a través de la luz se remonta a los griegos que usaban espejos con los que reflejaban la luz solar para comunicarse. En el siglo XVIII Claude Chappe diseñó un sistema de telegrafía óptica que conseguía transmitir un mensaje en 16 minutos en una distancia de 200km. Años después se demostró el confinamiento de la luz por refracción, que es el principio por el que la fibra óptica funciona, y llevó a averiguar que la luz podía viajar dentro del agua, curvándose por reflexión interna, pero debido a que las técnicas y materiales no eran adecuados para la transmisión de luz con un buen rendimiento, es decir, las pérdidas de la señal eran grandes, no fue hasta el siglo XX cuando su uso se empezó a extender.

En el siglo XX a través de los estudios en física enfocados a la óptica (ecuaciones por las que se rige la captura de la luz dentro de una placa de cristal lisa), se descubrió este uso de la luz, denominado rayo láser, que se aplicaría a las telecomunicaciones para transmitir mensajes a grandes velocidades y con una amplia cobertura [12]. Alrededor de 1950 uno de los primeros usos de la fibra

óptica fue la transmisión de imágenes. El material usado tenía un bajo índice de refracción. También se comenzaron a usar filamentos muy delgados para transportar la luz a distancias cortas, aunque con grandes pérdidas todavía.

En 1966 surgió la idea de usar una guía óptica para la comunicación usando fibras de vidrio y luz para la transmisión de mensajes telefónicos en vez de electricidad y conductores metálicos. Esta idea se constituye como la base para reducir pérdidas de las señales ópticas y una considerable bajada de la atenuación de las señales, consiguiendo 20db/km respecto a los 100db/km que existían antes [10].

El 22 de abril de 1977, la empresa General Telephone and Electronics envió la primera transmisión telefónica a través de fibra óptica, en 6 Mbit/s, en Long Beach, California, lo que cambió la comunicación a grandes distancias [10].

Por qué está formada

La fibra óptica está formada por unos finos filamentos del mismo grosor que un cabello humano y compuestos de vidrio de alta pureza y extremadamente compactos [11]. Su principal material es silicio, que tras un tratamiento a altas temperaturas alcanza un índice de refracción de su núcleo uniforme y que evita desviaciones, este índice será la guía luminosa de la fibra que actúa como canal. El principio de funcionamiento de la fibra se basa en la diferencia entre los índices de refracción entre sus dos materiales (el interior tiene un índice de refracción mayor) para aprovechar las leyes ópticas dentro del cable y por los principios de reflexión.

La fibra no conduce señales eléctricas por lo que es indicada para usarse en situaciones peligrosas de alta tensión, toleran altas diferencias de potencias sin un circuito adicional de protección. Además muestran bajas pérdidas de señal, una amplia capacidad de transmisión, son compactas, ligeras y son muy confiables ya que no se ven afectadas por las interferencias electromagnéticas de radiofrecuencia. También suponen un ahorro considerable en volumen de material si se compara con los cables de cobre, ya que su gran ancho de banda se usa para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo del canal [11].

Si se profundiza en la composición de un cable de fibra óptica, nos encontramos con un núcleo óptico (core) que suele medir entre 8 y 62,5 micras y unos elementos de protección o revestimiento (cladding) de unas 125 micras [12]. En el núcleo se concentran un conjunto de fibras ópticas que conforman un sistema guía ondas que transmiten los datos. Los elementos de protección tienen como función proteger el núcleo, estos elementos son el revestimiento, en contacto con el entorno, hace de barrera frente a agentes externos y generalmente está compuesto de materiales plásticos con buena resistencia a la intemperie, a aceites, a ácidos a hidrocarburos, al agua y al fuego y presenta una buena resistencia mecánica. El recubrimiento que se encuentra dentro del cable, tiene como misión proteger de ciertas agresiones como aplastamiento, ataque de roedores..., puede estar formado por metal o por un material dieléctrico como el vidrio.

Podemos clasificar las fibras según su construcción (protección) o por su tipo de propagación [12].

- Tipo de construcción:

-Holgada: grupos de 6, 8, 10 o 12 fibras que han sido introducidas con holgura dentro de la protección secundaria que contiene un gel hidrófugo que actúa como protector antihumedad. Son menos flexibles y la fusión es laboriosa.

-Ajustada o densa: cada fibra está recubierta por su propia protección secundaria para conseguir la resistencia a la tracción necesaria. Provee de óptima protección antihumedad, buena flexibilidad y resistencia mecánica y un acabado sencillo y sólido.

- Tipo de propagación:

-Monomodo: Los pulsos de luz solo se pueden transmitir por un modo, tomando un solo camino. Son ideales para largas distancias o gran ancho de banda. Se clasifican en [13]:

- Estándar (ITU G652 A&B)
- Estándar con bajo pico de agua (ITU G652 C&D)
- Dispersión desplazada (ITU G653)

- Con corte desplazado (ITU G654)
- Dispersión desplazada no nula (ITU G655)
- Dispersión no nula para transporte óptico en banda ancha (ITU G656)
- Con baja sensibilidad a curvaturas para la red de acceso(ITU G657)

-Multimodo: Los pulsos de luz pueden transmitirse con diferentes frecuencias o modo y tomar diferentes caminos. Son usadas habitualmente en redes locales, de vigilancia o seguridad. Se clasifican en [13]:

- 50/125 (ITU G651)
- 62.5/125

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de la fibra óptica se basa en el “guiado de la luz en el núcleo” donde la teoría electromagnética lo define como “*Tienen su energía confinada mayoritariamente en el núcleo de la fibra. La energía transportada en la cubierta es una función evanescente o fuertemente decreciente con la distancia al núcleo*”. [14]

En la siguiente figura se observa cómo funciona el Guiado de la luz en el núcleo:

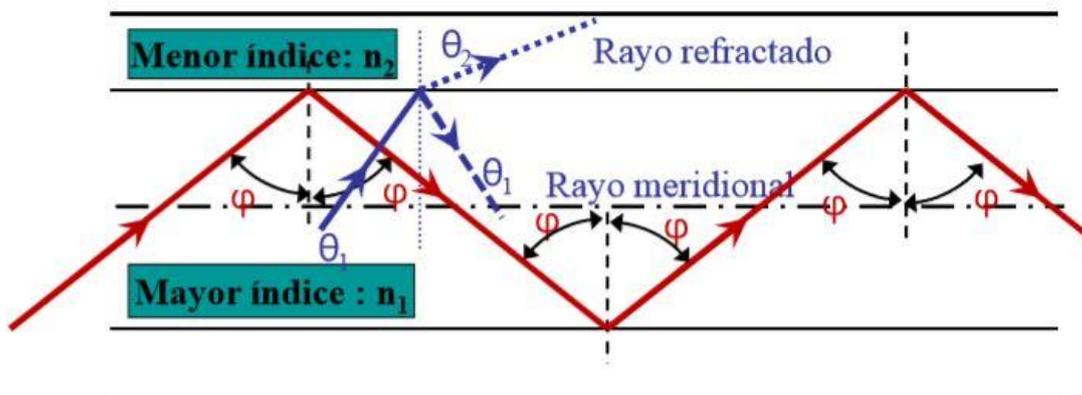


Figura 3: Guiado de la luz en el núcleo
Fuente: Universidad Carlos III de Madrid

Redes FTTx

Existen diferentes maneras de terminar la fibra en el usuario, las siglas de los sistemas de transmisión FTTx significan Fiber to the X (node, curb, building, home), es decir, la X indica el nivel de alcance de la fibra según la distancia con el usuario final [12].

-FTTN: Fibra hasta el nodo. Desde la central hasta una distancia del edificio entre 1.5 y 3km. Suele ser una cabina exterior donde termina el equipo.

-FTTB: Fibra hasta el edificio o negocio. Desde la central hasta el Cuarto de Telecomunicaciones del edificio, no llega hasta el hogar.

-FTTC: Fibra hasta la acera. Desde la central hasta una distancia del edificio entre 300 y 600m, acaba un poco antes que FTTB.

-FTTH: Fibra hasta el hogar. Desde la central hasta el PTR de los hogares. Las infraestructuras FTTH están basadas en redes PON, redes que carecen de elementos activos en el tramo desplegado hasta los usuarios. GPON es la más extendida, ofrece más ancho de banda, converge con la voz, los datos y el video sobre la infraestructura IP.

En la siguiente figura se muestra la diferencia de distancias entre los cuatro sistemas de fibra:

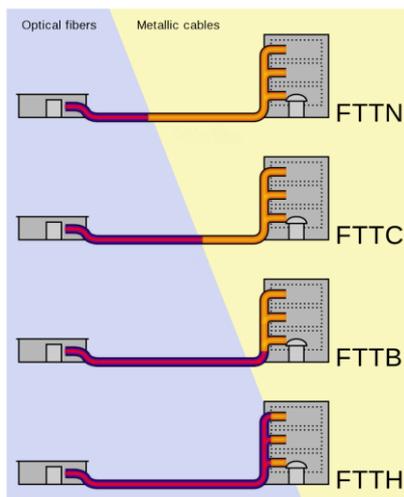


Figura 4: Esquema arquitectura FTTx

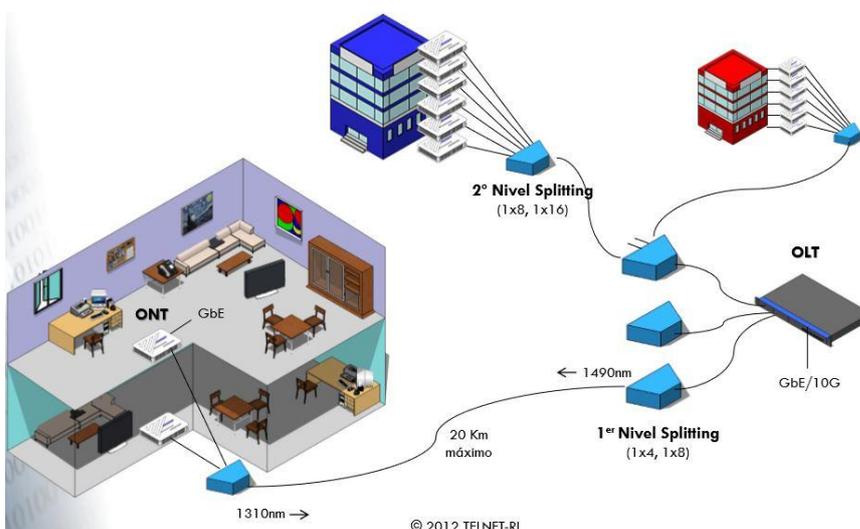
Tecnología GPON:

Para llevar la fibra óptica desde la central operadora hasta los colegios se elige una tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Networks) ya que es más barata al requerir menos dispositivos electrónicos (no existen elementos activos entre las instalaciones del operador y el equipo terminal del usuario), proporciona mayor ancho de banda y mayor alcance de distancia que en las tecnologías xDSL, converge con la voz, los datos y el video sobre infraestructura IP, dispone de un modelo QoS que garantiza el ancho de banda necesario para cada servicio y usuario, mayor seguridad, un mejor mantenimiento y escalabilidad.

Esta tecnología requiere la instalación de ONT (equipo terminal de usuario) en el lugar donde se encuentra el abonado, será donde se conectarán los ordenadores, teléfonos, enrutadores, caja decodificadora, etc.

En las recomendaciones G.984.x del ITU-T (redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit) se describen sus estándares técnicos para compartir un medio común (FO) por varios usuarios, encapsular la información y gestionar los elementos de red. [15]

GPON ofrece soporte global multiservicio, un alcance físico de hasta 20km, soporte para varias tasas de transferencia, seguridad a nivel de protocolo y todos los elementos de la red están conectados a una referencia temporal común que evita colisiones entre las transmisiones de subida y transmitir solo cuando es necesario, TDMA. Y es capaz de ofrecer servicios asociados a la TV o al video. [16]



Ventajas de la fibra óptica:

- Gran capacidad de transmisión, con la tecnología actual es capaz de transmitir hasta 60000 conversaciones simultáneas con dos fibras ópticas.
- Reducida atenuación de la señal óptica.
- Inmunidad frente interferencias electromagnéticas.
- Cables ópticos de pequeño diámetro, por lo que ocupan poco espacio y son fáciles de instalar en localidades donde éste es escaso, ligeros, flexibles y de vida media superior a los cables de conductores convencionales
- Bajo coste potencial, a causa de la abundancia del material básico empleado en su fabricación (óxido de silicio) en la naturaleza
- Gran velocidad en la transmisión de datos y constante
- Mayor seguridad en la transmisión de datos, no se puede intervenir mediante mecanismos eléctricos convencionales. Además una perturbación en la seguridad en una conexión de fibra óptica es fácilmente detectable, se produce una reducción de la energía luminosa en la recepción y tampoco radia nada.
- No es necesaria una gran cantidad de infraestructura (repetidores) como en cable convencional.
- Fácil instalación.
- Conexión directa de centrales a empresas.
- Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día sin congestiones.
- Compatible con la tecnología digital.
- Resistencia al calor, frío y a la corrosión.
- Proporciona un buen aislamiento eléctrico gracias a sus características como dieléctrico, no contiene conductores eléctricos.

- Posee una alta fiabilidad y un fácil mantenimiento. La fibra es un medio constante, con una larga vida de servicio. Los enlaces de fibra bien instalados son inmunes a fenómenos adversos como la humedad o temperaturas extremas. El mantenimiento requerido es menor que el de un sistema convencional, la ausencia de cobre elimina la posibilidad de cortocircuitos, sobre tensiones o electricidad estática.

- Versatilidad. Los sistemas de comunicaciones que implementan fibra óptica son compatibles con la mayoría de los formatos de comunicaciones de voz, datos y vídeo.

- Actualización. Un sistema de transmisión de datos de baja velocidad puede transformarse en un sistema de transmisión de velocidad más alta.

- Llega a grandes distancias usando amplificadores láser (hasta 150km), lo que supone un ahorro en el uso de repetidores intermedios.

Desventajas de la fibra óptica:

- Para poder obtener un servicio mediante fibra óptica es necesario que la zona de la ciudad tenga ya instalada la red de fibra óptica, en caso contrario supondría un coste adicional su instalación.

- La conexión de fibra óptica tiene un elevado coste ya que se cobra por la cantidad de información transferida.

- El coste de la instalación es alto al usar transmisores y receptores más costosos.

- Debido a su tamaño y grosor presentan una gran fragilidad.

- Minuciosa instalación. A la hora de instalar la fibra óptica, los núcleos de los cables deben quedar alineados con extrema precisión cuando se empalman para evitar una gran pérdida de la señal.

- Dificultad en la reparación de un cable de fibra roto.

2.3. Análisis de riesgos

Además de conocer más a fondo acerca de la votación electrónica y el funcionamiento de la fibra óptica hay que tener claros los riesgos a los que se expone el proyecto con su realización:

-Retraso en la finalización del proyecto: pueden producirse problemas en la instalación y configuración del software, retraso en la instalación de los elementos al aire libre debido a unas condiciones meteorológicas desfavorables o problemas de salud en los empleados que produzcan su ausencia y el retraso del trabajo.

-Ataque por software: Hay que hacer especial hincapié en este tipo de ataques ya que están en constante renovación y pueden ser los más dañinos, los más destacables son [17]:

- Ataque DDoS o ataque de denegación de servicio: El atacante ataca un servidor u ordenador haciendo que los usuarios legítimos sean incapaces de acceder a un servicio o recurso. Este tipo de ataques pueden colapsar el servidor e inhabilitar la votación.
- Intrusión en la red: puede ser desde analizar los puertos de nuestra red a aprovechar una vulnerabilidad de aplicación y acceder al sistema con derechos de administrador que puede desembocar en una alteración de los datos.
- Man in the middle: es una interceptación entre la comunicación. Puede falsificar la información que se intercambian las partes implicadas en la comunicación o desviar esta información y hacerse pasar por una de ellas. Es muy importante estar protegido ante este tipo de ataque que es capaz de alterar los resultados de la votación totalmente.
- Ataques de REPLAY: este ataque hace que el sistema de por válido una transmisión de datos que en realidad es maliciosa o fraudulenta repetida o retardada. Su principal objetivo es falsificar la identidad de algunas de las partes por lo que conviene tener especial cuidado con este tipo de ataques también.

- Ataque por fuerza bruta: Este tipo de ataque prueba todas las combinaciones posibles de clave hasta encontrarla y así acceder al sistema robando información.
- Ataque por rebote: El atacante usa un sistema que ataca en caso de ser atacado él para así mantener su identidad en el anonimato y ocultar su rastro y así poder utilizar los recursos del equipo atacado.
- Escaneo de puertos: De esta manera el atacante conoce cuáles son los puertos que están disponibles y detectar vulnerabilidades en la red.

-Ataque físico: referido al daño en equipos o instalaciones donde se encuentra la red. Puede ser la interrupción del suministro eléctrico, aunque la red cuente con un sistema de respaldo, éste tiene un tiempo determinado de duración también y puede ser vulnerado. Puede producirse vandalismo, por ello se ha pensado proteger los dispositivos de votación con materiales resistentes a golpes. [17]

-Evento meteorológico: Aunque es menos improbable y la red estará compuesta e instalada de la manera más segura posible ante estos eventos, es posible que un evento natural muy fuerte como un terremoto o circunstancias meteorológicas muy adversas puedan producir problemas en la correcta conexión y funcionamiento de los elementos implicados.

2.4. Seguridad

La ciberseguridad es el área de la informática que se preocupa de la protección de la información contenida en un equipo informático o que circula a través de una red. En un sistema de votación electrónica hay que tener un sistema muy robusto de seguridad informática ya que la situación es muy sensible a ataques informáticos o a intentos de alteración del resultado de la votación. Los requisitos principales que debe cumplir el sistema en cuanto a seguridad son [18]:

-Garantizar la legitimidad del votante: Solamente podrán participar en las votaciones ciudadanos registrados en el censo electoral y cada uno podrá emitir un solo voto que además será verificado mediante su impresión e inserción en una urna física.

-Protección de la privacidad: Cada voto es anónimo, por ello debe existir una separación entre el voto emitido y la identidad del votante.

-Precisión en los resultados: Sólo serán válidos los votos que no tengan un emisor duplicado y que procedan de manera legítima.

-Discrección durante el proceso electoral: No se distribuirán los resultados hasta que el proceso haya acabado para no influir en las decisiones de voto de ciudadanos que aún no hayan asistido.

-Robusto frente a fallos en la tecnología y ataques informáticos.

En este caso se propone un sistema basado en criptografía, que proporciona gran privacidad al almacenar el voto cifrado de manera aleatoria lo que hace que sea poco posible conocer su contenido y difícil su modificación. El funcionamiento de los sistemas de cifrado se basan en transformar el mensaje de manera que sea ininteligible y sólo los equipos que posean la clave podrán descifrarlo, además las partes implicadas firmarán la información protegiéndola contra ataques intermedios.

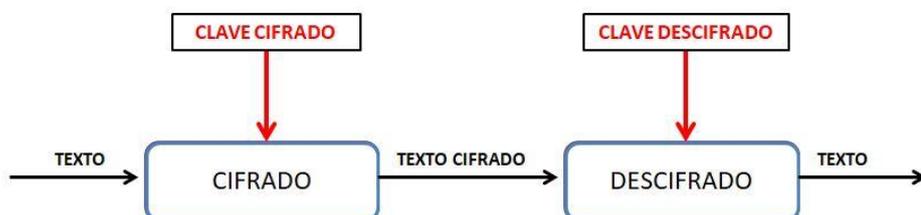


Figura 6: Esquema cifrado/descifrado
Fuente: Elaboración propia

Existen varias técnicas de cifrado, entre las que cabe mencionar, el re-cifrado y el cifrado homomórfico. El re-cifrado consiste en volver a cifrar los votos una vez descifrados para eliminar toda vinculación entre votante y voto y así garantizar el derecho a privacidad. En el caso del voto homomórfico el sistema contador no sabe qué está contando, el voto permanece cifrado todo el tiempo, por lo que la identidad de los votantes también permanece oculta. [19]

El algoritmo asimétrico¹ RSA, ejemplo de un esquema homomórfico determinístico, es uno de los más sencillos y considerado de los más seguros, se

¹ Criptografía que usa dos contraseñas o claves, una pública y otra privada. La información se cifra con la clave pública y se descifra con la clave privada.

usa tanto para codificar como para autenticar y su funcionamiento se basa en la dificultad de factorizar grandes números. El Gamal exponencial, ejemplo de un esquema homomórfico probabilístico, permite al contador multiplicar los votos cifrados sin saber de cuáles se tratan y sin poder modificarlos, aunque inicialmente fue diseñado para producir firmas digitales se extendió también para codificar mensajes. Se basa en la complejidad de resolver logaritmos discretos, aunque es un sistema lento y sólo sirve para cifrar datos muy cortos [20].

Otro sistema homomórfico que elimina las debilidades de los anteriores, es el sistema de Paillier, un esquema de cifrado probabilístico que presenta mejor rendimiento a la hora de descifrar los mensajes. Su seguridad se basa en la hipótesis Residuosidad N -ésima módulo N^2 .

Además es muy importante un sistema lo más **redundante** posible, que las partes que lo componen dispongan de un respaldo en caso de ser atacadas, dañadas o produzcan fallos, para así garantizar la seguridad y funcionamiento de la red.

2.5. Marco regulador

Para llevar a cabo un proyecto de instalación y despliegue de una red de telecomunicaciones es necesario atender a una serie de normas, recomendaciones y leyes ya que se ven implicadas muchas infraestructuras. Además en este proyecto en concreto debemos atender también a legislación electoral española para que el diseño realizado pueda llevarse a cabo.

- *RGPD*: A partir del 25 de Mayo de 2018 es de obligado cumplimiento por todos los ciudadanos de la Unión Europea, aunque en España se espera una actualización de la anterior LOPD que sea compatible con la normativa europea. Es importante cumplir con algunos de los puntos de *Reglamento (UE) 2016/679 del parlamento europeo y del consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos)*

Su objetivo es regular el tratamiento de datos de carácter personal, como son el nombre y apellidos, dirección, DNI y número telefónico, datos que son tratados en la identificación de usuarios para asegurar que tienen derecho a voto, por lo que se debe garantizar la intimidad y demás derechos fundamentales de los ciudadanos así como garantizar el anonimato al registrarse cada voto

- Ley orgánica 5/1985, de 19 de Junio, del régimen electoral general: Según el art. 70: “[...] 1. *Las Juntas Electorales competentes aprueban el modelo oficial de las papeletas correspondientes a su circunscripción, de acuerdo con los criterios establecidos en las disposiciones especiales de esta Ley o en otras normas de rango reglamentario.*
2. *La Administración del Estado asegura la disponibilidad de las papeletas y los sobres de votación conforme a lo dispuesto en el artículo siguiente, sin perjuicio de su eventual confección por los grupos políticos que concurran a las elecciones.*
3. *Las Juntas Electorales correspondientes verificarán que las papeletas y sobres de votación confeccionado por los grupos políticos que concurran a las elecciones se ajustan al modelo oficial.*”

Este artículo señala que el modelo de votación en España se debe realizar mediante el uso de papeletas y sobres físicos por lo que el modelo de votación mediante el uso de equipos tecnológicos y el recuento a través de un software no es compatible con la legislación actual. Ésta deberá modificarse para poder llevar a cabo el proyecto que desarrollamos en este trabajo, permitiendo una votación más rápida, sencilla y segura.

- Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones: Facilita el despliegue de redes de fibra óptica, ya que el encargado de la realización de la red no necesitará solicitar licencias y autorizaciones para el despliegue de la red en las partes que discurren por zonas privadas si las administraciones locales aprueban el proyecto, por lo que el tiempo de ejecución se acortará. Así lo recoge el Título III: “[...] *El Título III de la Ley, relativo a obligaciones y derechos de operadores y usuarios, incluye los preceptos relativos al servicio*

*universal, las obligaciones de integridad y **seguridad de las redes** y la ampliación de los derechos de los usuarios finales, y recoge importantes novedades en relación con los derechos de los operadores a la **ocupación del dominio público y privado**, al despliegue de redes y al acceso a infraestructuras de otros sectores”*

También hay que tener en cuenta el título IV que menciona la regulación de la normalización técnica y las condiciones que deben cumplir las instalaciones.

