

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- PROPÓSITO DEL PROYECTO

Este proyecto pretende diseñar un sistema de comunicaciones ópticas que controle el movimiento de una cámara de vigilancia en un circuito cerrado de televisión (CCTV). Esta idea surge de la necesidad de buscarle una aplicación a dos equipos ópticos adquiridos por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla a *Ditel S.L.*, consistentes en sendos transceptores ópticos bidireccionales.

1.2.- ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

El presente documento está estructurado de la siguiente manera. Comienza con una introducción, en la que se resumen las características principales de un sistema de comunicaciones ópticas y de los CCTV.

A continuación viene el apartado denominado Memoria. En él se hace una descripción breve de cómo surge la idea del proyecto, las necesidades existentes, la búsqueda de soluciones, y la descripción de la solución adoptada. Dentro de las conclusiones, se describen muy brevemente las posibles mejoras que se podrían encontrar.

El siguiente apartado es el del Pliego de condiciones técnicas. En él se describen más exhaustivamente todos los elementos que componen el sistema, y se descompone éste en tres subsistemas, denominados: Subsistema de Vídeo, Subsistema de Datos y Subsistema de Fibra Óptica.

Más adelante se presentan todos los planos que tienen especial relevancia para la comprensión del sistema, y se desglosan los presupuestos del proyecto en dos partidas: recursos humanos y recursos materiales.

Finalmente se adjuntan una serie de anexos, que sirven de complemento a la memoria completa, y que contendrán entre otras cosas, los catálogos de equipos y componentes utilizados.

1.3.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA

En este apartado se van a resumir algunas de las características más importantes de los dos sistemas en torno a los cuales gira este proyecto:

- Los circuitos cerrados de televisión, o CCTV.
- Los sistemas de comunicaciones ópticas

1.3.1.- Circuitos cerrados de televisión: CCTV

1.3.1.1.- *Introducción a los CCTV*

En la moderna arquitectura de control de los edificios actuales, la incorporación del CCTV es indispensable. Los proyectos incluyen cámaras de funcionamiento nocturno y diurno, internas, externas y de iluminación y captación infrarroja para zonas de seguridad crítica, en color y en blanco y negro.

Entre las distintas cámaras y los monitores que presentan las imágenes al operador se proponen una variedad de posibilidades dependiendo de la arquitectura del edificio, de la distribución del mismo y de las posibilidades de control. Estos últimos equipamientos incluyen: mecanismos de control de posición de cámara, controles de zoom, controladores de señal (switches), grabadores de señal, etc. Todos estos procesos se pueden controlar mediante el software aplicado, e incluso utilizando redes como Ethernet, fibra óptica o la propia red telefónica del edificio para transmitir las señales de vídeo.

Los sistemas de CCTV están conformados básicamente por una serie de cámaras fijas o con movimiento, ocultas o discretas y sus respectivos monitores. Para la mejor gestión o manejo de las cámaras hacia los monitores se utilizan las matrices de vídeo, que son sistemas capaces de direccionar a través de microprocesadores las entradas (cámaras) hacia las salidas (monitores). Con las matrices de vídeo se pueden programar las secuencias de cámaras en un monitor, las cámaras a ser mostradas en otro monitor en caso de alarma, y programar para las cámaras con movimiento la secuencia de movimiento y enfoque de una cámara en caso de alarma. También los sistemas modernos de CCTV permiten digitalizar las imágenes y comprimirlas para así poder mostrar en un solo monitor toda la información requerida.

1.3.1.2.- Elementos de un CCTV

Un esquema simplificado de lo que es un CCTV se muestra en la siguiente figura:

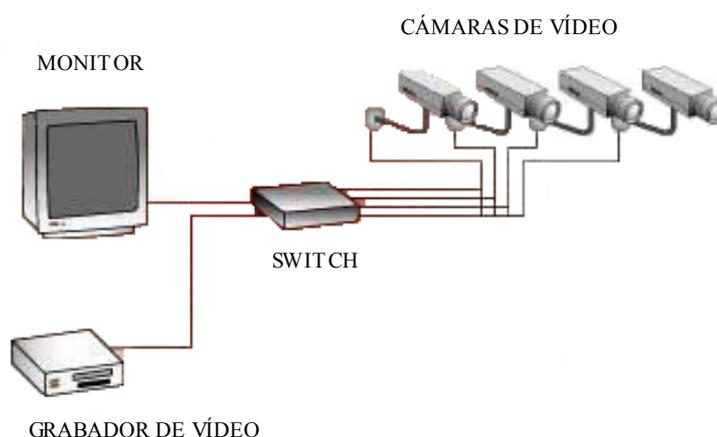


Figura 1.3.1.- Esquema simplificado de un CCTV

Entrando más en profundidad, las partes de las cuales se compone un sistema de CCTV son:

- Elementos captadores de imagen: cámaras
- Elementos reproductores de imagen: monitores
- Elementos grabadores de imagen
- Elementos transmisores de la señal de vídeo
- Elementos de control
- Videosensores o sensores de movimiento

Los elementos captadores de imagen están constituidos por las cámaras de TV y los accesorios que las complementan, tales como son: objetivos, carcasas de protección, soportes o posicionadores y cámaras de TV en circuito cerrado. Constituyen el elemento

base del sistema, ya que transforman una imagen óptica en una señal eléctrica fácilmente transmitible.