A su vez hay que atender a una serie de recomendaciones que afectan a este proyecto, recomendaciones de la UIT (elaboran normas técnicas para garantizar la interconexión ininterrumpida entre las redes y las tecnologías y organizan una mejora al acceso de las tecnologías a las comunidades insuficientemente atendidas a lo largo del mundo) e IEEE (normalización en el campo de las comunicaciones, la mayor aportación es al mundo de las redes locales):

- UIT-T G984: Describe las características generales de la red GPON según los requisitos de los operadores. Describe una red flexible de acceso a fibra óptica capaz de soportar anchos de banda de rangos entre 1.2 Gbit/s a 2.4 Gbit/s en la bajada y hasta 2.4 Gbit en la subida, incluye especificaciones sobre seguridad, método de activación de la ONU, mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo en sentido ascendente y de administración y mantenimiento de la capa física, de la administración de la ONT y OMCI.
- UIT-T G652: describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de un cable y fibra óptica monomodo que tiene una longitud de onda de dispersión cero de alrededor 1310 nm.
- UIT-T G657A: la versión G567A es compatible con las fibras monomodo G552 y puede implementarse en toda la red general de transporte, así como en la red de acceso.

2.6. Análisis del municipio

En este apartado se va a hacer un análisis del municipio de Leganés en el cual se quiere realizar el diseño de la red de comunicaciones para implantar la votación electrónica. Para ello se estudiará la situación de los colegios y escuelas infantiles públicas recogidas por el Ayuntamiento de Leganés y la situación de los nodos en los cuales se procesa la información.

2.6.1. Características del municipio y población

Según la información extraída del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, Leganés cuenta con 187.173 habitantes de los cuales 141.490 [21] están autorizados para realizar una votación electoral en el año 2015.

Estos 141.490 habitantes registrados se dividen entre los diferentes barrios del municipio de la siguiente manera:

- Sur: 23.063 habitantes (16'3%)
- Norte: 16.386 habitantes (11'58%)
- San Nicasio: 23.771 habitantes (16'8%)
- Zarzaquemada: 34.255 habitantes (24'21%)
- El Carrascal: 24.534 habitantes (17'34%)
- La Fortuna: 9.607 habitantes (6'79%)
- Polvoranca: 9.876 habitantes (6'98%)

Según la información obtenida, para este número de votantes se habilitan 21 colegios electorales distribuidos por todos los barrios y zonas de Leganés de la forma más equitativa posible. Cada colegio electoral deberá dar capacidad de voto a unas 6740 personas a lo largo del día. Por lo que el mapa de distribución de colegios queda de la siguiente manera:

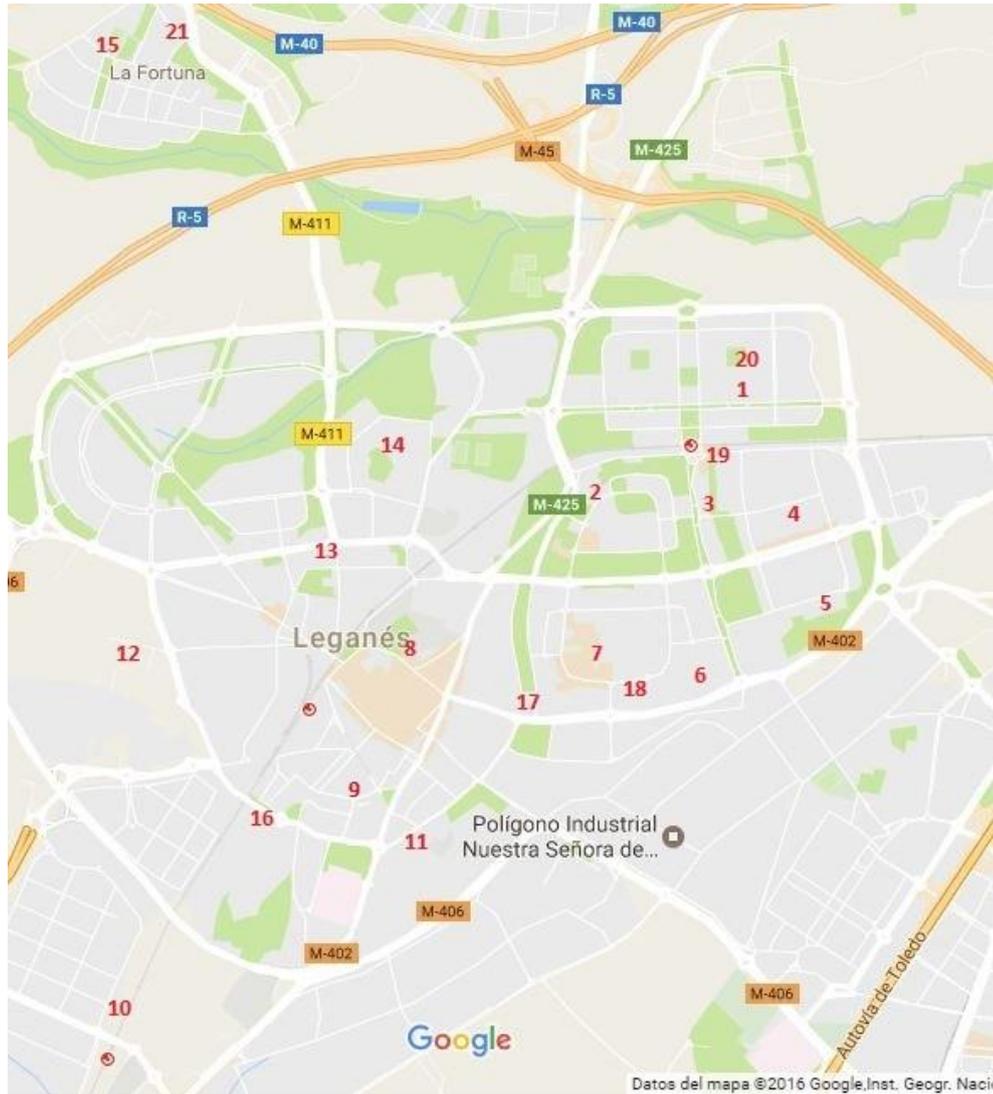


Figura 7: Mapa colegios municipio.
Fuente: Elaboración propia

Estos números corresponden a los siguientes colegios del municipio:

Nº	Nombre colegio	Nº	Nombre colegio
1	CEIP Antonio Machado	12	Colegio Público Miguel de Cervantes
2	Colegio Público Víctor Pradera	13	Colegio Público Lepanto
3	Colegio Público Pío Baroja	14	Colegio Público Gerardo Diego
4	Colegio Público Luis de Góngora	15	IES La Fortuna
5	Colegio Público Trabenco	16	Colegio Público Lope de Vega
6	Colegio Público Andrés Segovia	17	Colegio Público León Felipe
7	Colegio Público José María de Pereda	18	Colegio Público Ortega y Gasset

8	Colegio Público Juan de Austria	19	Colegio Público Benito Pérez Galdós
9	Colegio Público Marqués de Leganés	20	Escuela de educación infantil Rosa Caramelo
10	Colegio Público Manuel Vázquez Montalbán	21	Colegio público Gonzalo de Berceo
11	CEIP Concepción Arenal		

Tabla 2-Numeración de los colegios electorales

Fuente: Elaboración propia

La distancia entre los centros más cercanos es de 350m y entre los centros más alejados de 4km.

El ayuntamiento del municipio será el lugar donde se recogerán los datos del censo de la población para poder realizar consultas y votaciones así como el lugar donde se almacenarán estas consultas. El almacenaje de todos estos datos se realizará en los Centros de Procesamiento de Datos, se contará con dos de ellos, el principal y otro que se usará como respaldo en caso de fallo del primer CPD, este backup se situará en un centro municipal dedicado a administración. En la siguiente figura podemos ver donde se sitúan dichos edificio, marcados con un círculo negro:



Figura 8: Mapa municipio colegios y CPDs
Fuente: Elaboración propia

El acceso a la fibra del Ayuntamiento, el centro de backup y los colegios se va a realizar a través de los nodos de acceso a fibra existentes, es decir el punto de la central operadora, con situación marcada en morado en el siguiente mapa:



Figura 9: Mapa colegios, CPDs y nodos
Fuente: Elaboración propia

La distancia máxima a la que se garantiza una conexión óptima de la fibra óptica es 20 km. En este caso la distancia máxima entre el nodo de acceso a fibra y el colegio más alejado es de 8.1km.

CAPÍTULO 3: DISEÑO TÉCNICO

3.1. Desarrollo red de telecomunicaciones exterior

“Se entiende por red de telecomunicaciones el conjunto de medios (transmisión y conmutación), tecnologías (procesado, multiplexación, modulaciones), protocolos y facilidades en general, necesarios para el intercambio de informaciones entre los usuarios de la red.” [22]

Hay dos parámetros según los cuales podemos clasificar estas redes de acceso:

Según el medio físico. Las redes pueden ser cableadas o inalámbricas. Las redes cableadas (cobre, cable coaxial, fibra óptica...) tienen un despliegue costoso y lento, mayor ancho de banda, una mayor estabilidad y ubicación fija. Las inalámbricas (radiofrecuencia, aire...) se caracterizan por una menor inversión, un despliegue más rápido y asociado a la demanda de servicios, ancho de banda menor debido a que es compartido entre usuarios.

Y según las tasas de transmisión. Pueden ser conexiones de banda ancha, que permite una transferencia de bits muy elevada en un corto plazo de tiempo. Y banda angosta con tasas de transferencia inferiores a las de banda ancha.

Las redes de acceso de fibra óptica se dividen en cuatro bloques [12]:

- **Red de alimentación:** Es el tramo de red desde la central del operador de telecomunicaciones (uno de los nodos principales) que es el punto de partida de la red y la cámara de registro o arqueta. En el caso de este proyecto el medio físico a emplear es el cableado, aunque también se puede realizar vía radio. En la central del operador se situará el OLT que se conectará a un repartidor óptico para llevar la conexión a través de cables de fibra óptica por una canalización ya existente hasta la caja de registro o arqueta. En el camino pueden producirse empalmes entre dos fibras para garantizar una transmisión de datos limpia, estos empalmes requerirán de una caja de empalme que los proteja situada en las cajas de registro o arquetas. Dentro de éstas también pueden situarse divisores ópticos o splitters.

-Red de distribución: Es el tramo comprendido entre la cámara de registro o arqueta y la CTO, formada por elementos pasivos², es el punto desde el cual el servicio del proveedor se conecta con la red interna del edificio. Existen varias modalidades de CTO que pueden ser:

- Modular de interior (multioperador para instalación en el interior del edificio)
- No modular de interior (dedicada a un solo operador para instalación en interior del edificio)
- De exterior (preconectorizada para instalación en fachada)
- Caja terminal remota (sin divisor, para conexiones de cable de abonado).

En las cajas terminales de interior y preconectorizada pueden situarse bandejas de empalme así como divisores.

Otros elementos que comprenden la red de distribución son los cables de fibra óptica, que dependiendo de su situación pueden variar en función de las características que se adapten más al medio donde se encuentran.

-Red de dispersión: Es el tramo constituido desde la CTO hasta la roseta óptica terminal (punto de terminación del cable de acometida en domicilio del cliente). También existe una roseta óptica transición entre el cable acometida exterior y el cable acometida de interior. La acometida puede estar situada en el interior del edificio o en el exterior y su longitud variará según la tipología del edificio. En el caso de la interior se aprovecha la infraestructura ya existente hasta la terminal de red óptica o en caso de no existir cierta infraestructura es necesario realizar obras, lo que conllevaría un coste extra. En la acometida exterior el tendido de cables se realiza desde la CTO que se encontrará en el exterior, en las inmediaciones del edificio, hasta un punto de acceso a la vivienda.

-Red de usuario: Instalada en el interior del edificio, es la red que conecta con el cliente, desde la roseta óptica hasta el equipo de usuario ONT en el caso de FTTH u ONU en el caso de FTTB o FTTC. Dentro de esta red también pueden incluirse divisores ópticos, conectores entre equipos activos y pasivos de la red.

En la siguiente figura se muestra la colocación de los elementos que delimitan los diferentes tipos de redes de acceso:

² Sólo transmiten señales.

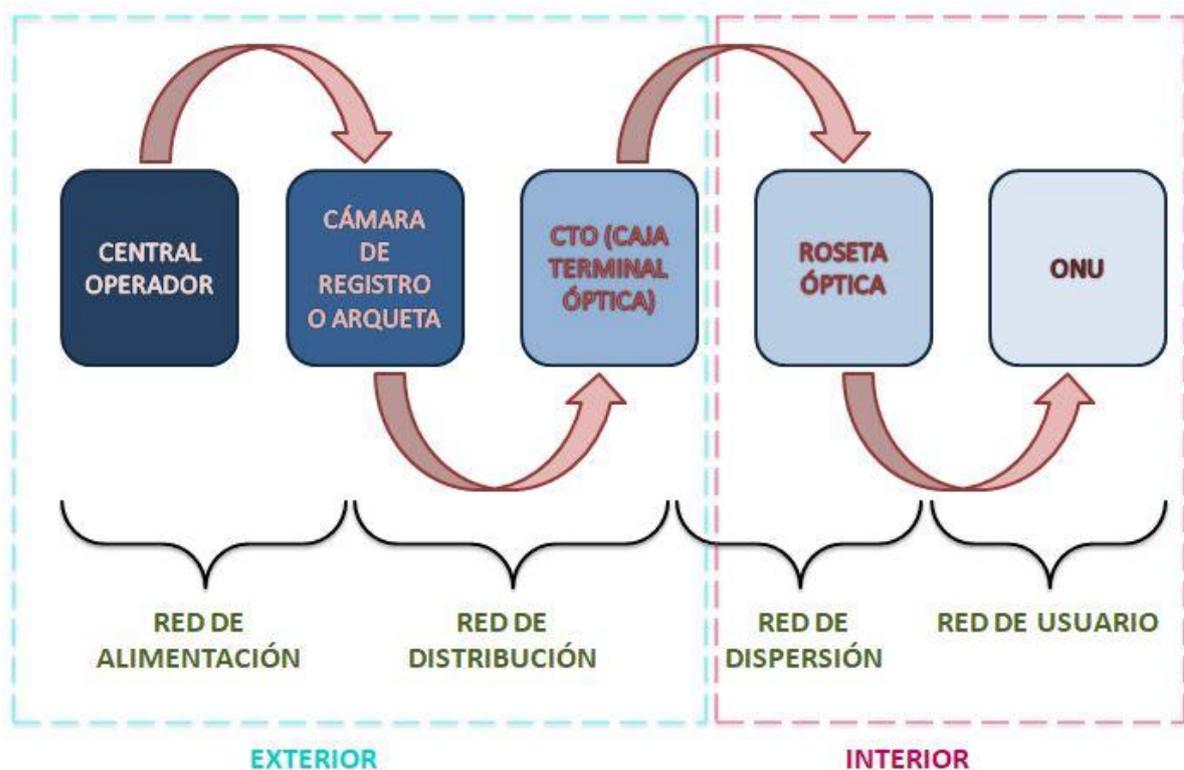


Figura 10: Esquema redes de acceso
Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Topología de la red exterior

Teniendo en cuenta la zona que se quiere cubrir y el número de terminales a los que debemos dar acceso y servicio se ha decidido utilizar una topología de red en doble anillo entre las subdivisiones de colegios según la orientación donde se encuentran, es decir, van a existir 4 anillos, cada uno correspondiente a una orientación (Norte, Sur, Este y Oeste), los anillos van a estar conectados al nodo principal mediante una **topología estrella**, como ésta no nos garantiza el funcionamiento correcto de la red en el caso de caída en un enlace se va a instalar un **enlace gemelo** que actúe de **backup** en caso de caída de algunos de los enlaces principales. Para cada una de las orientaciones en las que van a estar agrupados los diferentes colegios la topología seleccionada como se ha mencionado es la **topología lógica de anillo doble**, que es igual que la de anillo, es decir la conexión entre los edificios tiene forma circular, todos forman parte de la red conectada al anillo, con la diferencia de que hay un segundo anillo redundante que conecta los mismos edificios. Este segundo anillo tiene como función aumentar la fiabilidad de la red, con él queremos solventar problemas como un fallo en el anillo principal o una ruptura en el cable de éste, en ese caso se reconfigurará el anillo y continuará la transmisión.

Además los anillos son capaces de recuperar la comunicación después de un fallo utilizando protección de ruta o protección de enlace/nodo. Para asegurar la transmisión basada en fibra óptica el tráfico puede ser cursado por distintos cables de fibra como prevención ante rotura del cable que estaba siendo utilizado, es decir, cada enlace contará con otro **redundante**. En la siguiente imagen observamos el diseño general de esta red:

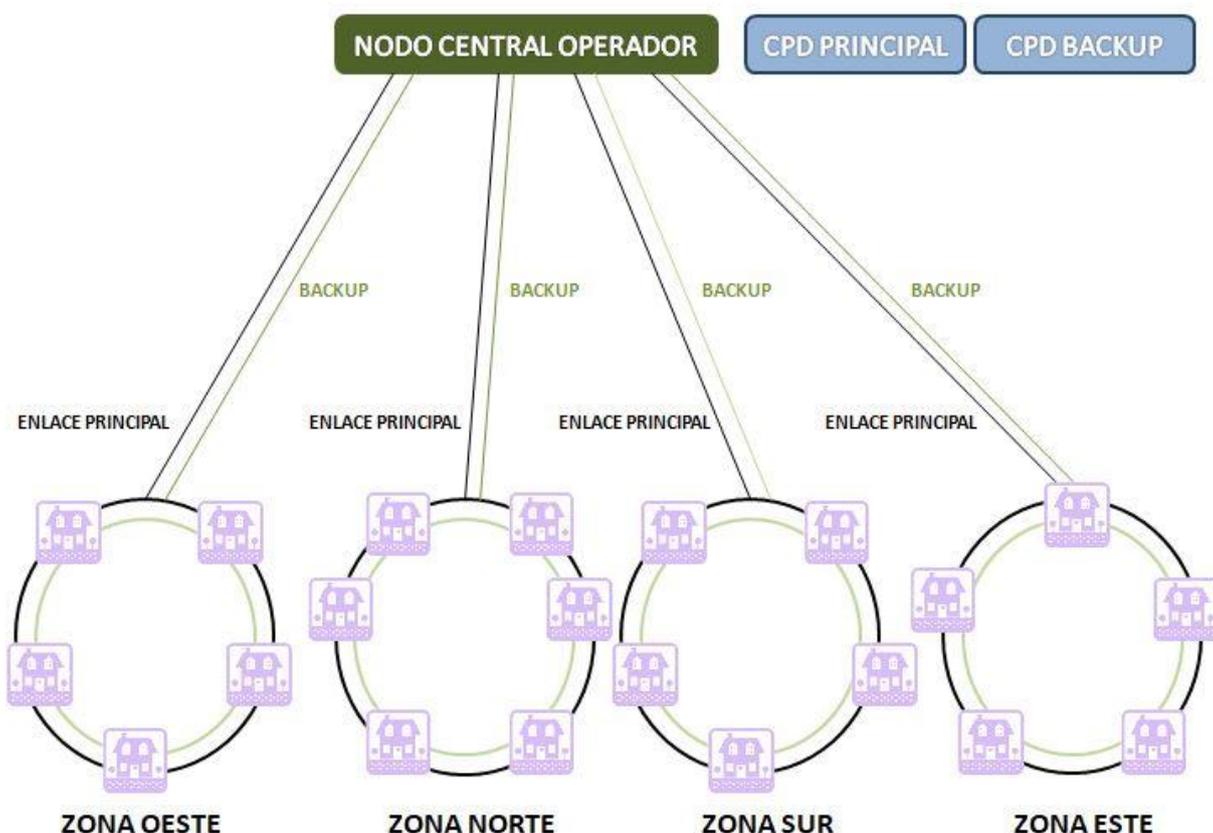


Figura 11: Topología física de la red
Fuente: Elaboración propia

Como tenemos un total de 21 colegios, tres de las zonas van a disponer de 5 colegios y una de ellas de 6 colegios. Los colegios que corresponden a cada zona son:

- Oeste: 8. Colegio Público Juan de Austria, 10. Colegio Público Manuel Vázquez Montalbán, 12. Colegio Público Miguel de Cervantes, 13. Colegio Público Lepanto y 16. Colegio Público Lope de Vega.
- Norte: 1.CEIP Antonio Machado, 14. Colegio Público Gerardo Diego, 15. IES La Fortuna, 19. Colegio Público Benito Pérez Galdós, 20. Escuela de educación infantil Rosa Caramelo y 21. Colegio público Gonzalo de Berceo

- Sur: 7. Colegio Público José María de Pereda Austria, 9. Colegio Público Marqués de Leganés, 11. CEIP Concepción Arenal, 17. Colegio Público León Felipe y 18. Colegio Público Ortega y Gasset

- Este: 2. Colegio Público Víctor Pradera, 3. Colegio Público Pío Baroja, 4. Colegio Público Luis de Góngora, 5. Colegio Público Trabenco y 6. Colegio Público Andrés Segovia

En el siguiente mapa observamos la conexión lógica en anillo doble entre los colegios:



Figura 12: Red anillos lógicos entre colegios
Fuente: Elaboración propia

Debido al elevado coste que supondría realizar nuevas canalizaciones en el municipio y teniendo en cuenta que ya existen en toda la ciudad canalizaciones de fibra óptica, se va a realizar un **alquiler de las canalizaciones ya existentes**. El despliegue del cableado por las canalizaciones subterráneas se llevará a cabo mediante un tendido manual en subconductos de 40 mm de diámetro.

Según observamos en las Figuras 11 y 12, existen dos CPD o datacenter aparte de la red de intercambio de datos de la votación. Los CPD son los centros de procesamiento de datos, formados por un conjunto de equipos situados en una sala acondicionada adecuadamente, necesita suministro eléctrico continuado, una climatización controlada debido al calor que desprende una gran cantidad de equipos tecnológicos funcionando al mismo tiempo y conexión a internet de calidad. Este centro va a proporcionar la información necesaria para la identificación de usuarios en la votación, es decir, alojará la información de los habitantes que tendrán derecho a voto, los censados. Así como otra parte del CPD se dedicará a almacenar los votos. El CPD principal estará situado en la sede principal del ayuntamiento del municipio. En esta red de distribución no solo se dispondrá de un CPD, existirá otro CPD adicional situado en una oficina administrativa de Leganés, para garantizar que el proceso se realice sin problemas, este CPD solo funcionará en caso de pérdida de conexión o fallo con el otro CPD, es decir, es un backup. Para asegurar la red y garantizar la fiabilidad de la votación se instalarán **Firewalls** que proporcionen un rendimiento óptimo y aseguren el acceso a la red. Estos Firewall controlan el tráfico hacia y desde su red por lo que estarán programados para que solo puedan acceder a los datos los dispositivos de los colegios electorales a través de los cuales se realiza la identificación y la votación. En el Ayuntamiento se cuenta con dos servidores que proporcionarán **redundancia** a la red, asegurando así la conexión y correcto funcionamiento del sistema en caso de fallo.

A continuación se muestra un esquema de red de los elementos mencionados que son necesarios para llevar a cabo la red, se muestra cómo tienen que estar distribuidos y organizados según la instalación. Los números se refieren a los edificios de los colegios de la red y la CTO será instalada en el exterior de los edificios que a través de una acometida interior se conectará con la roseta óptica:

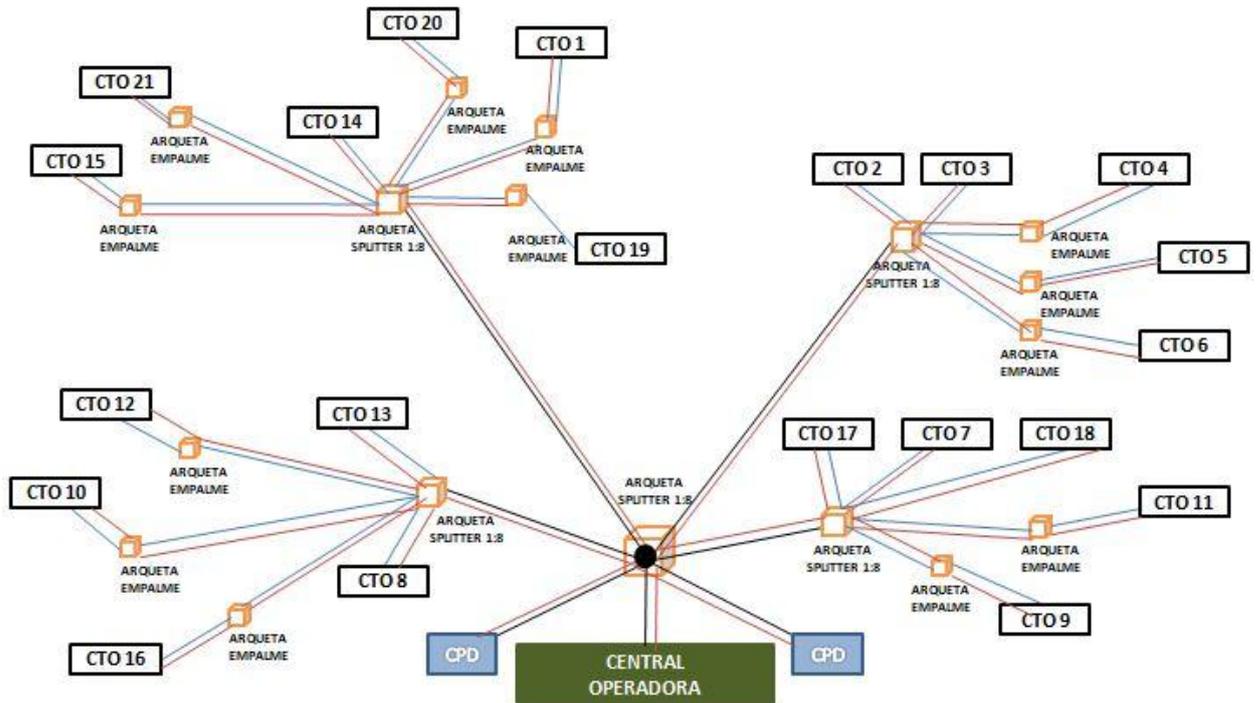


Figura 13: Esquema de la red
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Elementos de la red exterior

La red de telecomunicaciones exterior que estamos desarrollando en este proyecto se lleva a cabo a través de fibra óptica basada en tecnología GPON. Para realizar la configuración de esta red es necesaria una serie de elementos organizados como se muestra en la imagen a continuación y que se describen posteriormente:

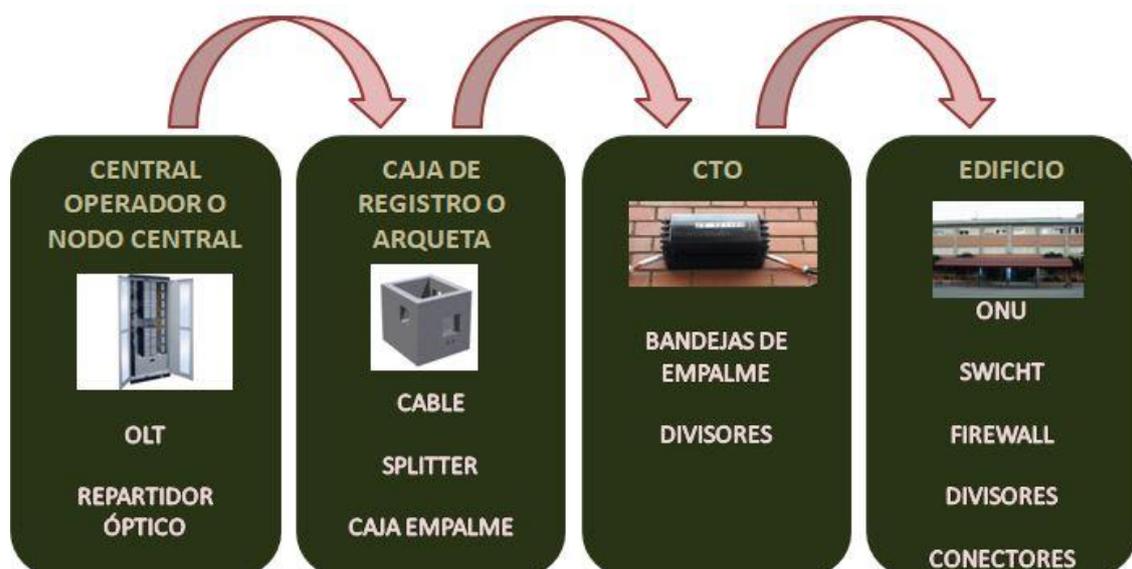


Figura 14: Elementos de la red
Fuente: Elaboración propia

Elementos **activos**, generan y transmiten señales ópticas:

- OLT: Es un elemento activo que se encuentra en la central telefónica. Tiene una función similar a un router, se encarga de agregar el tráfico proveniente de los clientes y encaminarlo hacia la red de agregación. El OLT tiene conexión con las siguientes redes: PSTN o RTB para los servicios de voz, Internet, datos, red de Internet para los servicios de datos o VoIP y video para servicios de videodifusión.
- ONU: Es el otro elemento activo de las redes GPON. Transforma la señal óptica de la fibra óptica en señal eléctrica. Cuando la información le llega por la fibra, selecciona la que corresponde al usuario final o cliente. Además codifica la información para mandarla hasta la central eléctrica y poder establecer la comunicación, es decir, también realiza funciones de multiplexor-demultiplexor. Es el último elemento de la red GPON. Pueden ser outdoor (exterior) o indoor (interior) dependiendo de las características del cliente y sus restricciones. Así como puede llevar muchas conectividades para ofrecer distintos servicios al cliente, también puede tener conexión WiFi.

Los principales parámetros de estos elementos activos son la potencia transmitida, potencia máxima de entrada, la sensibilidad (el umbral que mide la potencia mínima recibida para poder ser detectada), dispersión cromática, ancho espectral de la fuente y tiempo de subida.

Elementos **pasivos**, transmiten las señales:

- Repartidor óptico: Se encarga de conectar la fibra procedente del cable de alimentación con el OLT, en él se dividen las fibras contenidas en el cable y se conectan al OLT mediante conectores SC.
- WDM: Dispositivo que hace posible la transmisión de señales con varias longitudes de onda por la fibra óptica, así se aprovecha mejor el ancho de banda de la fibra óptica, el sistema es más escalable y se evitan colisiones entre el tráfico de subida, bajada y vídeo.
- Divisor óptico o splitter: Se usa para separar las fibras que salen de la central de telefonía hasta el cliente, se pueden separar desde 1:2 hasta un máximo de 1:64.
- Fibra óptica: medio físico por el que se transporta la señal.

- Empalmes: Usados para reducir atenuaciones que disminuyen la calidad deseada, aunque no es recomendable abusar de un gran número de empalmes ya que el proceso de unión de dos fibras produce unas pérdidas por empalme inevitables. En este proyecto, si es necesario, se van a realizar empalmes por fusión, que se realizan “soldando” dos fibras utilizando un arco eléctrico. Este tipo de empalme brinda pérdidas bajas y baja reflectancia, y son preferidos en redes con fibra monomodo. Además también es mejor desde el punto de vista de confiabilidad.
- Cajas de empalme o bandejas de empalme: Debido a las divisiones, multiplexaciones y demás operaciones que se realizan con los empalmes y conectores, es necesario el uso de cajas de empalme para protegerlos ante tensiones o perturbaciones del exterior.
- Conectores: Usados para la terminación de la conexión de fibra óptica. Unen dos fibras para crear una unión temporal y/o conectar la fibra a un equipo de red. Es el elemento que más pérdidas introduce a la red. Tipos:
 - ST o de punta recta: Para terminaciones de cables multimodo.
 - FC o conector férula: Para medición con OTDR y conexiones CATV.
 - LC o conector pequeño: Para equipos de comunicación de alta densidad de datos como racks o paneles, introduce bajas pérdidas.
 - SC o conector de suscriptor: Bajas pérdidas en fibras monomodo.
 - SC-DUPLEX: Diseñado para mantener la polarización de las fibras en las instalaciones.
 - FDDI: Usado para la interfaz FDDI.
- Rack de comunicaciones (bastidor, gabinete o armario): permite alojar en su interior todos los equipos de comunicaciones.
- Canaleta: canal que contiene cables en la instalación.
- Arqueta o caja de registro: cubículo que se usa para recibir, enlazar y distribuir canalizaciones o conductos subterráneos. Es el punto de interconexión entre las redes de alimentación de los sistemas de telecomunicación y las redes de distribución. A través de ellas salen los conductos de la canalización externa hasta la entrada del edificio. Su localización es externa al edificio,

generalmente en aceras. En su interior, aparte del cableado podemos encontrar cajas de empalme o cajas para divisores ópticos.

- **CTO:** Caja en la cual las fibras de la red exterior conectan con la de la red interior. Su función principal suele ser la de albergar el último divisor de la red, así como facilitar las acometidas de fibra. Por lo general se distingue por su color negro en España.

3.1.3. Descripción tecnología red exterior

3.1.3.1. OLT

En este caso se ha seleccionado el uso de la OLT de la **serie SmartAX EA5800 de Huawei, EA5800-X17**. Se ha seleccionado este modelo frente al resto de la gama SmartAX EA5800 por la cantidad de puertos que ofrece, hace más fácil la modificación de la red en caso de aumento de demanda. Cuenta con 272 puertos GPON, puertos de transporte GPON 10G. Está pensada para aumentar el ancho de banda de la red y proporcionar mayor velocidad y conectividad. Admite tanto despliegues de FTTH como FTTB, FTTC y POL. Puede soportar un rendimiento de 100Gbit/s en la red y un comienzo rápido de video HD y cuenta con mecanismos de protección de datos: *disaster recovery*, dos tableros de control y dos cuadros de potencia para asegurar redundancia en ésta y protección de doble enlace ascendente.

Es compatible con las especificaciones ITU-T G984.1, ITU-T G984.2, ITU-T G984.3, ITU-T G984.4, ITU-T G987.1, ITU-T G987.2, ITU-T G987.3 e ITU-T G988, por lo que es capaz de trabajar con cualquier ONU del mercado.



Figura 15: OLT
Fuente: Huawei

Para recoger las tramas de voz y datos que llegan hacia la red diseñada, se utiliza la longitud de onda 1490nm. En cambio el tráfico que recoge desde la ONU y se

redirige a hacia la red de Internet usa la longitud 1310nm. Las tramas de video que se reciben usan la longitud de onda 1550nm.

3.1.3.2. Conectores

Los conectores que van a usarse en la terminación de la fibra óptica a lo largo de la red exterior en el equipo OLT y los extremos de los divisores ópticos van a ser los tipo **SC con pulido APC (pulido angular)** que tienen un gran desempeño en fibras monomodo, como en este caso y resulta más económico que el conector LC. El tipo de pulido APC es recomendable en este caso ya que pueden producirse inclinaciones en la superficie donde se realiza el acoplamiento que produzcan grandes pérdidas de retorno. Se regía por la antigua norma EIA/TIA 568A pero ahora la norma EIA/TIA 568 permite cualquier conector de fibra óptica [23].

3.1.3.3. Splitter

El splitter más básico que puede emplearse es el de razón 1:2, que divide el cable de fibra óptica en dos salidas. Para conseguir divisores ópticos con unas razones mayores se forman encadenando unos con otros, por lo que las pérdidas de un splitter con una razón mayor a 1:2 tendrá una pérdida mayor, ya que las pérdidas se suman en la encadenación. En el diseño hacemos uso de un **splitter 1:8**, que tiene una tecnología más baratas que los splitter superiores, se utilizará para distribuir la fibra que sale del OLT en 6 caminos (uno para cada orientación y dos a los CPD) y otro splitter 1:8 para la distribución de la fibra en las arquetas de cada orientación, por lo que hay que tener en cuenta el encadenamiento de los tres splitter (1:2) a la hora de medir las pérdidas.

3.1.3.4. Fibra

Para la red de acceso FTTH se elige el uso de una fibra **monomodo** ya que posee elevada capacidad de transmisión y baja atenuación óptica. Permite homogeneizar la red con el resto de la red, por su transparencia y uniformidad, a la vez que necesita un mantenimiento y desarrollo menos elaborado. Así lo hace la recomendación ITU-T G-652 [24], IEEE 1000Base-LX y 10Gbase-LX donde se destaca la utilización de la fibra **G652D** para la instalación exterior, en el área metropolitana debido a su mayor diámetro de campo y la eliminación de intrusión de agua. En cambio para el interior de los edificios se elige fibra **G657A** [25] debido a su mayor seguridad operativa y mayor flexibilidad en las entradas de edificios, curvas y esquinas.

El hilo **monomodo** a utilizar es **Fibra óptica de vidrio y cubierta de polietileno de Telnet**.

Sus principales características:

- Optimizadas para longitud de onda de 1310 nm
- Baja dispersión cromática en la longitud 1310 nm
- Baja atenuación en el rango de 1285-1330 nm
- Indicada para redes metropolitanas, de acceso, cableados estructurados y CATV.

Para este proyecto vamos a necesitar un cable antirroedores de 64 fibras mínimo, ya que debemos comunicar 3255 tomas y las de los CPD teniendo en cuenta que cada fibra puede dar acceso a un máximo de 64 clientes.

Parámetros característicos de la fibra:

1. Ópticos (índice de refracción, energía lumínica)

PROPIEDADES ÓPTICAS		G.652.B	G.652.D
Diámetro Campo Modal (μm)	1310 nm	9.0 ± 0.4	9.0 ± 0.4
	1550 nm	10.1 ± 0.5	10.1 ± 0.5
Coeficiente Atenuación (dB/Km)	1310 nm	≤ 0.35	≤ 0.35
	1383 nm	≤ 1.0	≤ 0.35
	1460 nm	----	≤ 0.25
	1550 nm	≤ 0.23	≤ 0.21
	1625 nm	< 0.24	< 0.23
Dispersión Cromática (ps/nm.Km)	1285 – 1330 nm	≤ 3	≤ 3
	1550 nm	≤ 18	≤ 18
	1625 nm	≤ 22	≤ 22
Longitud Onda Cero Dispersión (nm)		1300 - 1322	1300 - 1322
Pendiente Dispersion Cero (ps / nm ² Km)		≤ 0.092	≤ 0.090
Índice Refracción	1310 nm	1.467	1.467
	1550 nm	1.468	1.468
Longitud Onda Corte Cable (nm)	Cableado	≤ 1260	≤ 1260
PMD (ps / (ps/√Km)	1550 nm	< 0.2	< 0.1

Propiedades conforme a ITU-T G.652.B, G.652.C & D, IEC 60793-2-50 B.1.3, ISO/IEC 11801, ISO/IEC 24702, EN 50173, Telcordia GR-20-CORE, ANSI/ICEA S-87-640 y RUS 7CFR 1755.900.

Figura 16: Propiedades ópticas fibra G652

Fuente: OPTRAL

2. Geométricos (de fabricación, determinará la tolerancia de las mismas)

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS / MECÁNICAS	G.652.B	G.652.D
Diámetro Revestimiento	125 ± 1.0 μm	125 ± 0.7 μm
Concentricidad Núcleo /Revestimiento	≤ 0.6 μm	≤ 0.5 μm
No Circularidad Revestimiento	≤ 1.0 %	≤ 0.7 %
Diámetro Recubrimiento Primario	242 ± 7 μm	
No Circularidad Recubrimiento Primario	≤ 5 %	
Concentricidad Recubrimiento Primario / Revestimiento	≤ 12 μm	
Proof Test	≥ 8.8 N / ≥ 1 % / ≥ 100 Kpsi	

Figura 17: Propiedades geométricas fibra G652
Fuente: OPTRAL

3. Balance de enlace

Se trata de estudiar la potencia óptica disponible en función de las pérdidas, márgenes y penalidades para asegurar que la potencia que llega al receptor satisface los objetivos de calidad impuestos por el usuario y la normativa internacional. Las pérdidas vienen dadas por la atenuación, que es la pérdida de la potencia de una señal, se produce ya que la energía de una señal disminuye con la distancia. La atenuación es mayor con la frecuencia, la temperatura y el tiempo. Se calcula de la siguiente manera [26]:

$$P_T - P_{RMIN} \geq A_F \times L + n_c \times a_c + n_e \times a_e + M + P_N$$

A continuación se calcula el balance de potencia de un determinado tramo de la red, entre el OLT y el primer ONU:

P_{RMIN} = Sensibilidad del receptor

P_T = Potencia de emisión

A_F = Atenuación en dB/km en la fibra

L = Largo del enlace

n_c = Número de conectores

a_c = Pérdida por conector

n_e = Número de empalmes

a_e = Pérdida por empalme

M = Margen del sistema

P_N = Penalidades

L_C = Longitud carrete fibra óptica

Donde tenemos:

Atenuación upstream (1310 nm): < 0.35

Atenuación downstream (1490 nm): < 0.25

Atenuación transmisión video (1550 nm): < 0.21

Para este proyecto según los elementos que hemos seleccionado, suponiendo una longitud de onda de 1310nm (al ser el caso con más pérdidas, para estar en el peor caso) y sabiendo que la distancia máxima entre un enlace de dos colegios es 10km:

P_{RMIN} (ONU) = -28 dBm

P_T (OLT) = 0.5 dBm

A_F = la máxima atenuación en la fibra escogida es de 0.35 dB/km

L = 10 km

n_c = 4 conectores (uno a cada lado del splitter)

a_c = 0.4 dB

n_e = 5 (carrete de fibra de 2km, por lo que 10km/2km = 5 empalmes)

a_e = 0.1 dB

M = 3 dB (valor fijado por el diseñador)

P_N = 0.5 dB (por reflexión y dispersión)

L_C = 2km

Por lo que el balance de enlace será:

$$0.5dBm - (-28dBm) \geq \frac{0.35dB}{km} \times 10km + 4 \times 0.4dB + 5 \times 0.1dB + 3dB + 0.5dB$$

$$28.5 dBm \geq 9.1 dB$$

Cumple las especificaciones de balance de enlace por lo que se calcula la distancia máxima que podría tener el enlace para comprobar que el enlace de 10 km no sobrepasa el límite:

$$L_{MAX} = \frac{P_T - P_{RMIN} - n_c \times a_c - n_e \times a_e - M - P_N}{A_F}$$

$$65.43 \text{ km} = \frac{28.5 \text{ dBm} - 4 \times 0.4 \text{ dB} - 5 \times 0.1 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 0.5 \text{ dB}}{0.35 \text{ dB/km}}$$

Por lo que en la máxima distancia a recorrer entre dos colegios, 10 km, cumple con las especificaciones perfectamente.

4. Dispersión

La dispersión se refiere a pérdidas en el ancho de banda y por distancia recorrida. La dispersión va a limitar la distancia de transmisión y el ancho de banda. Se distinguen tres tipos de dispersión: modal (en fibras multimodo, los rayos de luz toman diferentes trayectorias por una fibra y llegan al destino en diferentes tiempos por lo que el pulso se ensancha), por polarización (por una imperfección en el núcleo, hace que los modos de polarización de la fibra viajen a diferentes velocidades lo que causa un ensanchamiento del pulso, solo afecta a los enlaces de alta capacidad (>2.5 Gbps) y se considera cuando >0.5ps/ $\sqrt{\text{km}}$, que en nuestro caso no aplicaría (0.1ps/ $\sqrt{\text{km}}$)) y dispersión cromática.

La dispersión cromática es la variación del índice de refracción de un medio óptico (en nuestro caso fibra óptica) con la longitud de onda. Los pulsos de luz propagándose a lo largo de la fibra experimentan una deformación debido al ancho espectral de la señal óptica, por lo que se experimenta una limitación en el ancho de banda de transmisión. [27]

$$D_T = D_C \times W \times L$$

D_T = Ensanchamiento cromático o dispersión total

D_C = Coeficiente de dispersión cromática

W = Ancho espectral de la fuente de luz a -3dB

L = Longitud máxima enlace

Considerando el caso en el que el coeficiente de dispersión cromática es mínima y que la polarización PMD no afecta en nuestro caso (1310 nm):

D_T = Ensanchamiento cromático o dispersión total

D_C = 3 ps/nm*km (a 1330 nm)

$W =$ Suponemos 2 nm

$L =$ 10km

$$60 \text{ ps} = 3 \frac{\text{ps}}{\text{nm} \times \text{km}} \times 2 \text{ nm} \times 10 \text{ km}$$

El período entre pulsos cuando la velocidad de transmisión es máxima será:

$$D_T = \frac{T}{2}$$

$$T = D_T \times 2 = 120 \text{ ps}$$

5. Ancho de banda

El ancho de banda se refiere a la cantidad de datos o información que se puede enviar en una conexión en un período de tiempo determinado. Mide la longitud (en Hz) en la que se concentra la mayor potencia de la señal. Está muy ligada a la velocidad de transmisión y a la dispersión de la conexión.

Ancho de banda eléctrico de la fibra óptica para la máxima velocidad de transmisión [27]:

$$B_{\text{eléctrico}} = \frac{1}{T}$$

Donde T es el período de pulsos de transmisión calculado en el apartado anterior.

$$B_{\text{eléctrico}} = 8.33 \times 10^9 \text{ Hz}$$

A partir del cual podemos calcular el ancho de banda óptico, que es máximo ancho de banda que la fibra ofrece en 10 km:

$$B_{\text{óptico}} = B_{\text{eléctrico}} \times L$$

$$B_{\text{óptico}} = 8.33 \times 10^{10} \text{ Hz} \times \text{km}$$

Nyquist define la máxima capacidad de transmisión como:

$$C = 2 * B_{\text{eléctrico}}$$

$$C = 16.6 \text{ Gbps}$$

Esta máxima capacidad de transmisión es suficiente para la densidad de datos que va a tener que soportar la red durante la votación electoral.

3.1.4. CPD

Un Centro de Procesamiento de Datos o Data Center es el espacio donde se instalan unos equipos determinados (servidores) que tendrán como función procesar y almacenar información. Su presencia está ligada a clientes que tienen que tratar con un gran volumen de datos en la red, por ello este centro requiere de un acondicionamiento especial ya que los equipos tienen dimensiones considerables y necesidades especiales.

Aunque en este proyecto no se propone el diseño de la red de comunicación del CPD si se requiere que existan dos dentro de la red, el principal y el secundario que será usado en caso de fallo del primero. Éstos estarán situados en edificios oficiales del Ayuntamiento del municipio.

También es preciso mencionar los requisitos más importantes que deberá cumplir la sala que albergará los equipos [28]:

- Provisión de electricidad: El centro de procesamiento de datos necesita electricidad para funcionar 24 horas los 7 días de la semana, y está formado por equipos que necesitan una fuente de energía, por ello es necesario pensar en el sistema de provisión de electricidad y un respaldo en caso de fallo en el sistema de electricidad, como puede ser un UPS que proporcione energía eléctrica durante el apagón o un grupo electrógeno que genere electricidad mediante gasolina.
- Instalación de climatización: Los equipos instalados generan una gran cantidad de calor, por lo que es necesario un acondicionamiento de día y noche y que sea redundante ya que el exceso de calor puede provocar graves fallos en el sistema. Existen diversos métodos de enfriamiento de la sala, pueden ser sistemas que expulsan aire frío por el falso suelo y tener un sistema de retorno del aire caliente en la parte superior de la sala o introduciendo agua fría por unas tuberías situadas en torno los armarios rack y que enfrían por contacto los equipos.
- Instalación de protección contra incendios: debido a las altas temperaturas de la sala o a un agente externo se pueden producir incendios, por lo que es recomendable la instalación de un sistema de protección tal como un extintor que extingue el incendio por absorción de calor.

- Instalación de detección de agua: es necesario un sistema con cable sensor para asegurar el aviso, mediante una alarma, en caso de fuga de agua en el centro de procesamiento de datos que pueda dañarlo.

- Instalación de control de accesos: Al gestionar una información muy sensible, los datos personales de la ciudadanía, el lugar debe contar con un control de acceso al CPD mediante autorizaciones especiales y personal cualificado.