Una cámara de TV es básicamente una caja (metálica o de material plástico) en el interior de la cual se alojan el dispositivo captador de imagen y los circuitos electrónicos que la procesan.

Cuando las cámaras de TV tienen que aislarse de manipulaciones, o bien situarse en el exterior o en locales de elevada temperatura o humedad, deben protegerse mediante unas adecuadas carcasas. Hay de varios tipos, según su uso:

- Carcasa interior
- Carcasa exterior (incluye parasol)
- Carcasa exterior con calefactor y termostato
- Carcasa exterior con ventilador y termostato
- Carcasa exterior con calefactor, limpiacristal y bomba de agua
- Carcasa antivandálica

Pueden ser metálicas (generalmente de aluminio) o de diferentes materias plásticas, aunque las de mayor resistencia se construyen de acero. Las cámaras de vigilancia deben fijarse a paredes o techos, por lo que precisan de los correspondientes soportes. Todo soporte de cámara o de carcasa dispone de una rótula ajustable, de forma que una vez fijado a la pared pueda orientarla adecuadamente.

Cuando el campo que debe abarcar una cámara excede el que puede cubrir un objetivo gran angular, o bien cuando debemos seguir al posible sujeto a vigilar, se hace necesario disponer de un soporte móvil llamado posicionador, que puede ser de tres tipos.

- Posicionador panorámico horizontal para interiores
- Posicionador panorámico horizontal y vertical para interiores
- Posicionador panorámico horizontal y vertical para exteriores (debe ser a prueba de agua y disponer de mayor potencia, para mover las cámaras con carcasa, zoom, etc.).

Todo posicionador precisa a su vez un soporte, que en éste caso ya no será articulado, aunque deberá tener mayor solidez para soportar el peso adicional; al aire libre puede consistir en un poste anclado al suelo, con la correspondiente peana para atornillar la base del posicionador, y para mucha altura se precisarán incluso torretas con tensores, para una buena estabilidad. Existen también unos posicionadores que se encuentran protegidos por una semiesfera más o menos transparente, para vigilancia discreta.

Los elementos de un CCTV que nos permiten reproducir las imágenes captadas por las cámaras son los monitores. Son básicamente similares a un televisor doméstico, si bien carecen de los circuitos de radiofrecuencia, y disponen de selector de impedancia para la señal de entrada. También están diseñados para soportar un funcionamiento continuo. Existen varios tamaños de la pantalla reproductora:

- 9 ó 12 pulgadas en monitores en blanco y negro
- 10 ó 14 pulgadas en monitores a color

La señal proveniente de una cámara de TV en circuito cerrado es susceptible de ser grabada, por medio de los dispositivos adecuados. Los dispositivos grabadores de imágenes en movimiento, que utilizan cintas magnéticas, pueden ser de dos tipos:

- Magnetoscopios
- Videocassettes o videograbadores

Los magnetoscopios, también llamados grabadores de bobina abierta, prácticamente han desaparecido del mercado del CCTV, quedando solamente versiones de alto precio para estudios profesionales. Los videocassettes son los más empleados para vigilancia, sobre todo los que utilizan cassettes VHS con cinta magnética para 3 ó 4 horas (el doble a media velocidad). Son recomendables los videograbadores específicamente preparados para vigilancia, que prolongan una cinta de 3 horas hasta las 24 horas sin necesidad de detener el motor de arrastre. Hay versiones más completas, que permiten grabaciones de hasta 960 horas, denominadas "time lapse" o intervalométricas. Para grabar más de una cámara simultáneamente pueden emplearse los insertadores (2 cámaras), los generadores digitales de cuadrantes (4 cámaras) y los multiplexores (hasta 16 cámaras), tanto en modelos de blanco y negro como en color.

Otros dispositivos de grabación de imágenes, en este caso fijas, son:

- Los digitalizadores, que almacenan las imágenes digitalizadas en soportes informáticos.
- Las videoimpresoras, que las imprimen en papel como si fueran fotografías.