- Alarmas de calor: Al igual que con la aparición de agua o fuego en las inmediaciones, deberán encontrarse alarmas que alerten de una subida anormal de temperatura en la sala y activen sistemas de extinción.

- Seguridad: Toda la red en la que se encuentre el CPD deberá estar protegida tanto de los agentes físicos mencionados como de ataques informáticos. Esta seguridad podrá componerse por firewalls configurados muy minuciosamente y redundancia en éstos.

3.2. Desarrollo red colegio electoral

Tras el diseño de la red de comunicaciones en el municipio para la interconexión de los diferentes colegios que participan en la votación, se lleva a cabo el diseño de la red de comunicación interior de los colegios. Al tener todos ellos una arquitectura y distribución similar, se propone el diseño de un colegio que servirá de guía para todos los demás.

Teniendo en cuenta el número de habitantes con derecho a voto en el municipio, 141.492 habitantes, y el número de colegios total que se va a habilitar para ello (21 colegios), cada colegio debe dar cabida a alrededor de 6.740 personas a lo largo de todo el día de votación. La distribución de los colegios es la siguiente, cada colegio consta de tres plantas, en la planta baja suelen situarse el gimnasio, comedor, aula de profesores, biblioteca, aseos y un par de aulas que se habilitarán con dos cabinas cada una, estas cabinas tendrán dimensiones especiales, mayores a las de las plantas superiores y estarán destinadas a personas de movilidad reducida. La planta baja también contará con una sala especial de videoconferencia y su correspondiente equipamiento. La primera y segunda planta están formadas de ocho aulas en las que se habilitarán nueve cabinas con equipo informático adecuado para la realización de la votación en cada una. Por tanto, dispondremos de 18 aulas habilitadas para el proceso electoral en cada colegio, con 148 cabinas que deben dar servicio a 6.740 personas, por lo que a cada cabina estarán asignadas unas 46

personas que dispondrán de unos 15 minutos aproximadamente para compartir su voto.

Plantas	Número de cabinas	M2 Aula	M2 Cabina	Número ciudadano s/planta	Número ciudadano s /cabina	Minutos ciudadano/cabina (proceso electoral de 12h)
Baja	4	39,96	3,4	Personas movilidad reducida	Personas movilidad reducida	15 minutos
Primera	72	39,96	1,15	3370	46	15 minutos
Segunda	72	39,96	1,15	3370	46	15 minutos
TOTAL	148	-	-	6740	-	-

Figura 18: Distribución plantas colegio

Fuente: Elaboración propia

Para realizar un diseño de una red de comunicaciones interna se deben analizar elementos similares a los de una red externa. Los servicios que se ofrecen en este proyecto son los siguientes:

- Conexión a internet.
- Red cableada para todas las cabinas.
- Servicio de videoconferencia situados en las aulas de la planta baja para comunicación con otros colegios electorales y sede del partido político.

Además la red de comunicación debe cumplir una serie de requisitos:

- Alta seguridad: Al tratarse de un proceso electoral la red debe estar protegida por equipos que proporcionen una alta seguridad, como firewall que se encarguen del correcto funcionamiento de la red, filtrando el tráfico que fluye por la red y ejecutando diferentes políticas de seguridad configuradas.

- Disponer de redundancia: Se ha de garantizar una conexión continua durante toda la jornada, por lo que un fallo en algún punto del sistema no deberá suponer problema gracias a la redundancia en el diseño de la red.

3.2.1. Cableado estructurado

El diseño e instalación de la fibra óptica dentro de los colegios se realizará mediante un **cableado estructurado** [29], ya que posibilita la modificación de la red de una forma más flexible y económica, así como proporciona una gran calidad de conexión y una rápida y efectiva gestión de la red. Es un sistema mediante el cual se organiza una infraestructura de telecomunicaciones en un edificio. Esta infraestructura se dedica a transportar las señales de un emisor hasta un receptor a lo largo y ancho del edificio, así como facilita la administración sencilla y sistemática del cambio de localización de los equipos. Puede estar formada por combinaciones de diferentes tipos de cable (fibra óptica, UTP...), en nuestro caso el único tipo de cable a usar será la **fibra óptica y par trenzado**.

En este proyecto distinguimos entre los siguientes elementos en este cableado estructurado:

- Cableado vertical o backbone.
- Cableado horizontal.
- Cuarto de telecomunicaciones.
- Área de votación (cabinas).

Como todo sistema, presenta una serie de ventajas y desventajas en su ejecución, entre las que podemos destacar:

- **Ventajas**

- Es un sistema muy fiable debido a su topología estrella, es decir, en caso de fallo o desconexión en alguna parte de la red no afecta al resto de equipos.
- Permite la combinación de diferentes tipos de cables como coaxial, fibra óptica, telefónico, pares apantallados...
- Los recursos que se consumen son en una sola estructura de cableado y no en varias. Por lo que si es necesaria una actualización o cambio en los sistemas no hace falta cambiar todo el diseño del edificio.
- Su facilidad de actualización de diseño lo convierte en un sistema económico a pesar del coste de la instalación inicial.

- **Desventajas**

- Dificultad en la localización de averías.
- El cableado puede quedar obsoleto y acumulado en las instalaciones sin ser usado.
- Pueden darse incompatibilidades entre sistemas.
- Pueden producirse interferencias si hay diferentes tipos de cables instalados.

Cableado vertical o backbone.

El cableado vertical o backbone se refiere al cableado troncal vertical del edificio que se conecta a la red horizontal en cada planta del edificio en el “Cuarto de telecomunicaciones” correspondiente y proporciona la interconexión entre cada una de las plantas con la acometida de entrada de servicios conectada en la CTO.

Esta estructura incluye el medio de transmisión (cable de fibra óptica), puntos de conexión entre el proveedor externo de servicios con los equipos activos de cada planta, es decir, la conexión entre el proveedor de servicios y los “Cuartos de telecomunicaciones”.

La topología recomendada para esta estructura es la **topología estrella jerarquizada**, conforme a la recomendación de la EIA/TIA 568, ya que si se necesita una topología bus, anillo o árbol, la topología estrella proporciona flexibilidad para implementarlas mediante conexiones en los puntos de encuentro del cableado horizontal y backbone.

Para el diseño del cableado vertical se han de definir el “Cuarto de control principal” o **MDF (Main Distribution Frame)**, “Cuartos de de control secundario” o **HCC (Horizontal Cross Connect)**, en este caso no es necesario un IDF (Intermediate Distribution Frame) al tratarse de solo tres plantas y la **acometida de entrada del servicio del proveedor**. En el MDF llegan los servicios del proveedor externo a través de la Caja Terminal Óptica y se realiza la conexión con el resto de pisos en sus correspondientes HCC que despliega los cables hasta las rosetas ópticas de cada planta. Este cableado debe ser lo más vertical posible en el edificio, de forma que los cuartos de control de cada planta queden alineados y paralelos tal como indica el estándar ANSI/TIA/EIA-569.

Cableado horizontal.

Es el cableado comprendido entre el “Cuarto de control” de cada planta hasta los conectores de los equipos con los que interactúan los usuarios. Esta estructura también estará diseñada con una **topología red tipo estrella**.

Estará compuesto del cable principal, que en este caso se tratará de par trenzado ya que las distancias entre el HCC y los equipos no son muy elevadas y podrá dar servicio a la velocidad deseada con un coste inferior, equipos del “Cuarto de control” y los correspondientes conectores a los equipos. No se permiten empalmes, puentes o derivaciones a lo largo de este cableado.

3.2.1.1. Pasos para la realización de la instalación de cableado estructurado

Para el diseño de la red interior del colegio mediante cableado estructurado se deben tener claros una serie de pasos [29]:

1. Estudio de las necesidades, objetivos y requerimientos del servicio que se va a proporcionar y las necesidades, así como los requerimientos técnicos.
2. Caracterización de la topología lógica y física así como del rendimiento de la red ya existente.
3. Caracterización del flujo de la red, requisitos de calidad, protocolos...
4. Garantía de una vida mínima de la estructura.
5. Diseño lógico, determinar la topología a implementar, la seguridad y administración de la red.
6. Creación planos de cada planta.
7. Descripción del “Punto de demarcación” donde el proveedor externo se conecta a los cables del edificio.
8. Descripción cableado backbone o cableado vertical.
9. Descripción del cableado vertical.
10. Identificación de MDF, IDF y HCC así como su localización.
11. Se debe garantizar cubrir todo el recorrido de los cables hasta las rosetas de cada planta.
 - a. La distancia máxima entre el cuarto HCC y la roseta óptica debe ser 90 metros.
 - b. La distancia máxima entre la roseta óptica y el equipo de acceso a la red debe de ser 3 metros.

- c. El cableado entre MDF e IDF/HCC debe ser como máximo de 2000 metros en caso de fibra multimodo y 3000 metros en caso de fibra monomodo en cada tramo.
12. Descripción localización equipos en el plano.
 13. Diseño físico, descripción de la tecnología y equipos a instalar en cada parte de la estructura.

3.2.2. Arquitectura de cada planta

Una vez conocidas las necesidades, requerimientos y objetivos del proyecto, y tras proporcionar a los colegios electorales de una red de comunicación privada entre ellos y que garantice la máxima seguridad y redundancia posible, se procede a un diseño de esta estructura más detallado. También hemos mencionado la topología lógica y física a implementar en todo el edificio, topología estrella, y conexiones, así como se reutilizará el máximo posible de las canalizaciones ya existentes en el edificio.

Hemos definido la necesidad de la instalación de tres cuartos de control, uno por cada piso, para garantizar la mejor conexión posible en cada equipo y versatilidad a la hora de aumentar la red.

En nuestro proyecto disponemos de colegios de tres plantas (baja, primera y segunda) con una superficie de alrededor de 693,88 m² cada una, un total de superficie por edificio de 2.072,64 m², por lo que dispondremos de un solo “Cuarto de control principal” situado en la primera planta que estará conectado a la acometida del proveedor de servicios, ya que al tratarse de una topología estrella, el cableado deberá terminar en uno de los “Cuartos de control” (HCC) situados en la planta baja y segunda.

En los “Cuartos de control secundarios” se situarán el armario rack, switches, firewalls, conectores, panel de conexiones o *patch panel* con sus correspondientes latiguillos y el correspondiente cableado de parcheo en el interior del cuarto (*patch cord*). Y en el “Cuarto de control principal” encontramos el ONU, panel de conexiones o *patch panel* con sus correspondientes latiguillos, patch cord, switches y conectores.

El cableado horizontal que parte de estos cuartos de control viajará por las canaletas situadas en un falso techo.

3.2.3. Descripción tecnología red colegio electoral

El esquema de colocación de los elementos que serán necesarios en la implementación de la red interior de cada colegio es la siguiente:

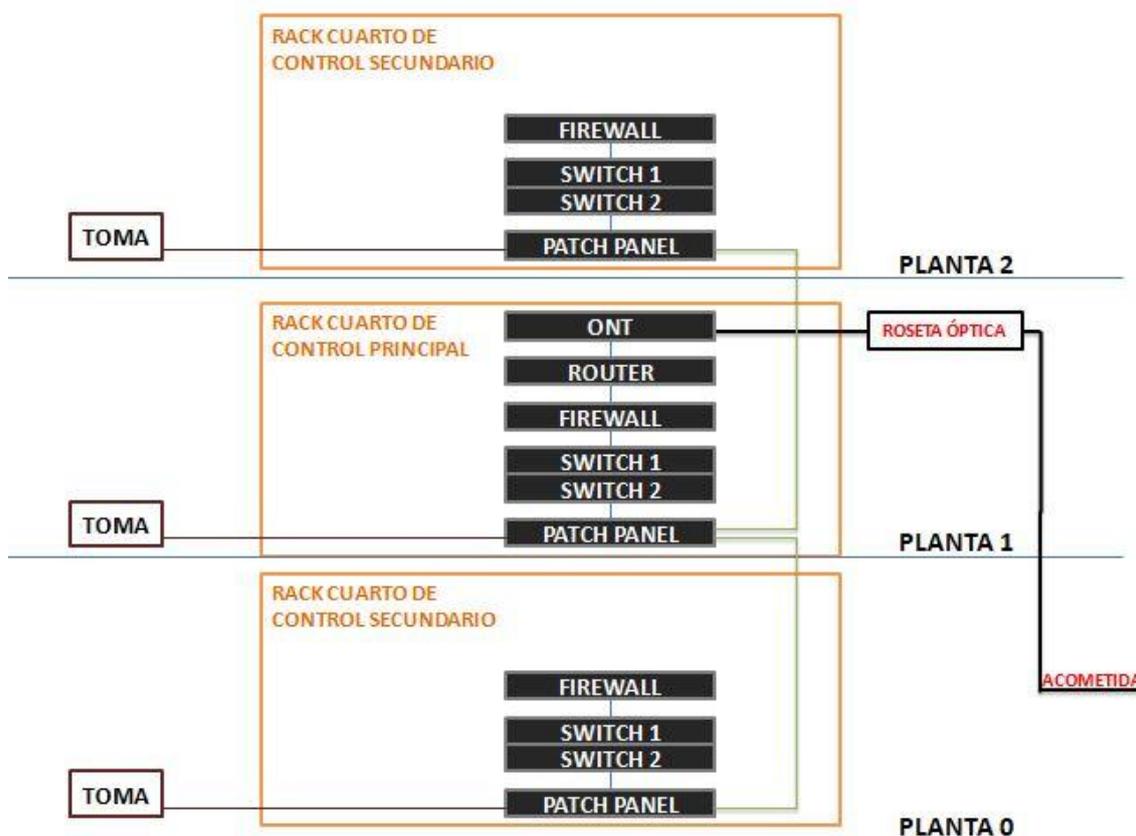


Figura 19: Esquema racks
Fuente: Elaboración propia

Cableado: Se refiere al medio de transmisión empleado en redes de datos. En este caso, se van a combinar dos tipos de cableado, fibra óptica y cable de par trenzado de categoría 6. En el cableado vertical o backbone se instalará fibra óptica, que unirá los Cuartos de control de cada planta. Mientras que la conexión entre los elementos activos de la red y el equipo final de usuario (cableado horizontal) se realizará mediante cable de par trenzado cat6 (soporta redes 1000 BASE-TX), ya que la distancia a recorrer a lo largo del edificio no es superior a 90 metros que atenuaría en exceso la señal y no garantizaría una correcta transmisión de datos. Además ofrece velocidades de hasta 10Gbps si la distancia recorrida por el cable es inferior a 55 metros y una vez superada esa distancia 1Gbps, por lo que no debería producirse problema de congestión en la red. El cableado de par trenzado consiste en 8 conductores de cobre rígido aislados con polietileno que se unen formando 4 pares trenzados que consiguen que se cancelen las ondas entre ellos y así garantiza una mejor transmisión de datos.

El cable de par trenzado seleccionado para el cableado horizontal es el **LogiLink® LAN Patch Cable U/UTP Cat.6 Cu PrimeLine PVC grey**. Se elige este cable en concreto por su cubierta de PVC que funciona como aislante y cuenta con un recubrimiento de cobre que protege y actúa a su vez como conductor.



Figura 20: Cable par trenzado cat6
Fuente: Logilink

Para la conexión de fibra óptica en el cableado vertical que consta de una altura de 9 metros se hará uso de la **fibra monomodo G657**, en concreto **cable blindado de acometida FFTH 4 de Anvimur**, indicada para el despliegue de fibra óptica en el interior de edificios, por conductos eléctricos, ya que puede ser doblada y no afectar a su rendimiento [26] y compatible con las fibras G652 con la que se unirán en la CTO. Este cable dispone de 4 fibras en su interior, suficientes para dar servicio a las 155 tomas de cada colegio.

Podemos calcular las pérdidas ópticas que aparecen en el uso de ésta para establecer las características del sistema y cumplir con los requisitos:

- Cálculo de las pérdidas asociadas a la longitud de onda de trabajo del tipo de fibra.

MULTIMODO		
Longitud de onda (nm)	850	1300
Atenuación (dB/km)	3	0.7
Longitud del cable (km)	0.009	0.009
Pérdida total (dB)	0.027	0.0063

Tabla 3: Pérdidas fibra multimodo asociadas a longitud de onda
Fuente: Elaboración propia

MONOMODO		
Longitud de onda (nm)	1310	1550
Atenuación (dB/km)	0.4	0.3
Longitud del cable (km)	0.009	0.009
Pérdida total (dB)	0.0036	0.0027

Tabla 4: Pérdidas fibra monomodo asociadas a longitud de onda
Fuente: Elaboración propia

Estudiando la pérdida total según la longitud de onda, la más adecuada sería la fibra **monomodo**.

- Cálculo de las pérdidas introducidas por conexiones.

En este caso serán necesarios 4 conectores que unirán la fibra en el patch panel, uno en cada cuarto de control extremo y otros dos en el cuarto de control principal que lo une con las otras plantas.

El conector SC introduce unas pérdidas menores a 0.5 dB y el conector LC en el caso de fibra monomodo introduce unas pérdidas de 0.15 dB.

En la elección de un **conector tipo LC** obtendríamos unas pérdidas de 0.6 dB en total. El conector LC es más adecuado en sistemas de alta densidad como este caso.

- Cálculo de las pérdidas introducidas por empalmes.

Al tratarse de una distancia muy pequeña (0.009 km) no es necesaria la realización de empalmes entre fibra óptica.

- Pérdida total por enlace.

$$P_T = P_L + P_C + P_E$$

$$P_T = 0.0027 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 0 \text{ dB}$$

$$P_T = 0.6027 \text{ dB}$$

Armario rack: Se refiere a la estructura metálica que tiene como función albergar y mantener ordenados componentes tecnológicos. Todas sus dimensiones deben estar normalizadas para que sea compatible con cualquier tipo de equipamiento tecnológico. Según el estándar ANSI/TIA/EIA 568-C que especifica los componentes de cableado de fibra óptica, debe tratarse para este tipo de cableado de un rack de 19'. Gracias a estos armarios es posible mantener ordenados muchos dispositivos y cables, así como facilita la manipulación en la instalación o modificación de las conexiones entre éstos.

También es adecuado a la hora de economizar espacio, como es nuestro caso, que disponemos de cuartos de control no muy extensos. Estos armarios se situarán en cada uno de los cuartos de control de cada planta y albergarán los switches, *patch panel*, firewall y router necesarios. En principio solo serán necesarios tres armarios rack por colegio.

Se propone el uso del **Armario Rack Cisco R42610**, que tiene unas dimensiones de 2000 x 610 x 1102 mm³, compatibles con las dimensiones de los cuartos de control (3000x1960x6600 mm). Se elige este armario respecto a otros del mercado por su gran resistencia y estabilidad así como por su excelente potencia, refrigeración y organización de los cables en su interior. Dispone de dos puertas traseras para mejorar el espacio de acceso por atrás.



Figura 21: Armario rack
Fuente: Cisco

Switch: Dispositivo de interconexión que se encarga de unir o conectar los equipos de una misma red cableada, es decir, se encarga de dividir una red en otras redes locales, incrementando la seguridad de ésta al crear conexiones aisladas y protege contra ciertos ataques. El switch no proporciona conectividad con Internet ni redes exteriores, por lo que debe estar conectado al ONU. En este caso es recomendable instalar un switch por cada aula para evitar que un problema en alguno de los equipos en un aula afecte a la red de toda la planta. La distribución de switches quedará de la siguiente manera:

³ Según el Data Sheet Cisco R42610 Rack

Planta	Número cabinas	Equipos videoconferencia	Número de puertos necesarios	Número de puertos por switch	Número total switch
0	4	2	4+2+4(aulas extra)=10	24	1
1	72	0	72	48	2
2	72	0	72	48	2
TOTAL	148	2	154	120	5

Tabla 5: Distribución switch por planta

Fuente: Elaboración propia

Los switches se colocarán apilados dentro del armario rack. Los switches propuestos son los Switches gigabit avanzados de Huawei de la serie S5700-HI de nivel 2. Se han escogido los switches de esta gama frente a otros del mercado debido a las velocidades que ofrecen sus puertos, los protocolos de seguridad que incorporan como defensa ante ataques DoS y VRRP. Es ideal para mediana empresa, es decir, soportar el rendimiento de un edificio medio.

El primero, **S5700-28C-HI-24S**, dispone de 24 puertos 10/100/1000 Base-X y la opción de ranura extendida de hasta 4 x 10 GE SFP+ con una capacidad de conmutación de 256Gbit/s y un rendimiento de reenvío de 96 Mpps. Además este tipo de switch es también adecuado para entornos de data center.



Figura 22: Switch S5700-28C-HI-24S

Fuente: Huawei

El segundo switch seleccionado, **S5710-108C-PWR-HI**, dispone de 48 puertos 10/100/1000 Base-T y 8 puertos 10 GE SFP+, con una capacidad de conmutación de 1024Gbit/s y un rendimiento de reenvío de 504 Mpps.



Figura 23: Switch S5710-108C-PWR-HI
Fuente: Huawei

Ambos switch poseen múltiples mecanismos para detección de fallos, optimizan el uso del ancho de banda y permiten simplificar las tareas de mantenimiento y operación.

Firewall: O cortafuegos, es un dispositivo de seguridad de la red que aplica políticas de control, filtrado y monitorización del tráfico entrante y saliente entre varias redes o subredes previamente definidas. Puede ser hardware, software o ambos combinados con los que se obtendría mayor protección si están debidamente configurados. Su objetivo principal es proteger los equipos individuales, servidores y equipos conectados a la red de las intrusiones de una tercera red desde internet que puede robar información privada y sensible, hacerse con datos confidenciales o provocar denegaciones de acceso entre otros. Debe ser capaz de repeler un acceso no autorizado antes de que el atacante llegue a la red y a la vez permitir el normal intercambio de datos entre el equipo y servicios verificados de internet. Va a ser la principal herramienta de seguridad de la votación electoral, por lo que debe tener una configuración estricta y cuidada ya que los datos que se intercambian son confidenciales y no pueden estar alterados. El día que se realice un proceso electoral estos dispositivos estarán configurados de tal manera que sólo puedan comunicarse los colegios electorales entre sí con los Centros de Procesamiento de Datos, es decir, se restringirá el acceso, se asegurará que ningún usuario pueda modificar ningún archivo, se asegurará que se utilicen los datos correctos para este procedimiento y se asegurará que la información transmitida sea la misma que recibe el destinatario....

Se situará en el punto de conexión de la red exterior con las subredes interiores de cada colegio, es decir entre los switches y el punto de acceso a Internet.

Existen muchos tipos de Firewall según fabricante, los más destacados son [36]:

- Firewall de filtrado de paquetes: Analizan todos los paquetes que pasan a través de ellos y permite bloquear aquellos que no cumplen los requisitos de seguridad de la red. Generalmente suponen un bajo coste, un bajo impacto en el rendimiento de la red y son de utilidad para llevar un control general de la red. Dentro de este tipo de Firewall, existen dos tipos de filtrado, estático (stateless) y dinámico (stateful). En el **filtrado estático** se inspecciona individualmente cada paquete, su dirección IP origen y destino, números de puerto origen y destino y tipo de tráfico (TCP, UDP, ICMP) y dependiendo de la lista de reglas asociada se acepta o descarta. Este tipo de filtrado cuenta con un problema, no se puede distinguir entre una respuesta legítima y un ataque, no se tiene en cuenta la información del contexto en el envío del paquete, por lo que es necesario conocer el estado de la conexión, con el **filtrado dinámico o de inspección de estado**. Bloquea tráfico según criterios de estado, puerto y protocolo, es decir, realiza un seguimiento del estado de las conexiones de red, desde que se abre una conexión hasta que se cierra. El administrador será quién defina las restricciones a aplicar en el filtrado de la red. Usa la información de conexiones y paquetes anteriores a través de una tabla que analiza si pertenecen a conexiones establecidas para permitir su paso o no. En este caso sí se tiene en cuenta el contexto en el que se envían los paquetes.