La señal de vídeo que sale de la cámara debe llegar en las mejores condiciones posibles al monitor o monitores correspondientes, para lo cual se emplean líneas de transmisión, amplificadores de línea y distribuidores de vídeo. Las líneas de transmisión deben ser capaces de transportar la señal de vídeo con un mínimo de pérdidas, por lo que se utilizan habitualmente cables de tipo coaxial, adaptados a la impedancia nominal del CCTV (75 ohmios). Los amplificadores de línea se utilizan para elevar y compensar las pérdidas, sobre todo en altas frecuencias, de la señal de vídeo, tanto para alimentar varios monitores como para realizar transmisiones a mayor distancia de la que permitiría la longitud de los cables coaxiales. Por último, si una misma señal de vídeo debe dirigirse a varios receptores (monitores o grabadores) y éstos se encuentran bastante alejados unos de otros, lo mejor es utilizar distribuidores electrónicos de vídeo, con los cuales podemos obtener varias señales iguales, manteniendo su máxima amplitud y sin las variaciones de impedancia que inevitablemente se producen si los conectamos en cascada; además, los distribuidores pueden colocarse en el lugar más adecuado del edificio, lo que permite optimizar el cableado.

Si bien la transmisión por cable coaxial es la más usual, no es la única, pudiendo efectuarse también mediante cable de 2 hilos trenzados (señal simétrica), cable de fibra óptica, línea telefónica (vía lenta), enlace por microondas o por infrarrojos. Aunque debe tenerse en cuenta que para ello se precisan dispositivos tales como conversores, transductores, módems o conjuntos emisor/receptor, adecuados a cada caso.

1.3.1.3.- Control y aplicaciones en un CCTV

Resulta evidente que con sólo los elementos captadores, transmisores y reproductores ya podemos formar un CTV; por ejemplo con una cámara, un cable y un

monitor. Sin embargo, en la mayoría de los casos la instalación no es tan simple, y son necesarios los elementos de control. Los elementos de control pueden ser de dos tipos: selectores de vídeo y telemandos de las cámaras motorizadas. Los selectores (o conmutadores) de vídeo permiten seleccionar las imágenes provenientes de varias cámaras, tanto para dirigir las a un monitor determinado como a un grabador de vídeo. Estos selectores suelen dotarse con dispositivos de conmutación automática, que reciben el nombre de secuenciales, aunque siempre debe ser factible la selección manual.

Para instalaciones muy complejas, o en aquellas en que se desee una gran flexibilidad de explotación, son muy eficaces las matrices de conmutación de vídeo, que permiten enviar la señal de cualquier cámara a cualquiera de sus salidas; son programables, admiten selección por señales de alarma y en muchos casos ya incorporan dispositivos para el telemando de las cámaras motorizadas. Hay versiones que permiten su conexión a teclados remotos, con la que se facilita la implantación de puestos de control.

Una aplicación importante para vigilancia del CCTV consiste en incorporar al mismo los videosensores o detectores de movimiento de vídeo. Son unos elementos que, analizando las variaciones en la señal de vídeo, permiten determinar si se ha producido algún movimiento en una parte determinada de la imagen. Si bien existen versiones muy simples (solo válidas para interiores) que procesan la señal analógicamente, se están imponiendo los sistemas con procesado digital, que permiten una precisión mucho mayor en el análisis de la señal; de éstos existen versiones para controlar interiores o exteriores de pequeño tamaño, y versiones de alto nivel, que analizan más de 1000 puntos de la imagen y pueden vigilar perímetros de grandes dimensiones, dentro del alcance visual de las cámaras.

Para obtener el máximo rendimiento es conveniente que las cámaras estén situadas en cascada, es decir, que cada cámara abarque el ángulo muerto de la anterior, y que la distancia entre ellas no exceda los 60 metros. Como valor añadido, el mecanismo Pan/Tilt permite rotar e inclinar la cámara en una dirección específica. Esta plataforma electromecánica está disponible para cámaras con diferentes pesos, para lugares internos o externos, etc. Están diseñados para operar en modo manual o automático, usando una palanca de control remota montada en una consola de control.