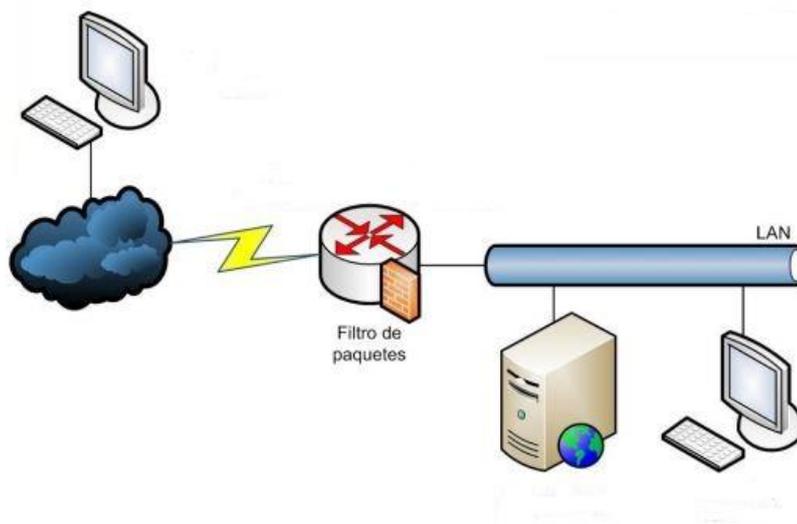


Figura 24: Uso básico del Firewall de filtrado de paquetes
Fuente: Universidad A Coruña

- Firewall a nivel de aplicación: Tiene capacidad de interpretar paquetes a nivel de aplicación, lo que implica un mayor control del tráfico y más complejidad. Suelen combinarse con los otros tipos de Firewall. Cuenta con un control mejor para ciertos protocolos, detecciones de ataques y software maliciosos a nivel de aplicación, mayor capacidad de análisis del tráfico. Uno de los más comunes son los Firewall Proxy, su función principal es permitir el intercambio de datos entre dos redes para una aplicación determinada. Evalúa la petición de servicio del usuario con el servidor, la evalúa y decide si permitir esta conexión. Al evitar conexiones directas desde fuera de la red también puede realizar funciones de contenido caché y seguridad. Las ventajas de este tipo de filtrado son la ocultación de la red interna del usuario, se puede registrar una gran cantidad de información ya que ésta pasa por el proxy, de cara a realizar auditorías o comprobar la seguridad.

Aparte de las configuraciones hay que tener en cuenta la arquitectura de firewalls, el número a instalar, ubicación y tipo [40]:

- Encaminador de protección: Consiste en el uso de un router, que encamina los paquetes. Filtra paquetes de entrada y salida de las interfaces conectadas al router y protege el acceso a los servidores internos. Se trata de la arquitectura más económica ya que el empleo de un router en la red es necesario y este filtrado viene incluido en él.

FW- ENCAMINADOR DE PROTECCIÓN

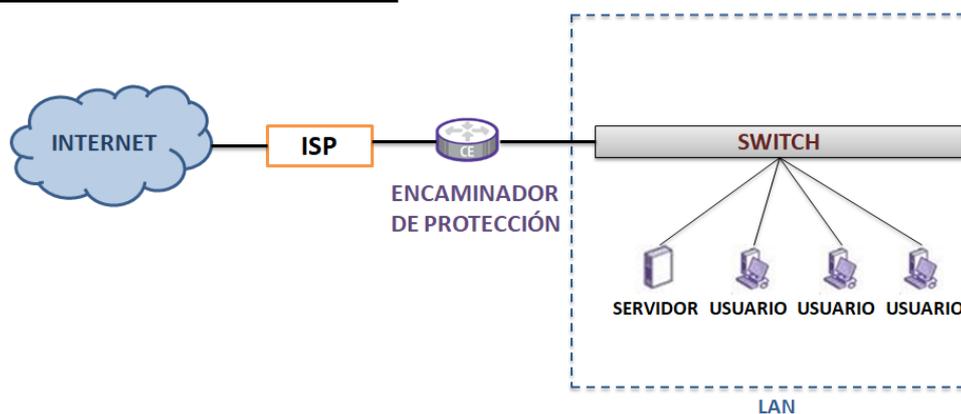


Figura 25: Firewall Encaminador de Protección
Fuente: Elaboración propia

- Zona desmilitarizada (DMZ): Red aislada destinada a usuarios del exterior que quieren acceder a una red interna. De esta manera protegemos las redes de interior. Contiene dos Firewall, el del encaminador de paquetes que da acceso

a la red de la zona desmilitarizada y otro firewall que protege la intranet privada de posibles ataques.

FW- Zona desmilitarizada (DMZ)

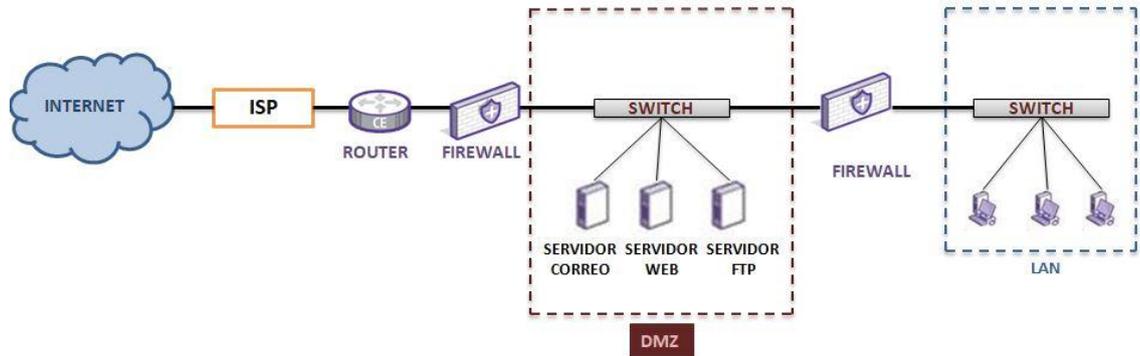


Figura 26: Firewall Zona desmilitarizada
Fuente: Elaboración propia

- Host bastión: Actualización de la zona desmilitarizada, menos vulnerable a ataques. Un solo servidor con firewall protege tanto la red privada como la red DMZ, único punto de entrada y salida a Internet desde la red interna y viceversa, soporte para pasarelas de nivel de aplicación.

FW- Host bastión

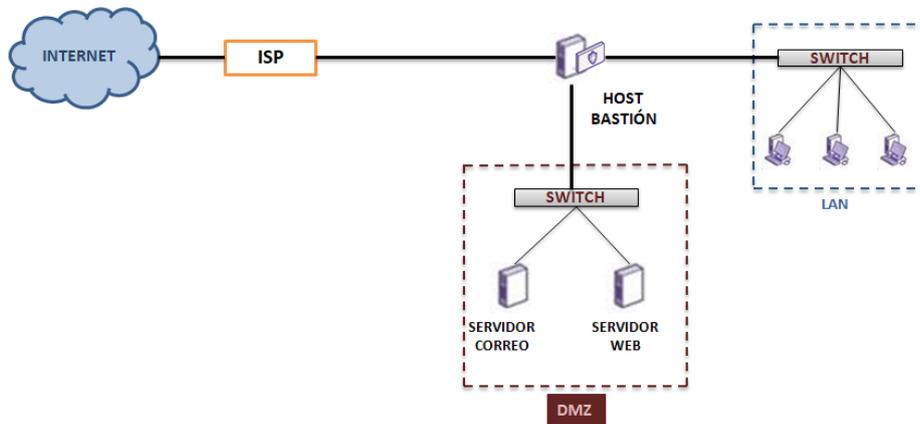


Figura 27: Firewall Host bastión
Fuente: Elaboración propia

- Firewall con subred protegida y host bastion: consta del encaminador de red y del bastion (filtrado a nivel de paquete y de aplicación), mejor seguridad al tener que pasar dos barreras y provee de un acceso directo a Internet.

FW- Subred protegida y host bastión

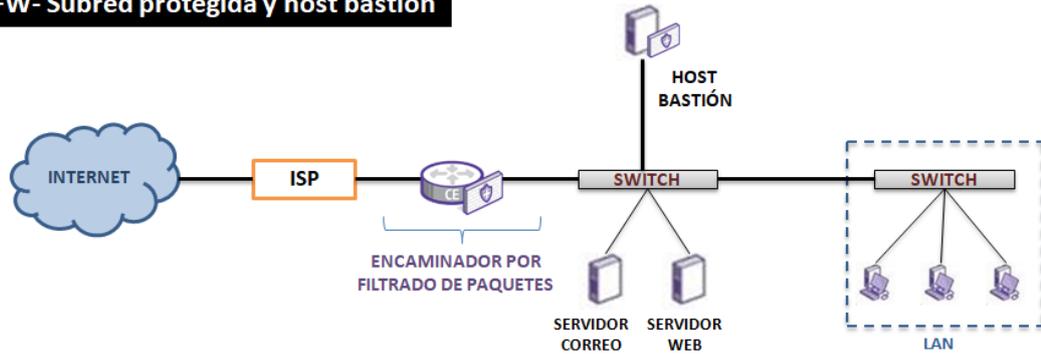


Figura 28: Firewall subred protegida y host bastión
Fuente: Elaboración propia

- Firewall con subred protegida y host bastion con dos interfaces de red: En este caso, el host bastión es quién se conecta a la intranet, separando la red privada y la DMZ. Se generan dos subredes separadas, dos niveles de defensa entre el encaminador y el host bastión. Se obtiene más seguridad.

FW- Subred protegida y host bastión con 2 interfaces de red

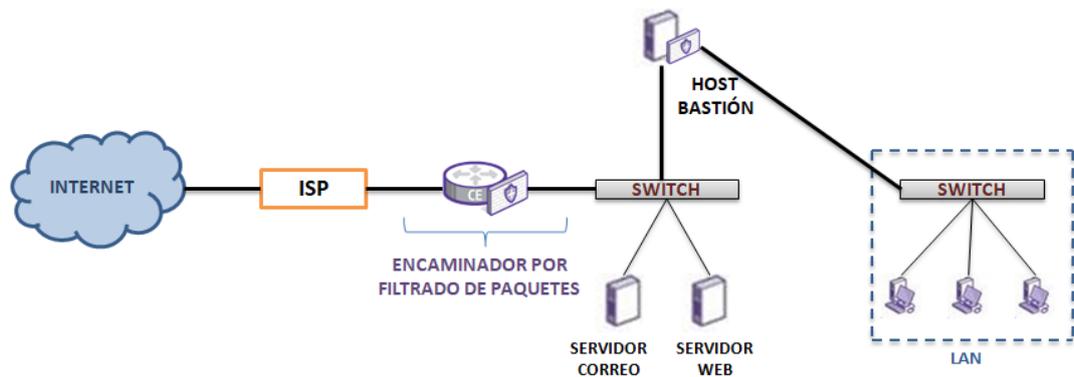


Figura 29: Firewall subred protegida y host bastión con 2 interfaces de red
Fuente: Elaboración propia

- Firewall con subred protegida y zona desmilitarizada (DMZ): Donde se instalan dos encaminadores de filtrado de paquetes, tres niveles de defensa (dos encaminadores y el servidor host bastión). Los encaminadores se encargan de controlar el tráfico a o desde la zona desmilitarizada, por lo que Internet y la red interna solo conocen la existencia de una subred protegida.

FW- Subred protegida y DMZ

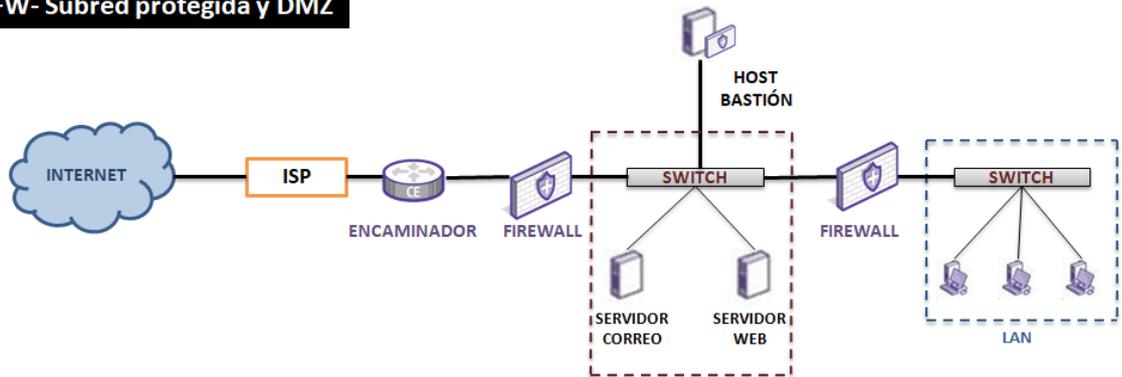


Figura 30: Firewall subred protegida y DMZ
Fuente: Elaboración propia

En este proyecto se emplearán 3 firewall, uno por planta, los elegidos serán **15600 Next generation security gateway de Checkpoint:**



Figura 31: Firewall 15600 next generation security gateway
Fuente: Checkpoint

Respetando hasta un rendimiento de 13.11 Gbps incluyendo Firewall, Filtrado URL, IPS, Antivirus, Anti-Bot y SandBlast Zero-Day Protection Software Blades. Además cuenta con puertos compatibles tanto con cable de par trenzado como con fibra, por ello y debido a su competente precio y el prestigio de una marca especializada en ciberseguridad como Checkpoint se hace la elección de este Firewall.

Patch cord: O cable de conexión, son cables cortos que sirven para conectar dispositivos electrónicos de la red entre sí. Es el cableado de parcheo dentro de los cuartos de control que enlaza los equipos. En el caso de patch cord de fibra óptica une el equipo ONU a la roseta óptica.

Conectores: Es la interfaz física que se usa para conectar dispositivos de la red. En la red interior del centro necesitaremos los siguientes conectores:

- Conector RJ45 (Registered Jack): Es usado en la conexión de dispositivos de red mediante cables de par trenzado (UTP). Es necesario en las conexiones entre ONT y router, router y switch y entre el patch panel y la toma.
- Conector SC y LC: Es usado en la conexión de dispositivos de red mediante fibra óptica o en la unión de dos fibras ópticas. El conector SC usualmente es

usado en fibras monomodo, mientras que las pérdidas del conector LC variarán según es usado con fibra monomodo o multimodo, este conector es recomendable en redes en las que se va a producir un tráfico de alta densidad de datos.

ONU: Es usado en redes de fibra hasta edificio (FTTB) o fibra hasta punto de acometida (FTTC) como es este proyecto. Dispositivo activo encargado de la conversión de señales ópticas en señales eléctricas y realiza funciones de multiplexor/demultiplexor. Es el punto terminal de la red GPON y a partir de la ONU se conecta cable Ethernet al router a través de conectores RJ45.

El ONU seleccionado es ONU de la serie SmartAX EA5821 de Huawei:



Figura 32: ONU de la serie SmartAX5821
Fuente: Huawei

Compatible con las recomendaciones G987 y G988 de la ITU-T. La recomendación G988 [30] especifica la gestión de la unidad de red óptica, el intercambio de información entre el OLT y la ONU y define el protocolo necesario para respaldar las capacidades de las ONUs. Y la recomendación G987 contiene definiciones, acrónimos, abreviaciones y convenciones de ITU-T G.987.x [31].

Router: O encaminador/enrutador, opera en la capa de red (encargada de hacer que los datos lleguen desde el origen al destino) y se encarga de encaminar correctamente el tráfico, es decir, asegura el enrutamiento de paquetes entre redes reconociendo en qué red se encuentra el destinatario del paquete de información, si en la red local o en una externa. Es capaz de detectar si una ruta no funciona, en ese caso, busca una alternativa que sea la más rápida posible.

Cada equipo consta de una tarjeta de red con una identificación individual y exacta a la que se le puede asociar una identificación lógica (IP). La función del router es la de asociar estas direcciones físicas a las lógicas, una dirección física puede tener más de una dirección lógica asociada, el router crea tablas de rutas y así decide cómo encaminar el tráfico.

El router elegido es **Router empresarial AR3670 de Huawei** debido a su rendimiento, capacidad, seguridad y la fuerte apertura y escalabilidad con diversas aplicaciones y administración centralizada que proporciona servicios de aplicación para información escolar y es adecuada a la hora de conectar el colegio a la red educativa e Internet para el intercambio de recursos educativos y consultas:



Figura 33: Router Empresarial AR3670 de Huawei
Fuente: Huawei

Cuenta con un rendimiento de 4.5 Gbit/s, redundancia en los módulos de alimentación, integra encaminamiento, conmutación, seguridad, WLAN y VPN que nos es útil para introducir más seguridad a la red interior.

Patch panel: O panel de parcheo, se situará en la parte baja del armario rack en los cuartos de control ya que no desprende calor y las medidas serán compatibles con el rack 19'. Es el punto final de la red de cableado estructurado, donde van a terminar todos los cables. Su función es administrar la entrada y salida del cableado de red que llega de la red local con los switches o routers.

El patch panel elegido es **LogiLink® Patch Panel 19"-mounting Cat.6 UTP 24 ports, black**, por lo que serán necesarios al menos 4 patch panel por planta para dar cabida a todas las tomas de equipos. Se escoge frente a otros patch panel por su compatibilidad con el armario rack, el fabricante es el mismo que el del cable de par trenzado por lo que la compatibilidad con éste será total y su relación calidad/precio.



Figura 34: LogiLink Patch Panel 19"- mounting Cat.6 UTP 24 ports black
Fuente: Logilink

Equipo votación: Los equipos de votación estarán situados en las correspondientes cabinas en cada aula. Se propone un equipo de pantalla táctil de 13" fabricado con material suficientemente resistente a golpes y líquidos y asegurado en el lugar de ubicación ante posibles robos. Estos equipos contarán con un sistema de impresión de voto que garantizará la auditoría posterior del recuento de votos y también deben ser capaces de la identificación de usuarios mediante acceso biométrico, por ejemplo la huella dactilar. Es conveniente formar a gente que se encuentre en cada colegio con conocimientos sobre el uso de dicho sistema y que dispongan de un equipo de votación personal el día de la votación para aconsejar y enseñar a aquellos que tengan dudas en el uso del dispositivo electrónico.

Equipo videoconferencia: Un sistema de videoconferencia es un conjunto de dispositivos de hardware y software que configurados y organizados de una manera determinada permiten a los usuarios interactuar a distancia en tiempo real. Para poder llevar a cabo una videoconferencia es preciso que el sistema provea de conexión digital bidireccional y alta velocidad entre los dos puntos a conectar. También es necesario un CODEC (Codificador/Decodificador) que debe transformar la señal analógica que se transmite en digital y viceversa. El equipo de videoconferencia estará situado en unas salas improvisadas en las aulas de la planta baja para proporcionar privacidad a los usuarios. Tiene como objeto proporcionar una comunicación limpia y clara entre los miembros de los diferentes partidos con compañeros situados en la sede de éstos o en otros colegios electorales y así hacer en tiempo real y directo una actualización de la situación del proceso. Este equipo debe estar compuesto al menos una salida de video y audio materializado en una pantalla con altavoz, una entrada de audio o micrófono, una entrada de video o cámara y una transferencia de datos a través de la red diseñada.

Se propone el Sistema para conferencias en video **DP300 Desktop Presence de Huawei** que contiene:

- Cámara digital HD (1080p a 60 fps) integrada en la pantalla.
- Altavoces High Fidelity (Hi-Fi) speakers integrados en la pantalla.
- Micrófono HD integrado en la pantalla.
- Pantalla táctil de 27 pulgadas y 1080p a 60 fps.
- Dispositivo MCU (Multipoint Control Unit) de transcodificación universal integrada, es decir, permite la interacción entre más de dos sistemas de videoconferencia simultáneamente. Se encarga de realizar conmutaciones entre los diferentes flujos de datos, recibe la información de todos los puntos y selecciona el flujo del punto que deben recibir todos los demás. Cada equipo genera una copia de su flujo de salida para cada participante y es capaz de recibir el flujo del resto. Es recomendable un ancho de banda simétrico por la cantidad de datos de subida y bajada que se intercambian en este tipo de conexión. La transcodificación permite el uso de diferentes formatos de videoconferencia entre los usuarios. En este caso se permiten hasta un máximo de 4 participantes.



Figura 35: DP300 Desktop Presence
Fuente: Huawei

La elección de este equipo frente a otros del mercado es la integración de todos los elementos importantes para realizar una videollamada en un mismo equipo y su precio, otras marcas u otros modelos de Huawei incorporan tan sólo los altavoces, micrófono y dispositivo MCU y este modelo incluye cámara y pantalla de alta definición.

Fuente de alimentación: Los elementos activos del cableado necesitan una fuente de alimentación. Estarán conectados a una regleta eléctrica situada en el rack que cumpla con los requisitos de tamaño del rack de 19 pulgadas.



Figura 36: Regleta eléctrica 19"
Fuente: Equip

Sistema respaldo de energía: Para asegurar tanto en los colegios como en los CPD energía constante a los equipos es necesaria la instalación de un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS). Estos sistemas pueden proporcionar energía ininterrumpida en caso de apagón ya que disponen de baterías u otros elementos almacenadores de energía. También existen grupos electrógenos que generan electricidad a través de un motor de combustión interna, por lo que requieren un combustible para poder funcionar. Tanto los grupos electrógenos como el UPS tienen una vida limitada ya que son sólo un respaldo mientras la red eléctrica está siendo recuperada. En este caso se opta por la instalación de un grupo electrógeno ya que puede garantizar respaldar la caída de electricidad más tiempo gracias a que el

combustible puede ser rellenado periódicamente y también suelen proporcionar mayor capacidad y potencia.

En este caso se propone un generador de los **Grupos Electrónicos Diésel de 20 a 192 kVA de Himoinsa** que será capaz de abastecer a todos los equipos que necesitan continua alimentación.



Figura 37: Generador Diésel
Fuente: Himoinsa

3.2.4. Dibujo de los planos

A partir de las medidas de un colegio real de Leganés se han digitalizado mediante el uso de la herramienta AUTOCAD 2018 obteniendo un plano general de un colegio para el trazado de cables, que servirá como ejemplo para el resto ya que la mayoría siguen la misma arquitectura. AUTOCAD es un software de diseño asistido que permite la creación de documentación, dibujo y diseño 2D, anotar dibujos con textos, cotas, directrices y tablas [32].

La planta cero está formada por dos aulas con acceso especial para sillas de ruedas por sus dimensiones y que cuentan con una sala de videoconferencia, el gimnasio, la sala de profesores, la biblioteca, el comedor y un aseo. Salidas de fibra óptica por estancia:

ESTANCIA	SALIDAS F.O
Gimnasio	1
Comedor	1
Sala de Profesores	2
Biblioteca	1
Aulas	3
TOTAL	8

Tabla 6: Número salidas F.O planta cero.

Fuente: Elaboración propia

La primera y segunda planta están formadas de 8 aulas y dos aseos. Cada una de estas aulas tendrá 9 salidas de fibra óptica, por lo que cada planta contará con 72 salidas de fibra óptica en estos casos.

En las siguientes figuras podemos observar la distribución de cada planta, ejemplo de diseño de cada aula y cabina que se instalará el día de la votación:

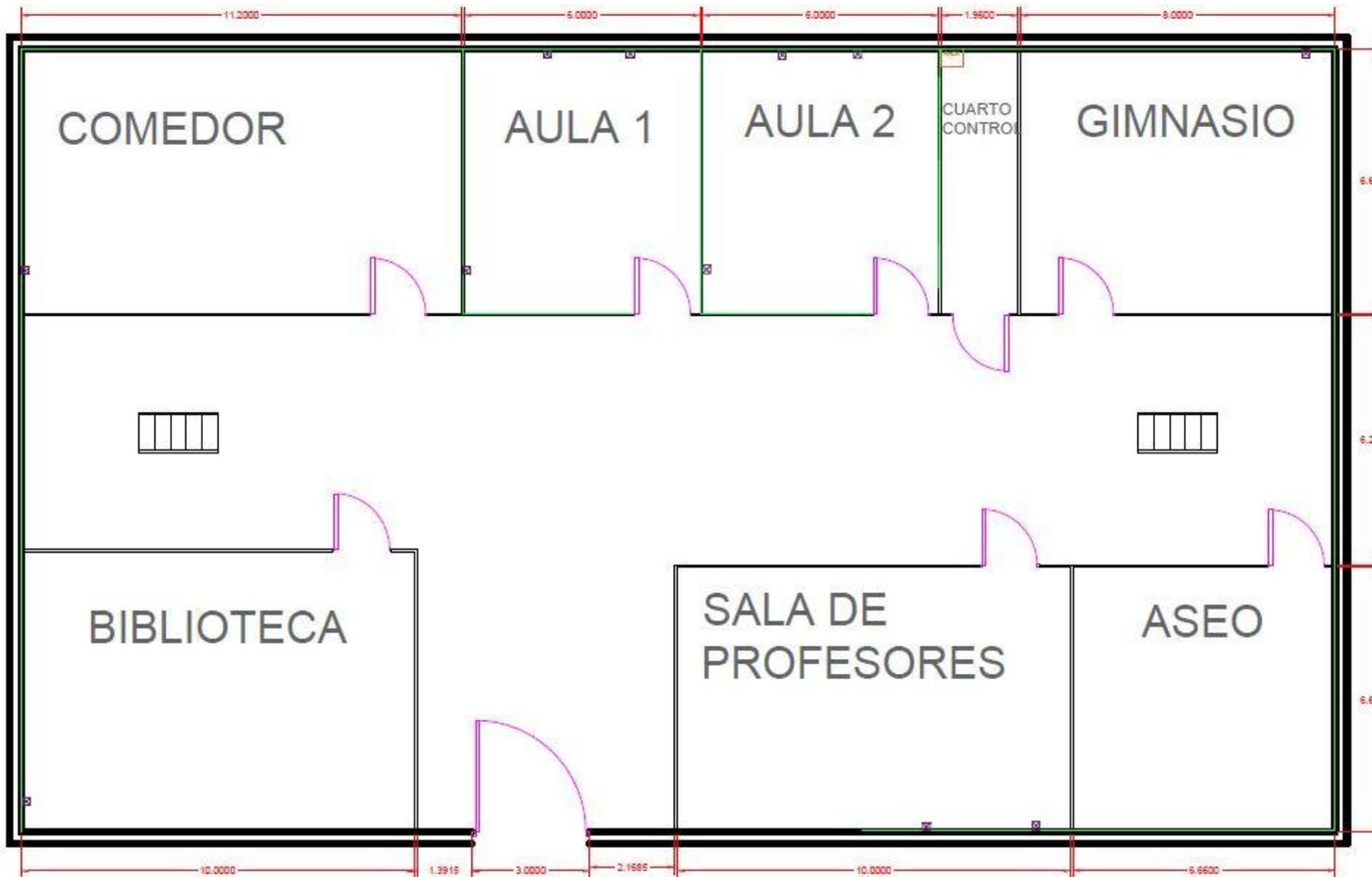
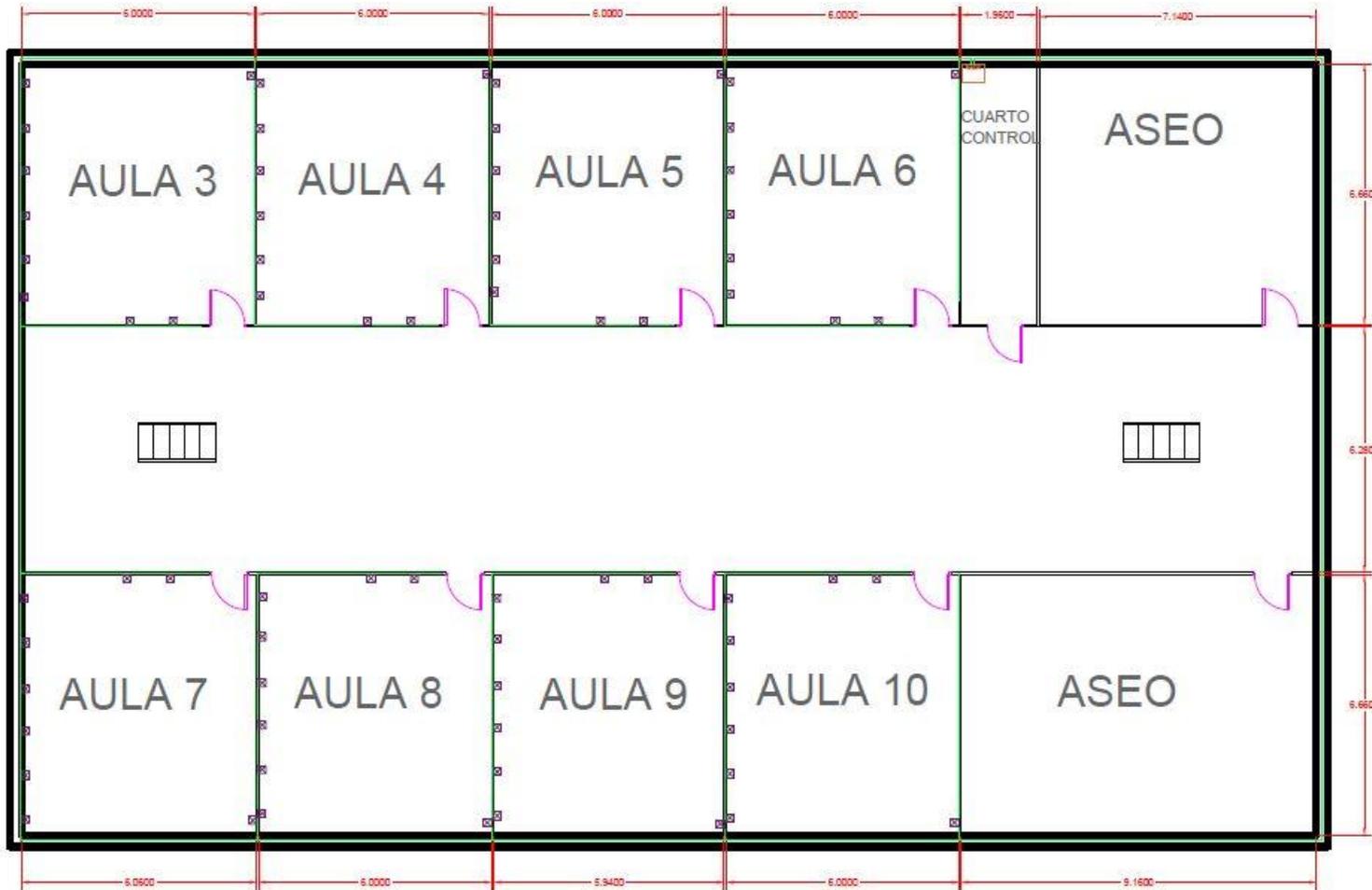


Figura 38: Plano planta cero.
Fuente: Elaboración propia

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Cableado horizontal
	Toma
	Rack



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Cableado horizontal
	Toma
	Rack

Figura 39: Plano planta primera y segunda.
Fuente: Elaboración propia

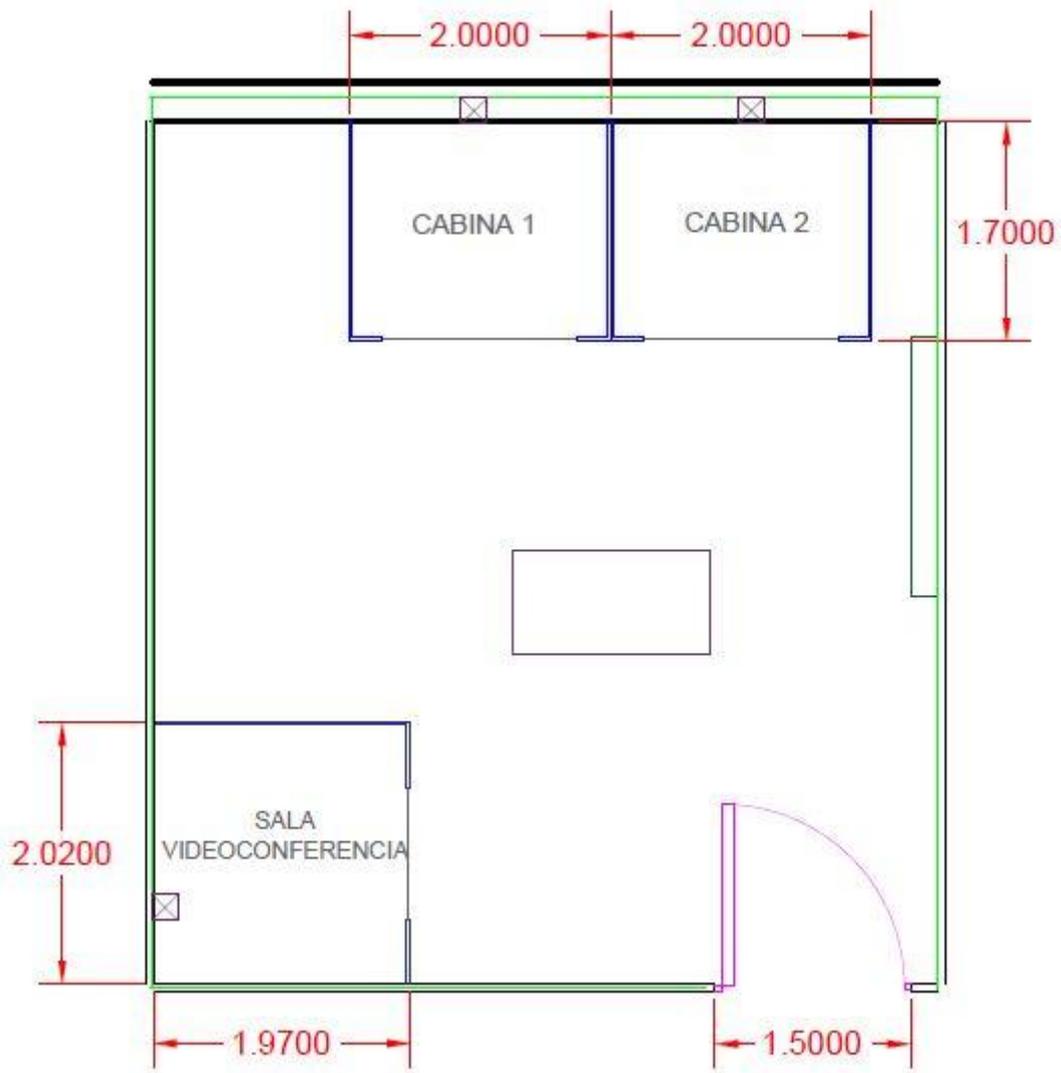


Figura 40: Plano ejemplo aula planta cero.
Fuente: Elaboración propia

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Cableado horizontal
	Toma

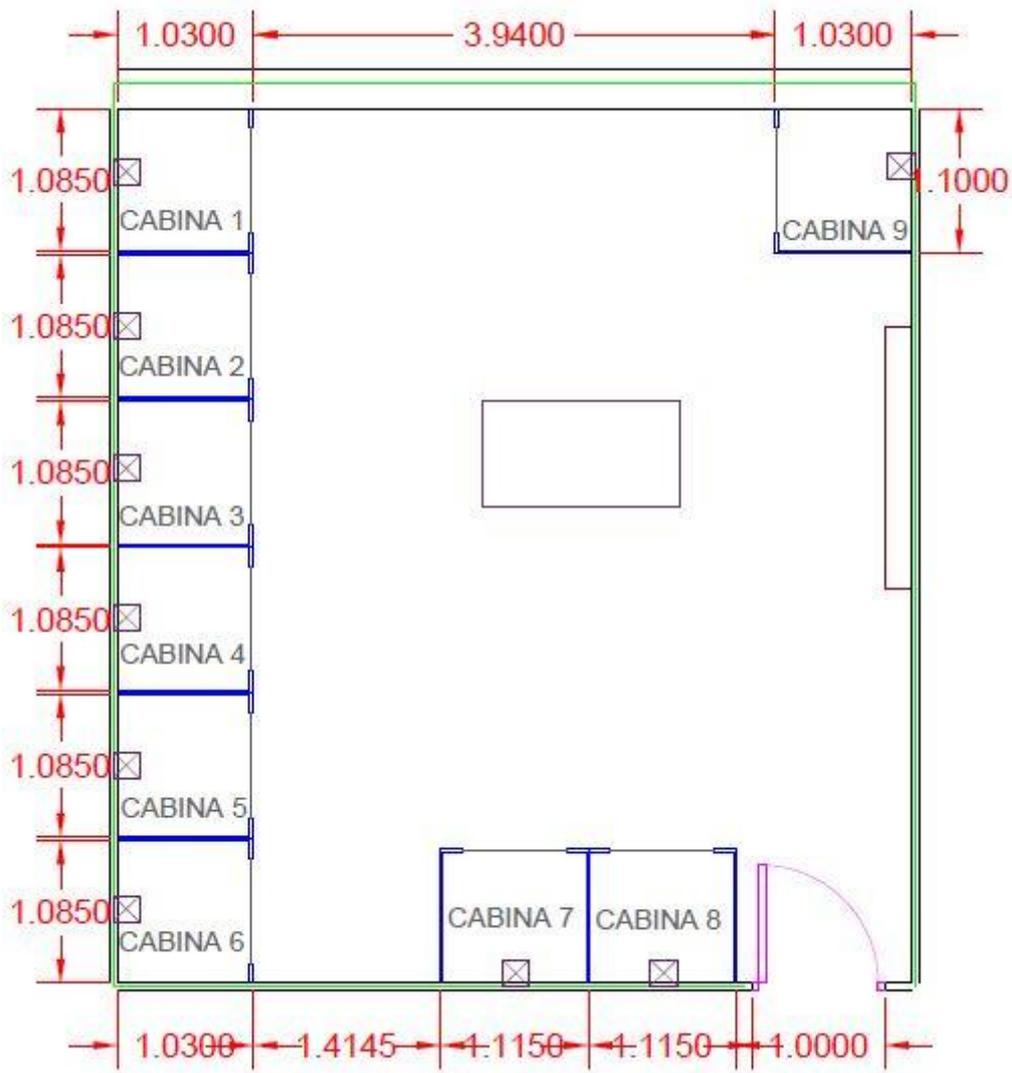


Figura 41: Plano ejemplo aula planta primera y segunda.
Fuente: Elaboración propia

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Cableado horizontal
	Toma

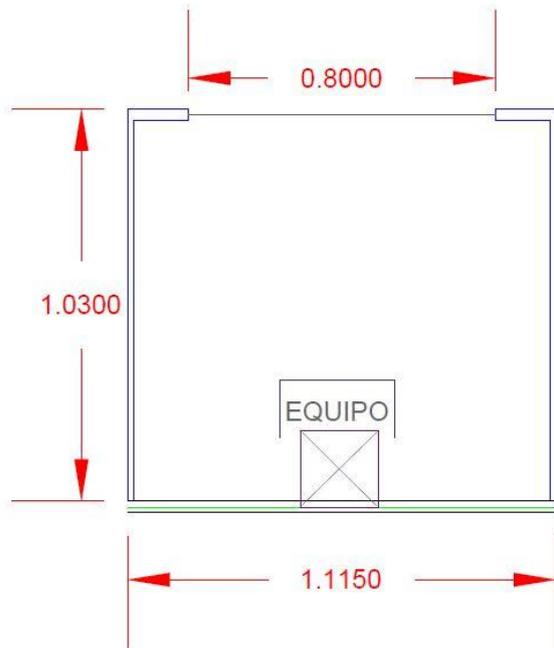


Figura 42: Plano cabina planta primera y segunda.
Fuente: Elaboración propia

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Cableado horizontal
	Toma

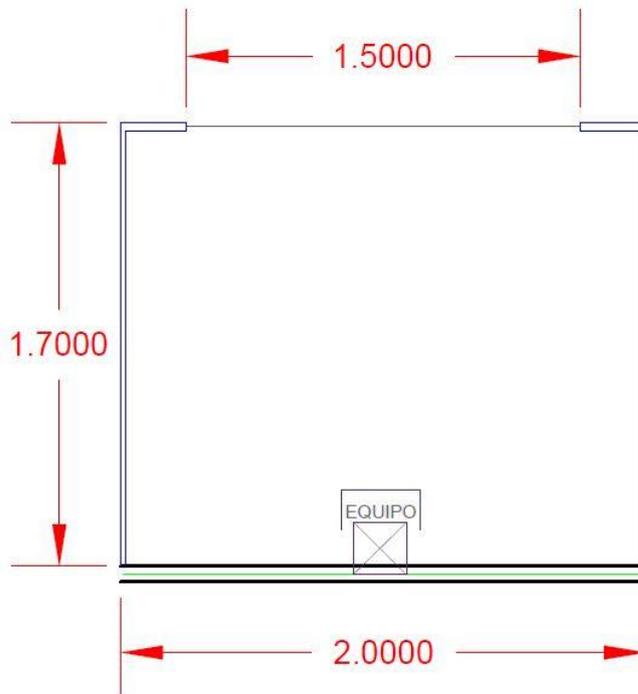


Figura 43: Plano cabina planta cero.
Fuente: Elaboración propia

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Cableado horizontal
	Toma

CAPÍTULO 4: PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

4.1 Planificación

La planificación del proyecto se basa en la ordenación según prioridad y necesidad de las diferentes tareas que deben realizarse para llevar a cabo, en este caso, el diseño físico y lógico, así como la instalación de la red de comunicaciones. En la planificación se tienen más cosas en cuenta aparte de la solución técnica, tal como normativa, infraestructura ya existente, disponibilidad de la red, personal necesario para llevar a cabo el trabajo y cronograma.

4.1.1 Tareas

Las tareas que se deben llevar a cabo para la implementación de la red se describen a continuación, junto al número de empleados necesarios para su realización y las horas que deben emplear éstos:

A. Análisis

Estudio previo del entorno y las necesidades del proyecto. Debe tenerse en cuenta la infraestructura existente y el cableado desplegado en la zona, redes existentes en los colegios y los requisitos que deben cumplirse en cuanto a aspectos legales y técnicos.

Es necesaria la participación de dos ingenieros, supervisados por un jefe de proyecto y asesorados por un abogado especializado en telecomunicaciones.

B. Diseño de la red exterior

Tras el estudio de requisitos, se procede al diseño de la red exterior entre colegios, CPD y central del operador donde se tendrá en cuenta el análisis previamente realizado.

Esta tarea debe ser desarrollada por dos ingenieros, supervisados a su vez por un jefe de proyecto.

C. Diseño de la red de los colegios

Tarea similar a la anterior, una vez caracterizada la red exterior se desarrollará el diseño lógico y físico de la red interna de los colegios, que será muy similar entre ellos y se determinarán los dispositivos necesarios para llevarla a cabo.

Requiere el trabajo de cinco ingenieros supervisados por un jefe de proyecto.

D. Estudio viabilidad del proyecto

Tras el diseño, se realizará un estudio de los costes y tiempo que son necesarios para implementar físicamente las redes diseñadas y si estos costes y tiempos de ejecución son compatibles con los requisitos iniciales.

El estudio se llevará a cabo por los dos ingenieros y su jefe de proyecto.

E. Recogida de datos

En esta tarea se recogerán los datos necesarios para realizar la instalación, como situación de canaletas y arquetas... y se realizará una gestión de los permisos necesarios para la instalación de cableado propuesta.

Esta tarea se llevará a cabo por cuatro técnicos de redes y seis técnicos de cableados supervisados por un jefe técnico.

F. Despliegue del cableado exterior

Consiste en la instalación física de la fibra óptica a lo largo del municipio para interconectar los diferentes colegios.

Será realizado por seis técnicos de cableado supervisados por un jefe técnico.

G. Instalación cajas de conexión

Instalación de las cajas de empalme, divisores y CTO que comprenden la red de comunicación.

Esta fase la realizarán seis técnicos de cableado supervisados por un jefe técnico.

H. Despliegue cableado Backbone

Instalación del cable de fibra óptica a lo largo de la altura de los edificios de los colegios conectando los equipos de los diferentes cuartos de control y el cableado vertical con la acometida.

Tarea realizada por 24 técnicos de cableado para todos los colegios supervisados por cuatro jefes técnicos. Cada uno de los jefes técnicos tendrá asignada una de las cuatro zonas a cubrir (norte, este, sur y oeste) y tendrá a su cargo seis técnicos de cableado.

I. Despliegue cableado horizontal

Al igual que con el cableado vertical, se trata de la instalación del cableado horizontal a lo largo de cada planta de los edificios, con sus correspondientes salidas del cableado.

Al igual que el despliegue del cableado vertical, esta tarea debe realizarse por 24 técnicos de cableado para todos los colegios supervisados por cuatro jefes técnicos. Cada uno de los jefes técnicos tendrá asignada una de las cuatro zonas a cubrir (norte, este, sur y oeste) y tendrá a su cargo seis técnicos de cableado.

J. Instalación armarios rack en cuartos de control

Montaje y colocación de los armarios rack de los diferentes cuartos de control de cada edificio.

Será necesario el mismo personal que en la tarea anterior.

K. Montaje y configuración de los equipos

Montaje de los diferentes equipos que albergan los armarios rack y la configuración de éstos.

Tarea realizada por dieciséis técnicos de redes supervisados por cuatro jefes técnicos. A cada zona le corresponden cuatro técnicos de redes. También será necesario el trabajo de 4 ingenieros informáticos encargados de la programación de seguridad en los equipos.

L. Señalización elementos de la red

Tarea encargada de nombrar todos los elementos de la red de cada edificio, de cara a identificar un equipo dañado o que ha generado fallo con más rapidez.

Los encargados de la señalización serán los mismos dieciséis técnicos de red supervisados por los cuatro jefes técnicos.

M. Pruebas

Se trata de comprobar el correcto funcionamiento de la red. Que se cumpla con el rendimiento requerido, que no haya fallos en la seguridad de la red y se cumpla con el servicio diseñado.

El personal necesario para esta tarea es el mismo que para las tareas anteriores.

N. Documentación

Todo el proceso debe quedar documentado, la configuración de la red, de equipos, la señalización de los equipos... para el personal que se vaya a hacer cargo de la administración de la red, así como el proyecto debe ser transparente de cara a auditorías en las votaciones electorales.

Este proceso se llevará a cabo por dos ingenieros supervisado por un jefe de proyecto.

O. Transferencia del conocimiento

Tras la instalación y verificación de la red se procede a la instrucción de una serie de ciudadanos sobre el funcionamiento de la votación electoral electrónica y el manejo de los equipos que se van a usar.

Esta tarea debe ser realizada por dos ingenieros supervisados por el jefe de proyecto.

P. Puesta en marcha

Realización del primer proceso de votación a través de la red implementada, es decir, el momento en el que la red va a estar en pleno funcionamiento. Esto se dará el

día de elecciones electorales. Esta fase estará supervisada por dos ingenieros y el jefe de proyecto.

Perfil	Nº trabajadores	Duración (días)	Esfuerzo (h/día)	TOTAL (horas)/trabajador
PREVIO				
A. Análisis				
Ingeniero	2	14	6	84
Jefe de proyecto	1	4	6	24
Abogado	1	2	6	12
B. Diseño de la red exterior				
Ingeniero	2	21	6	126
Jefe de proyecto	1	5	6	30
C. Diseño de la red de los colegios				
Ingeniero	5	25	6	150
Jefe de proyecto	1	6	6	36
D. Estudio viabilidad del proyecto				
Ingeniero	2	7	6	42
Jefe de proyecto	1	2	6	12
E. Recogida de datos				
Jefe técnico	1	5	8	40
Técnico de redes	4	7	8	56
Técnico de cableado	6	7	8	56
INSTALACIÓN				
F. Despliegue del cableado exterior				
Jefe técnico	1	15	8	120
Técnico de cableado	6	21	8	168
G. Instalación cajas de conexión				
Jefe técnico	1	4	8	24
Técnico cableado	6	7	8	56
H. Despliegue cableado Backbone				
Jefe técnico	4	30	8	240
Técnico cableado	24	40	8	320
I. Despliegue cableado horizontal				
Jefe técnico	4	20	8	160

Técnico cableado	24	30	8	240
J. Instalación armarios rack en cuartos de control				
Jefe técnico	4	7	8	56
Técnico cableado	24	14	8	112
K. Montaje y configuración de los equipos				
Jefe técnico	4	12	8	96
Técnico redes	16	20	8	160
Ingeniero	4	15	6	90
L. Señalización elementos de la red				
Jefe técnico	4	10	8	80
Técnico redes	16	15	8	120
M. Pruebas				
Jefe técnico	4	6	8	48
Técnico redes	16	8	8	64
FINALIZACIÓN				
N. Documentación				
Ingeniero	2	10	6	60
Jefe de proyecto	1	2	6	12
O. Transferencia del conocimiento				
Ingeniero	2	7	6	42
Jefe de proyecto	1	3	6	18
P. Puesta en marcha				
Ingeniero	2	1	12	12
Jefe de proyecto	1	1	12	12
Total horas ingeniero				606
Total horas jefe de proyecto				144
Total horas abogado				12
Total horas jefe técnico				816
Total horas técnico de cableado				952
Total horas técnico de redes				400
Total horas proyecto				2930

Tabla 7: Horas/tarea.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Diagrama de Gantt proyecto

La organización de todas estas tareas se recogerá en un Diagrama de Gantt que tendrá como fecha inicial el 1 de junio de 2018 para interceder lo mínimo en las labores docentes durante el curso académico y no debe tener una duración superior a 11 meses ya que se supone que este proyecto podría valer para el próximo proceso electoral que está previsto en Mayo de 2019.

Para entender mejor el Diagrama de Gantt es necesario un análisis de las duraciones de las tareas y un estudio de las actividades críticas (cuyo retraso provocaría un retraso global en el proyecto) y su holgura. Para ello se va a emplear el método PERT [33].

1. Tabla que indica la duración y relaciones de precedencia entre todas las tareas.

ACTIVIDAD	DURACIÓN	PREDECESORA
A	14	-
B	21	A
C	25	A
D	7	B,C
E	7	B,C
F	21	D,E
G	7	F
H	40	D,E
I	30	D,E
J	14	D,E
K	20	J
L	15	K
M	8	G,H,I,L
N	10	M
O	7	N
P	1	O

Tabla 8: Duraciones y predecesiones actividades.

Fuente: Elaboración propia

2. Grafo PERT con tiempos EARLY y LAST por etapa.

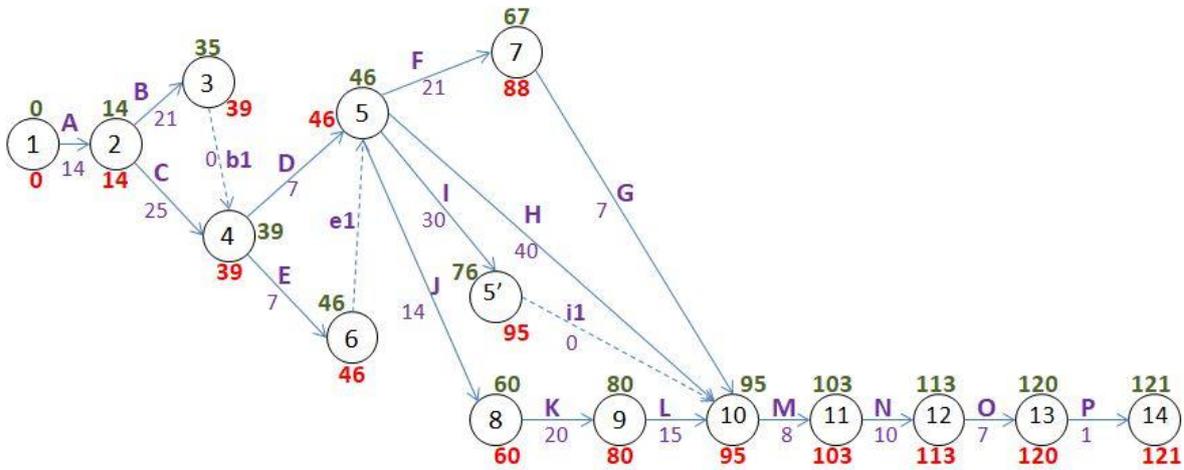


Figura 44: Grafo PERT
Fuente: Elaboración propia

Debajo de cada tarea (nombrada con letras del alfabeto) se indica la duración de cada una. Los tiempos en color verde representan los tiempos Early (el mínimo necesario para completar una etapa) y los tiempos en color rojo representan los tiempos LAST (el máximo tiempo que puede tardar en realizarse la tarea). Del grafo PERT determinamos que la duración total del proyecto serán **121 días (laborales)**.

3. Tabla de holguras.

Las holguras se refieren al margen de tiempo disponible en el que se puede retrasar una tarea sin afectar a la duración total del proyecto. Distinguimos tres tipos de holguras: total (la que afecta a la duración total del proyecto), independiente (máximo retraso de una actividad sin afectar al comienzo más temprano de otra tarea si ésta empieza en su fecha más tardía) y libre (máximo retraso de una actividad sin afectar al comienzo más temprano de otra tarea) [33]. Junto con las holguras es conveniente estudiar las actividades críticas del proyecto, aquellas las cuales si se retrasan producirían un retraso en la ejecución completa del proyecto.

ACTIVIDAD	HOLGURA LIBRE	HOLGURA INDEPENDIENTE	HOLGURA TOTAL
A	0	0	0
B	0	0	4
C	0	0	0
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	0	21
G	21	0	21
H	9	9	9
I	19	19	19
J	0	0	0
K	0	0	0
L	0	0	0
M	0	0	0
N	0	0	0
O	0	0	0
P	0	0	0

Tabla 9: Holgura libre, independiente y total
Fuente: Elaboración propia

En este caso contamos con once **actividades críticas: A, C, D, E, J, K, L, M, N, O y P**. Si algunas de éstas se retrasan el proyecto durará más de 121 días.

Finalmente se esboza el diagrama de Gantt en el que se muestra en forma de cronograma lo que hemos analizado anteriormente.

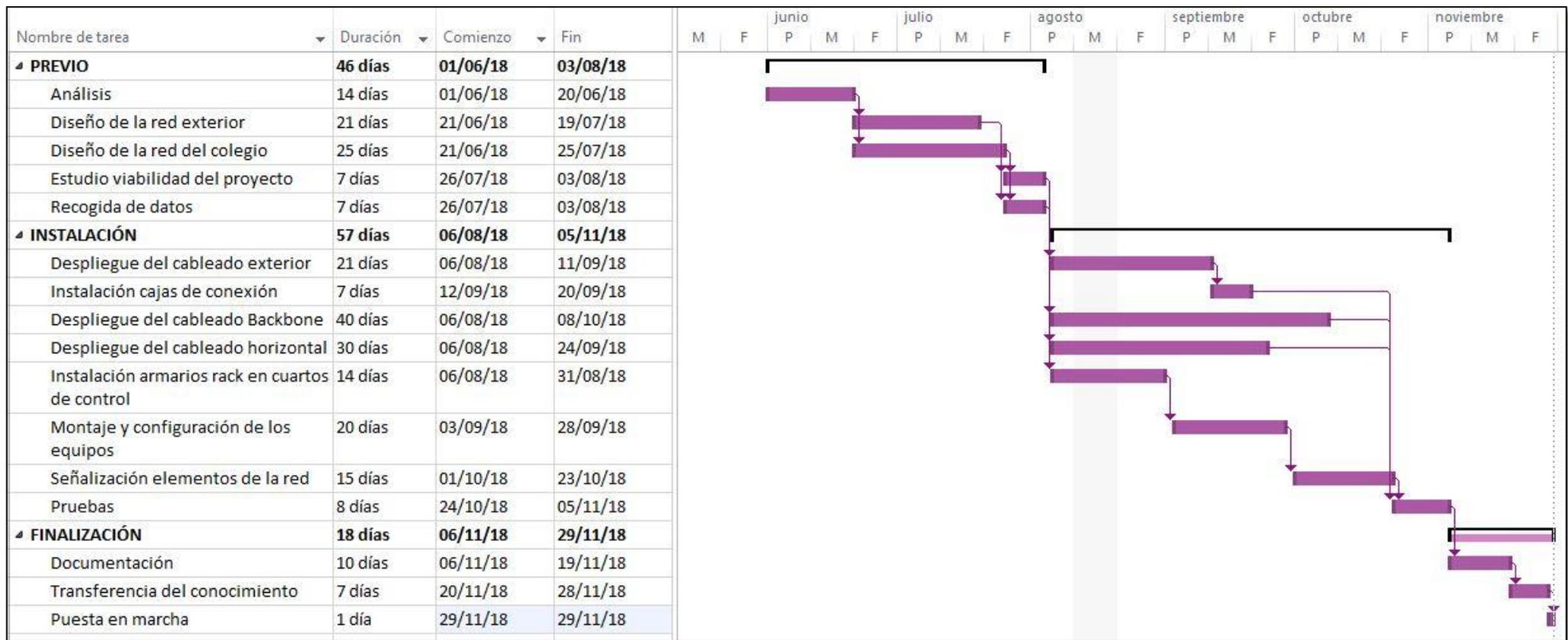


Figura 45: Diagrama de Gantt del Proyecto.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Presupuesto

Tras el diseño del proyecto y su planificación queda por calcular la cantidad de dinero que éste va a costar inicialmente, sus costes mensuales derivados del mantenimiento de la red de los colegios y el coste por día electoral. No cabe estudiar los beneficios de este proyecto ya que está destinado a un servicio público, aunque la administración pública si tendrá que hacer frente a los gastos y alquiler de la red y equipos que sean convenientes tanto el día de las elecciones como mensualmente por el servicio prestado a los colegios. También se le aplicará un margen de beneficio (20% - 30% del precio de venta) ligado a los servicios prestados por la realización del proyecto.

4.2.1. Costes iniciales

Para los costes iniciales se estudian costes de equipamiento, herramientas, materiales y personal que interviene en el diseño e instalación de la red. No se estiman los costes referidos a los CPD, ya que lo único que se contempla en este proyecto es el despliegue del cableado hasta el edificio donde se ubican, se da por hecho que ya están instalados en los lugares propuestos.

A continuación se muestran los costes iniciales asociados a la realización del proyecto agrupados por fase en la que aparecen, los precios de los materiales son aproximados observando los precios que tienen esos dispositivos en general en el mercado:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS TOTALES	COSTE (€)/HORA	COSTE (€)
PREVIO				
Mano de obra				
Ingeniero	5	402	35	70.350
Jefe proyecto	1	102	40	4.080
Abogado	1	12	45	540
Jefe técnico	1	40	25	1.000
Técnico de redes	4	56	20	4.480
Técnico de cableado	6	56	20	6.720

INSTALACIÓN				
Mano de obra				
Ingeniero	1	90	35	3.150
Jefe técnico	4	824	25	82.400
Técnico de redes	16	344	45	247.680
Técnico de cableado	24	896	25	537.600
Materiales				
OLT: Smart EA5800 V100R018C00 de Huawei	1			4.500
Splitter 1:8	5			10x5= 50
Conector SC	Aprox. 64			1,28x64= 81,92
Cable 64 Fibras G652	Aprox. 140000 m (1,30 € cada metro)			182.000
Caja terminal óptica	21			30x21= 630
Caja de conexiones fibra óptica de 16 puertos	18			75,90x18= 1.366,2
Empalme por fusión	13			0,85x13= 11,05
Repartidor óptico Cofitel	1			1.057
Fibra G657	Aprox. 840 m (0,49€ cada metro)			411,96
Armario rack Cisco R42610	3x21 colegios= 63			350x63 = 22.050
Conector RJ45	Aprox. 3300			0,30x3300= 990
Conector LC	Aprox. 45			2,30x45= 103,45
ONU: EA5821 24 GE PoE de Huawei	1x21 colegios= 21			500x21 = 10.500
Cable par trenzado: LogiLink LAN Patch Cable U/UTP Cat.6	Aprox. 18250 m (0,14€ cada			1.230

	metro)			
Router empresarial AR3670 de Huawei	2x21 colegios= 42			345x42= 14.490
Switch S5700-28C-HI-24S	1x21 colegios= 21			1.315x21= 27.615
Switch S5710-108C-PWR-HI	4x21 colegios= 84			1.824x84= 153.216
Patch panel: LogiLink Patch Panel 19"	9x21 colegios= 189			35x189= 6.615
Firewall: 15600 next generation security gateway de Checkpoint	6x21 colegios= 126			9.995x 126= 1.259.370
Equipo videoconferencia DP300 Desktop Presence de Huawei	2x21 colegios= 42			1.125x42= 47.250
Regleta eléctrica	3x21 colegios= 63			42x63= 2.646
Tomas	155x21 colegios= 3.255			5x3.255= 16.275
Sistema energía ininterrumpida	1x21 colegios= 21			9.000x21= 207.000
FINALIZACIÓN				
Mano de obra				
Ingeniero	2	114	35	7.980
Jefe proyecto	1	42	40	1.680
TOTAL MANO DE OBRA				967.660
TOTAL MATERIALES				1.959.458,58
TOTAL PROYECTO				2.927.118 ,58

Tabla 10: Costes iniciales.
Fuente: Elaboración propia

- Para el desarrollo del despliegue de la red exterior deben realizarse una serie de tareas, tales como, instalación de la fibra óptica en las canalizaciones, instalación de la fibra en los edificios, preparar los extremos de los cables de fibra óptica, preparar el tubo del cable de fibra óptica, instalar los elementos de empalme en las arquetas y realizar el empalme entre fibras.

Los elementos más destacables de la red exterior son:

- 1 OLT
- 5 splitter 1:8
- 64 conectores SC que conectan el repartidor óptico y el OLT
- 21 cajas terminales óptica (una por edificio)
- 140.000 m de cable 64 Fibras G652. Se necesita el doble de cableado

para poder instalar una alternativa si la red principal presenta errores.

- La instalación de la red en el interior de los colegios también conlleva una preparación de los cables de fibra óptica y de par trenzado, instalación de los armarios en cada planta, configuración de los equipos y colocación de las salidas del cable.

Los elementos más importantes de la red interior de cada colegio son:

- 840m de cable de Fibra G657 para el cableado vertical de cada edificio.
- 288m de cable UTP cat6 para cada edificio.
- 5 splitter 1:8 y 21 splitter 1:4
- 64 conectores SC que conectan el repartidor óptico y el OLT.
- 21 cajas terminales óptica (una por edificio).
- Armario rack 19" por colegio para almacenar los equipos activos de la red.
- 21 ONU (una para cada colegio).
- 42 router (2 por colegio, para asegurar redundancia).
- 21 Switch S5700-28C-HI-24S para las plantas bajas de los colegios.
- 84 Switch S5710-108C-PWR-HI para las plantas primera y segunda de cada colegio.

-126 Firewall, tres necesarios por colegio y otros tres extra que se usarán en caso de que se detecte una anomalía en los firewall principales.

-Aproximadamente 3300 conectores RJ45 que conectan algunos equipos y los equipos finales de votación de cada colegio.

-189 patch panel, ya que cada colegio necesita nueve para dar cabida a todos los puertos.

4.2.2. Costes mensuales

Además existen algunos gastos recurrentes (mensuales) debido al mantenimiento de la red cuando está dedicada a fines docentes y del alquiler de las canalizaciones y arquetas:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS MENSUALES	COSTE (€)/HORA	COSTE /mes (€)
Mano de obra				
Personal mantenimiento y administración de la red	4	50	25	1.250
Materiales				
Alquiler tubo canalización 40 mm de diámetro	70.000m (0,06€ cada 4cm al año)		8.750	
Alquiler espacio en tubo	882 m ² (0,02€/m ²) al año		1,47	
Alquiler en arquetas	18		18x10,72= 192,96	
TOTAL MENSUAL			8.944,43	

Tabla 11: Costes mensuales
Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Costes día electoral

El día del proceso electoral contará con un soporte y mantenimiento más dedicado además del alquiler de las cabinas electorales, a continuación se muestran los costes:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	HORAS	COSTE (€)/HORA	COSTE (€)
Mano de obra				
Personal mantenimiento y administración de la red	8	12	25	2.400
Personal centro de diagnóstico y supervisión	4	12	35	1.680
Personal seguridad	4	12	25	1.200
Materiales				
Cabina electoral de Diderot	148x21 colegios= 3.108		3.108x10 = 31.080€	
Equipo votación	148x21 colegios= 3.108		10x3.108=31.080€	
TOTAL DÍA ELECTORAL				62.160 €

Tabla 12: Costes día electoral
Fuente: Elaboración propia

- Es necesario un personal de mantenimiento y administración de la red totalmente disponible el día de las elecciones, se ha decidido dos técnicos por orientación que tendrán como función solucionar problemas técnicos que puedan surgir a lo largo del día.
- Además en las localizaciones de los CPD se adecuará una sala donde se tenga controlado todo el tráfico y los posibles ataques a los que la red se esté enfrentando. Este personal debe tener un perfil ingeniero, cada uno controlará una de las cuatro orientaciones en las que se dividen los colegios. En las centrales del operador también se encontrarán los servidores necesarios para dar servicios de gestión y mantenimiento de la red.

- Finalmente es importante un personal de vigilancia de los CPD al tratarse de lugares donde se almacena información muy sensible. Se fijarán dos personas por CPD.

Debido a la necesidad de realizar una auditoría de la votación electrónica con papeletas físicas también, el proyecto no va a disminuir los costes referidos a envío de voto por correo ordinario (192.244 € en las últimas elecciones [34]), logística (51.789 € [34]) o imprevistos (6.629 € [34]) que también pueden suceder con este nuevo método. Pero sí reducirá los costes que se producen en el apartado de administraciones públicas (que en las últimas elecciones supuso unos 231.604€ al ayuntamiento de Leganés [34]) encargadas del censo que ahora estará almacenado en los centros de procesamiento de datos y la difusión del escrutinio (57.590€ en las últimas elecciones [34]) también contará con una disminución de su coste ya que el recuento físico ya no debe ser lo más rápido posible y se realizará exclusivamente para asegurar una democracia fiable.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones

Para la realización del proyecto se ha tenido que hacer un previo análisis de los fundamentos teóricos, tanto de las tecnologías a utilizar como del sistema a modificar, que se presenta en el Capítulo 2: Estado del arte. Y tras la propuesta de la solución se llega a una serie de conclusiones:

- Este TFG pretende mostrar el diseño de una posible red de comunicaciones desde una fase de pre-venta (análisis y diseño) para la votación electoral en un municipio madrileño, en él se describen a alto nivel las especificaciones de la red y los elementos que la componen de los que se podría hacer uso en la ejecución real, tras la obtención del proyecto.
- La red del proyecto se pensó inicialmente para ser implementada en su totalidad por fibra óptica debido a las ventajas de rendimiento y seguridad que ésta proporciona, pero debido a la corta distancia en cada planta del edificio entre los equipos y los elementos que los alimentaban y teniendo en cuenta las altas velocidades que los cables UTP cat6 alcanzan se decide el uso de este tipo para el cableado horizontal de las plantas, de esta manera se reduce el coste y se mantienen las prestaciones más importantes de la fibra óptica.
- Hay que tener en cuenta que debido a las vulnerabilidades de las redes informáticas nunca va a ser totalmente fiable una implementación única de votación electrónica, es importante que haya siempre un sistema complementario mediante el que poder auditar la votación, en este caso se propone un sistema de impresión de voto e inserción en urna en una de las mesas electorales habilitadas para ello.
- El proyecto requiere una inversión elevada por parte de la administración pública que se ve recompensada por un sistema de recuento más rápido en cualquiera de los procesos que requieran consulta ciudadana y además los colegios habilitados para la votación se ven beneficiados con una red de comunicación moderna y con mayor capacidad que hará posible una educación más innovadora y con mayor desarrollo tecnológico.
- Esta inversión elevada tiene que ver también con la gran redundancia que presentará la red, es decir, el diseño de un doble cableado o la colocación doble de elementos clave para garantizar el continuo funcionamiento de la red y su seguridad ya que en caso de ataque externo, rotura en algún elemento

físico y fallo de software exista un respaldo que continúe con la correcta implementación del sistema.

- Además de redundancia la red presenta escalabilidad, podrían incluirse nuevos colegios electorales a la red sin alterar excesivamente ésta, así como dentro de los colegios podrían incluirse nuevas cabinas de votación con tan solo añadir switches a la capa de acceso.
- A pesar de esta gran inversión, debido a la reutilización de la red y los beneficios mencionados que acarrearía la votación electrónica se cree un proyecto viable en el municipio donde se ha diseñado.
- Además es necesario una modificación en la actual legislación de votación española que contempla únicamente el sistema de votación mediante la introducción de una papeleta en la urna, para que sea compatible también con un sistema tecnológico.
- Por último es importante tener claro que este proyecto no se propone como alternativa al sistema actual de votación, ya que es necesario poder confirmar los resultados con exactitud mediante otro proceso, sino como un complemento que lo haga más eficaz, rápido, fiable y cercano al ciudadano cada vez más relacionado con las tecnologías.

5.2. Líneas futuras de trabajo

- En este proyecto se contemplan técnicas de criptografía tanto de los datos de identificación de los usuarios como de los datos que los usuarios envían como voto para garantizar una protección frente a intentos de robo de información. Siguiendo este patrón de seguridad se podría contemplar en un futuro un sistema de movimiento de los datos como blockchain, actualmente centrado en las transacciones y movimientos que se realizan a través de la criptomoneda. Esta tecnología consiste en una base de datos que se distribuye entre diferentes participantes (equipos informáticos) donde se van registrando en forma de cadena todos los pasos que van realizando estos equipos, siempre de manera encriptada, donde una desconexión o fallo en alguno de los equipos no supone un problema pues la información se encuentra en cada uno de los nodos que componen la red. Aunque es un sistema muy robusto y resistente a modificaciones malintencionadas es importante tener en cuenta que el exhausto registro de todos los pasos durante la votación electrónica que a la vez es lo que asegura un correcto recuento de votos puede poner en evidencia la confidencialidad de los votantes, por ello blockchain se contempla solo como

una implementación futura en caso de solventar este requisito indispensable en un proceso electoral.

- Debido al constante cambio en las telecomunicaciones y el continuo aumento de demanda y datos que se mueven a través de las redes, sería importante plantear en un futuro un aumento del ancho de banda que puede darse modificando el cableado si éste no cumpliera con los requisitos o modificando algunos elementos de la red que disminuyan esta velocidad o no sean capaces de conseguir las prestaciones necesarias.
- En la Comunidad de Madrid se está experimentando un continuo aumento de la población, por lo que cabe pensar que en el municipio donde se ha desarrollado la red de comunicaciones requerirá en un futuro que se incluyan más colegios electorales para dar cabida a este gran número de ciudadanos.
- El sistema de identificación de usuarios de los equipos propuestos se realiza mediante reconocimiento de huella facial. Existen otros métodos biométricos con los que podría reconocerse el usuario, como lectura ocular, verificación de voz o emisión de calor. También se está trabajando en un sistema de identificación de usuarios mediante inteligencia artificial, es decir, a partir del tipo de movimiento, el tiempo de ejecución del movimiento o el contacto con el equipo éste puede reconocer si el usuario es quién dice ser tras un estudio de sus comportamientos a la hora de acceder a un equipo informático.
- No se propone una votación electrónica desde cualquier lugar, como podría ser desde el hogar o trabajo de los ciudadanos ya que las vulnerabilidades aumentarían y la probabilidad de modificación de los resultados es mayor, ya que las redes no estarían configuradas de una manera tan rigurosa como sí se puede realizar en el caso de la votación electrónica en un lugar determinado.

GLOSARIO

C

CATV	
Community Antenna Television	48
CPD	
Centro de Procesamiento de Datos	45
CTO	
Caja Terminal Óptica	41

D

DAFO	
Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades.....	15
DDoS	
Distributed Denial of Service.....	30
DNI	
Documento Nacional de Identidad	13, 33
DRE	
Direct-Recording Electronic	18

F

FC	
Ferule Connector	48
FDDI	
Fiber Distributed Data Interface	48
FTTB	
Fiber To The Building	41
FTTC	
Fiber To The Cabinet	41
FTTH	
Fiber To The Home.....	41

I

IEEE	
Institute of Electrical and Electronics Engineers	51
INE	
Instituto Nacional de Estadística.....	12
ITU	
International Telecommunication Union	51

L

LC	
Lucent Connector	48

O

OLT.....	40
Optical Line Terminal	40
OMCI	
Operation Management and Control Interface	35
ONT	
Optical Network Terminal	41
ONU	
Optical Network Unit	41
OTDR	

Optical Time Domain Reflectometer.....	48
P	
PMD	
Polarization Mode Dispersion	55
POL	
Passive Optical LAN	49
PSTN	
Public switched telephone network.....	47
R	
RGPD	
Reglamento General de Protección de Datos	33
RSA	
Rivest, Shamir y Adleman.....	32
RTB	
Red Telefónica Básica.....	47
S	
SC	
Subscriber Connector.....	48
SMS	
Short Message Service	18
ST	
Straight Tip.....	48
T	
TDMA	
Time Division Multiple Access.....	27
TIC	
Tecnologías de la Información y de la Comunicación	12
U	
UIT	
Unión Internacional de Telecomunicaciones.....	35
UPS	
Uninterruptible Power Supply	77
V	
VPN	
Virtual Private Network	75
VRRP	
Virtual Router Redundancy Protocol	67
W	
WLAN	
Wireless Local Area Network	75

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional de Estadística, "España en cifras 2017", 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.ine.es/prodyser/espaa_cifras/2017/index.html#1/z
- [2] Hootsuite y We Are Social, "Digital in 2018", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018>
- [3] CSUC. [En línea]. Disponible en: <http://www.csuc.cat/es/e-administracion/voto-electronico/que-es-el-voto-electronico>
- [4] "¿Que países utilizan ya el voto electrónico?", La Vanguardia, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/internacional/20170309/42670140542/paises-utilizan-voto-electronico.html>.
- [5] J. Figueroa González, "Arquitectura de seguridad y auditoría para un sistema de voto electrónico", Universidad Autónoma Metropolitana, México. [En línea]. Disponible en: http://newton.azc.uam.mx/mcc/01_esp/11_tesis/tesis/terminada/061124_figueroa_gonzalez_josue.pdf
- [6] E. Lopategui, "Historia de las computadoras". [En línea]. Disponible en: http://www.saludmed.com/EGIC1000/pdf/Ciencias_de_la_Computadora.pdf
- [7] G. I. H. García, "Historia de las computadoras", Universidad Veracruzana, México, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/gerhernandez/files/2011/04/historia-compuesta.pdf>
- [8] Universidad Andrés Bello, "Antecedentes y aplicaciones de la informática", El Salvador. [En línea]. Disponible en: http://www.academia.edu/22934401/Unidad_I_Antecedentes_y_aplicaciones_de_la_inform%C3%A1tica_1_1.2_Generaciones_de_computadoras
- [9] A. Prince, "Consideraciones, aportes y experiencias para el Voto electrónico en Argentina", Instituto tecnología y desarrollo, Argentina, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.princeconsulting.biz/pdf/5.pdf>
- [10] Fibra óptica. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/cduran310146/fibra-optica>
- [11] J. M. Huidobro Moya, *Telecomunicaciones. Tecnologías, redes y servicios.*, 2ª ed. Ra-Ma, 2014.
- [12] Telefónica Fundación, "Curso Instalación y mantenimiento FTTH en domicilio clientes I+M", 2017.
- [13] M. L. Serrano Domínguez, "Cable y componentes pasivos en la red FTTH", Telefónica España, 2014.
- [14] C. Vázquez García, "Dispositivos y Medios de Transmisión Ópticos", Dpto. de Tecnología

Electrónica, Universidad Carlos III de Madrid, España. [En línea]. Disponible en:
<http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/dispositivos-y-medios-de-transmision-opticos/material-de-clase-1/introduccion-dispositivos-y-medios-de-transmision-optica>

- [15] A. García Yagüe, "GPON y GPON Doctor. Introducción y conceptos generales", Telnet. [En línea]. Disponible en: <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>
- [16] A. Barroso García, "Diseño de una red de fibra óptica para la implementación de servicios de una banda ancha en una zona de viviendas en casco urbano", Dpto. Electrónica, Automática e Informática industrial, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2012. [En línea]. Disponible en: http://oa.upm.es/21757/2/PFC_ANDRES_BARROSO_GARCIA.pdf
- [17] J. P. Aravena, J. Brevis y P. Cardenas, "SEGURIDAD DE DATOS. Tipos de ataques informáticos.", Instituto profesional de Chile, Chile, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/PabloCardenasCatalan/tipos-de-ataques-informaticos>
- [18] V.M. Morales Rocha, "Seguridad en los procesos de voto electrónico remoto: registro, votación, consolidación de resultados y auditoría", Dpto. Telemática, Universidad Politécnica de Cataluña, España. [En línea]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/7043/01VMmr01de01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [19] D. Penazzi, "Algunas aplicaciones de la Criptografía al Voto Electrónico", Famaf-Universidad Nacional de Córdoba, España. [En línea]. Disponible en: <http://dc.exa.unrc.edu.ar/rio/sites/default/files/AplicacionesalVE.pdf>
- [20] M. Muñoz Organero y A. Marín López, "Tema 8: Cifrado con clave pública", Dpto. de Ingeniería telemática, Universidad Carlos III de Madrid, España.
- [21] "Elecciones locales 2015", 2015. [En línea]. Available: http://elecciones.mir.es/resultadoslocales2015/99MU/DMU1228907499_L1.htm?d=1785&e=689.
- [22] A. Figueiras Vidal, *Una panorámica de las telecomunicaciones*, 1ªed., Pearson educación, 2002.
- [23] The Fiber Optic Association, Inc. [FOA], 2014.
- [24] *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*, Recommendation ITU-T G.652 - 2016.
- [25] *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable*, Recommendation ITU-T G.657 - 2016 .
- [26] G. Rivas, G. Benítez y P. Centurión, "Cálculo de un enlace de fibra óptica", Universidad nacional de asunción, Paraguay, 2008.[En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/225338365/Calculo-de-Un-Enlace-de-Fibra-Optica>
- [27] E. Coimbra, "Tema 2 de: Comunicaciones ópticas", Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/edisoncoimbra/81->

el-canal-ptico-la-fibra-ptica

- [28] ARX soluciones, “Proyecto de centro de proceso de datos Hospital 12 de Octubre”, 2010.[En línea]. Disponible en:
<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=Proyecto+CPD-203592.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1271827309716&ssbinary=true>
- [29] Red Tauros, “Cómo se hace un cableado estructurado”. [En línea]. Disponible en:
http://www.redtauros.com/Clases/Fundamentos_Redres/como-se-hace-un-cableado-estructurado.pdf.
- [30] *ONU management and control interface (OMCI) specification*, Recommendation ITU-T G.988-2017.
- [31] *10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms*, Recommendation ITU-T G.987-2012.
- [32] Autodesk- Autocad. [En línea]. Disponible en:
<https://www.autodesk.es/products/autocad/overview>
- [33] “Áreas funcionales. Producción. Tema 3. La función de producción.”, Universidad Carlos III de Madrid, España.
- [34] J.Diges, “El presupuesto para el 26-J es de 130,6 millones de euros, un 0,33% más que en el 20-D”, *El mundo*, 2016. [En línea]. Disponible en:
<http://www.elmundo.es/espana/2016/06/25/576e648646163f4b6d8b463f.html>
- [35] A. Correa Muñoz y C. M. Serpa Imbett, “Análisis de la expansión de redes de acceso pasivas de fibra óptica GPON y BPON en la ciudad de Medellín”, *Tecnológicas*, vol. 24, pp. 59-70, 2010.[En línea]. Disponible en:
<http://itmojs.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/212/222>
- [36] G. A. Figueroa M., “La metodología de elaboración de proyectos como una herramienta para el desarrollo cultural”, Universidad Tecnológica Metropolitana de Santiago, Chile, 2005. [En línea]. Disponible en: http://eprints.rclis.org/6761/1/serie_7.pdf.
- [37] OBS. Business school - Universitat de Barcelona , “¿Qué es un Diagrama de Gantt y para qué sirve?”. [En línea]. Disponible en: <https://www.obs-edu.com/es/blog-project-management/diagramas-de-gantt/que-es-un-diagrama-de-gantt-y-para-que-sirve>.
- [38] International Telecommunication Union (ITU), “The Internet of Things”, 2005.
- [39] Siemon, “Manual de Capacitación del Sistema de Cableado Siemon”, 2015.
- [40] Universitat Politècnica de València - UPV, “Arquitecturas de los cortafuegos | | UPV”, *Youtube*, 12 de Octubre de 2013. [Vídeo en línea. Disponible en:
<https://www.youtube.com/watch?v=NXDvaSN-2cs>

[41] Tarifas aplicables a la oferta regulada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. [En línea]. Disponible en: <http://www.airenetworks.es/documentos/Javea-Altea.pdf>

[42] Componentes ópticos pasivos. [En línea]. Disponible en:
http://www.spw.cl/05mar07_mobile/Transporte/Componentesopticos_pasivos.pdf

ANEXOS

En el anexo de este Trabajo Fin de Grado se incluye un resumen en inglés, de entre 5 y 10 páginas, que es obligatorio para los alumnos pertenecientes al Plan de estudios de 2011.

En el resumen se explica brevemente todo lo trabajado en el proyecto, consta de una introducción y contexto donde esboza de manera general el actual panorama tecnológico y el gran avance de la tecnología en la vida cotidiana, así como se relaciona con casos anteriores de votación electrónica electoral.

También se recoge un análisis de la metodología llevada a cabo para la realización del trabajo, cómo se ha abordado, el tipo de tareas que se han realizado y la organización de éstas. Y se han expuesto los principales objetivos a los que este trabajo intenta dar solución.

Finalmente se muestra una figura general del diseño de red propuesto y se mencionan los elementos más importantes.

INTRODUCTION AND CONTEXT

We live in an increasingly connected world, 30 years ago it was difficult to imagine having a conversation with someone through a real-time screen that was on the other side of the world and is now one of the basic functions offered by the Internet.

According to the study Digital In 2018 developed by Hootsuite and We Are Social, the number of users currently connected to the Internet is 4.021 billion, that is, 53% of the world's population and the use of the Internet has increased by 7% since the previous year.

Cities such as Tallinn have free Wi-Fi in different parts of its historic center, Helsinki in the busiest points of the city or Milan that has 370 wireless internet access points spread throughout the city. New York is carrying out a new initiative, converting its old telephone booths into WiFi hotspots and in 2018 already has 1617 access points according to LinkNYC.

It is also necessary to mention the development that is being made of the Internet of Things, which tries to connect a billion of physical elements or objects to the Internet in real time, storing all their information in the cloud that may be useful for further analysis. The use that can be given to this great connection of objects is the automatic control they can perform on themselves, for example, as for the home, you can regulate from anywhere the temperature of the house, the refrigerator, observe the state of a washing in the washing machine or dishwasher, or if it is necessary to visit a car mechanic, they can know in advance the state of the car. It will also be very useful in shops and companies where their premises and devices are monitored without the need for continuous control over them. And the world of medicine is going to be revolutionized by this change, doctors will be able to receive alerts and diagnose problems in real time thanks to continuous updating of the devices that are in contact with patients. [38]

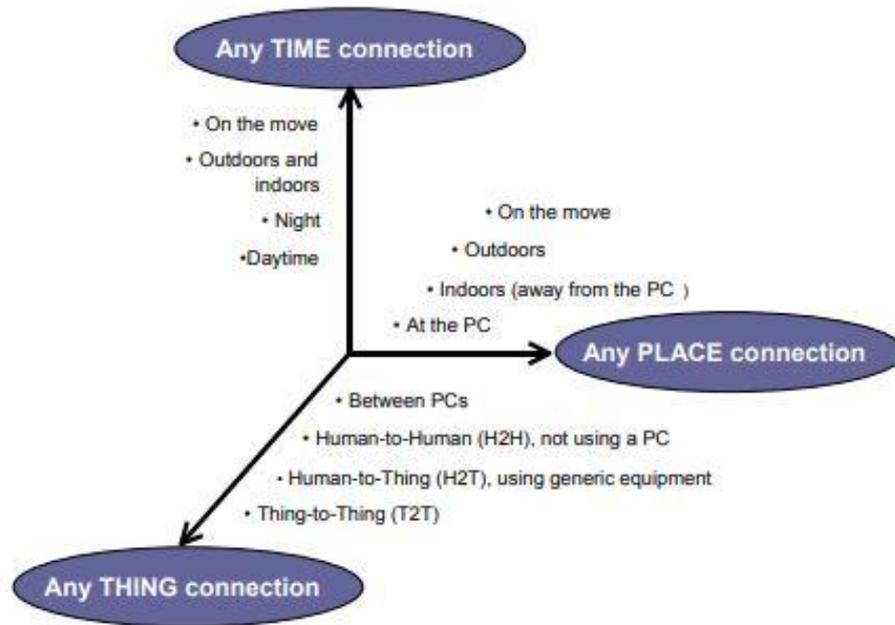


Figure 46: Introducing a new dimension to the telecommunication environment
 Source: ITU, adapted from the Nomura Research Institute, "Ubiquitous Networking: Business Opportunities and Strategic Issues", August 2004

Due to the continuous changes in daily activities that people make daily because of the development of technology and connection networks, a new model of electoral voting, electronic voting, is proposed in this project. The model that is designed in this project is a communications network that interconnects the different polling stations, where voting is currently carried out through ballots and ballot boxes, with the data processing centers that will provide the information in order to identify the users and house the results of the elections. This communications network will be deployed with optical fiber, through gpon access technology. Gpon networks are characterized by replacing the active components of the network between the Optical Network Unit and the Optical Line Terminal, thus reducing costs and maintaining the network, as well as helping to reduce the bottleneck that occurs in access networks in which a large bandwidth is involved, such as triple-play transmissions (data, voice and video) as in this case, where the voting data and the voice and video should be transmitted in case of conducting videoconferences with the enabled equipment. [35]

METHODOLOGY

The methodology refers to the set of steps that are followed to manage the activities that are carried out when a project is being realized, that is, it is based on organization and planning.

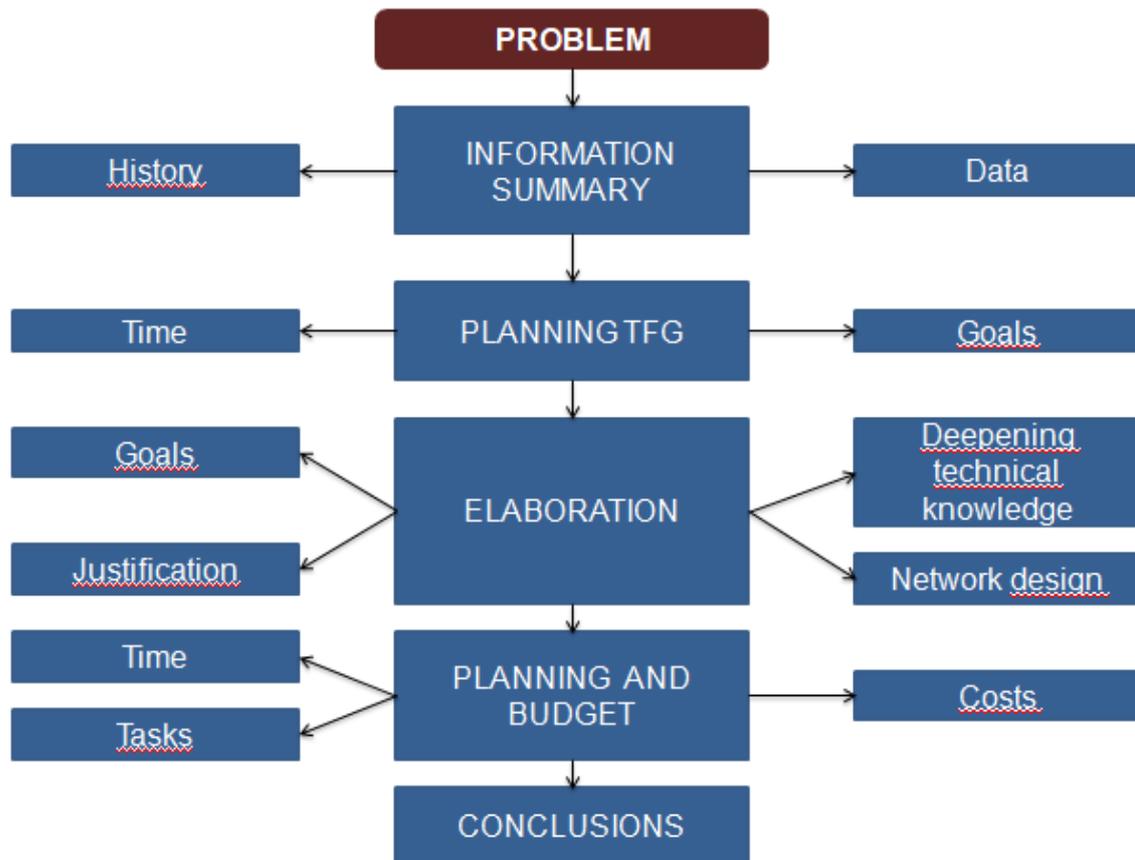


Figure 47: Methodology scheme
Source: Own elaboration

In this case the methodology that has been carried out is the following [36]:

1. Identification of the problem or case that arises to resolve to update and improve an old system. The factors, needs, demands and initiatives are diagnosed (research to discover the real characteristics). This first phase serves to identify the main objectives.
2. Study of the history of the main topic, in this case the electronic voting and the solution to be proposed, fiber optics. The advantages and disadvantages of each of them are also analyzed. This phase is necessary to deepen the subject and acquire more knowledge about the development of what is going to arise.

3. Final Degree Project Planning. Once the problem is identified and the topic is known in more depth, it is done a planning of the time available and the tasks that will be carried out in that period.
4. Design or elaboration. The design model is realized after knowing more deeply technical aspects.
 - a. Naming the project. A brief title that summarizes in a concise, clear and specific way the content and allows to easily identify the subject.
 - b. Set goals. After outlining the main goals in the previous phase, in this phase the specific goals that we want to solve are broken down.
 - c. Project justification. After studying the history and the needs, we proceed to justify the realization of the project, what it contributes and why it is necessary.
 - d. Elements study. The process of realization of the project solution begins, the elements that will be necessary to carry it out are analyzed.
 - e. Exterior network design. Once the elements are identified, they are organized.
 - f. Design of the school network. As with the external network, the necessary elements in the internal network of the schools are organized and it is proposed designs of the plants using the Autocad software tool.
 - g. Task planning. Breakdown of the tasks that are necessary to carry out the work to reality, determine the number of workers they need, the profile they must have and the times in which each phase can be carried out.
 - h. Schedule. The planning of tasks is represented by a Gantt Diagram, which is a tool used for planning and scheduling tasks over a period and allows to track and control the progress of project tasks. [36]
 - i. Budget. When you know the materials and elements involved in the project and the labor needed to carry it out, the total costs involved will be studied.
 - j. Conclusions. Once all aspects of the project are known, it is finalized with ideas extracted from the study and analysis.

- k. Future lines. And finally, it is discussed possible improvements in the future or connexions the project could have with technological advances that are about to unfold and could add value to the design.

PROJECT GOALS

The goal of this project is to design a communications network between different schools to carry out an electoral vote through an electronic device in the Madrid municipality of Leganés. The designed network can be used the rest of the year by the teaching team of the schools and their students, although taking into account that the configuration of their teams will be different, since the days that a vote is carried out the network will communicate only the schools and data processing centers and the rest of the time it will have access to the rest of the Internet. The project improves the quality of the electoral process, that is, the counting time decreases, the results of the electoral process can be obtained instantly with greater accuracy, as well as the reliability of the results in case there is no failure in the network is higher than in the case of a manual counting as it is currently. It will also involve bringing the democratic process closer to younger generations who have a more technological lifestyle and currently represent the largest number of abstentions in elections. The network will provide a modernization in the Internet connection of the different schools and will facilitate a digitalization of the media they have. The purpose of the project is to know the different elements that must compose the network from the central to the voting equipment and propose a design of the placement of these, studying the costs that would entail, therefore the external network that interconnects all the schools will be described and how it has to be the internal network of each school.

It is also a very important goal of the project to guarantee the security and redundancy of the network in case of failure. That is to say, four networks configured in double ring of the schools are proposed according to the orientation where they are located, and the connection of these rings with the data processing centers and the central will be done through a double wiring that provides redundancy. As well as the network is designed with the double of the most important equipment in the network, such as the router and firewall configured in the most robust way possible by the engineers.

NETWORK DESIGN

The network designed between the schools, data centers and the central operator will have a double star topology to guarantee redundancy. However, the schools will be grouped into four groups, one for each orientation (north, east, south and west) and each group will be organized according to a double-ring logical topology, although it has a higher cost than other types of topologies, that are simpler, guarantees greater security and redundancy in the network in case of failure, which are the main objectives in this project.

The external network will be deployed by means of optical fiber and the structure that will follow will be GPON, passive optical network, characteristic to be formed mostly by passive elements, which together with the capacity of sending many services (voice, data, video, TV...) by a single fiber connection, makes it a more economical architecture compared to others. It also guarantees high upload and download speeds, gigabit level, and each connection between transmitter and receiver has a physical reach up to 20 km.

The following figure shows this configuration:

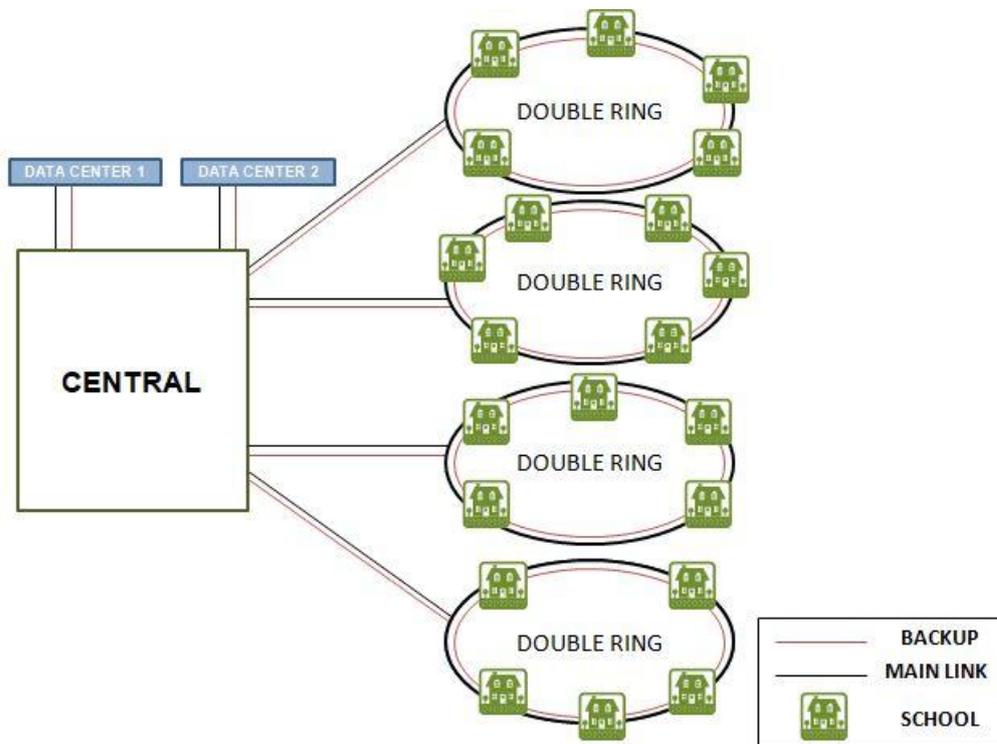


Figure 48: Network Design
Source: Own elaboration

Each school will have a structured cabling type architecture that will be organized by vertical and horizontal cabling. The elements that are part of this type of organization are grouped in the racks located in control rooms on each floor. The following are the main elements of this network:

-Switch: Used to solve performance problems between the equipment and is responsible for the interconnection of equipment belonging to the same network.

-Firewall: The main function is to ensure that there are no attacks or strange events in the network. The days of an electoral vote will be specially configured, isolating the networks of the schools and the data center. And it will have a less restrictive configuration when it is dedicated exclusively to teaching functions.

-ONU: It converts the optical signal into electrical and performs multiplexing /demultiplexing functions. It is the first device of the rack to have contact with the network from outside.

-Router: Involved both in the security and in the routing of the data packages.