1.3.2.- Sistemas de comunicaciones ópticas

1.3.2.1.- Introducción a las comunicaciones ópticas

Conceptualmente un sistema de transmisión por fibra óptica es similar a un sistema de microondas en muchos aspectos; las diferencias estriban en que en un caso el medio de transmisión es el espacio libre, y en el otro, una guía de ondas de fibra de vidrio, y en que la transmisión tiene lugar a frecuencias ópticas, varios órdenes de magnitud superiores a las de microondas. En la tecnología de las fibras ópticas se habla en términos de longitud de onda, en lugar de hacerlo en frecuencias. Ambas magnitudes se encuentran ligadas por la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde λ es la longitud de onda del haz de luz en el medio considerado, c la velocidad de la luz en el mismo medio, y f la frecuencia de la onda luminosa. Normalmente la transmisión se realiza en tres ventanas de longitudes de onda:

- 1ª Ventana: $\lambda = 850\text{nm} \rightarrow f = 350\text{THz} (3.5 \times 10^{14}\text{Hz})$

- 2ª Ventana: $\lambda = 1300\text{nm} \rightarrow f = 230\text{THz}$ ($2.3 \times 10^{14}\text{Hz}$)
- 3ª Ventana: $\lambda = 1550\text{nm} \rightarrow f = 190\text{THz}$ ($1.9 \times 10^{14}\text{Hz}$)

La capacidad potencial de este medio de transmisión, suponiendo que se emplean técnicas de multiplexación en frecuencias (MDF), es del orden de 10^7 veces la de un cable coaxial, que es el otro medio más utilizado.

1.3.2.2.- Elementos de un sistema de comunicaciones ópticas por fibra

Un sistema de comunicaciones ópticas se compone básicamente de una o varias fibras para cada dirección de transmisión, terminadas en sus extremos por un emisor de luz y un fotodetector. El esquema general se muestra en la siguiente figura:

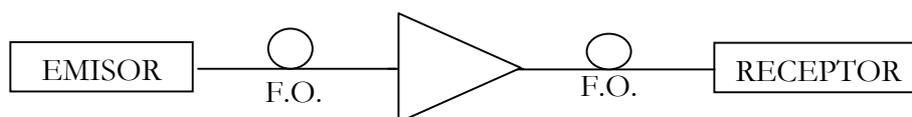


Figura 1.3.2.- Esquema de comunicaciones ópticas

Los emisores constituyen un convertidor electro-óptico. Su misión, bien se trate de un LED o de una diodo láser, es suministrar la onda portadora luminosa que ha transportar la información a través de la fibra óptica hacia el extremo receptor. La elección de un tipo u otro de emisor es función de la potencia óptica de salida necesaria y de la velocidad binaria requerida:

- El láser tiene mayor potencia de salida que el LED, y presenta mejores posibilidades de acoplamiento óptico a la fibra, por producir una luz más coherente.
- El LED es más barato y su vida útil es normalmente mayor.

El emisor contiene básicamente los sistemas codificadores de la señal incidente, el generador de la onda portadora y un modulador. Dispone a su vez de un latiguillo de fibra (pigtail) al que se acoplará un conector de unión con la sección primera de la fibra óptica.

Los tramos de fibra suelen ser de 2 ó 3 Km, y se empalman sucesivamente. La disposición habitual es la de unión o empalme de varias fibras independientes configurando un cable con cubierta protectora única.

Cada fibra consta de una parte central, llamada núcleo, a través de la cual se propaga la luz, y otra exterior, denominada corteza, que actúa como guía de la luz. El principio de funcionamiento es el de la reflexión total interna, que expone que para todo haz de luz que incida con un determinado ángulo, nada se refractará y todo se reflejará. De este modo la luz será guiada por el interior del núcleo de la fibra.

Las señales, en su progresión a lo largo de la fibra se van ensanchando y debilitando. Es lo que se llama dispersión temporal y atenuación. La dispersión se debe, en parte, a las diferentes velocidades a que se propagan por el núcleo las radiaciones de distinta frecuencia. En cuanto a la atenuación, viene provocada en gran medida por la absorción en las impurezas del material que compone la fibra, el óxido de sílice. Antes de que la atenuación y la dispersión hagan que la señal sea irreconocible para el receptor es necesario regenerarla. Esta función la realizan los regeneradores. No sólo restituyen el nivel de la

señal, por lo que no son simples amplificadores, sino que también la reconforman, eliminando las dispersiones. Para regenerar la señal es necesario una conversión opto-eléctrica previa, mediante un receptor PIN o APD. La señal eléctrica obtenida se trata en el regenerador y se vuelve a convertir al dominio óptico, lanzándola nuevamente a la fibra.

Durante todo el trayecto desde el emisor al receptor, la señal va perdiendo potencia cada vez que se realiza una conversión opto-eléctrica y viceversa, así como en los distintos empalmes de las distintas secciones de fibra.

Al final de la fibra se encuentra el receptor, compuesto por un fotodetector, o convertidor opto-eléctrico, y una sección de amplificación, que lleva la señal al nivel adecuado para su ataque al equipo final.

1.3.2.3.- Multiplexación en longitud de onda: WDM

Los sistemas que emplean multiplexación en longitud de onda envían y reciben por una misma fibra varias portadoras ópticas, separadas espectralmente entre sí.

En principio, y sin atender a limitaciones tecnológicas, la multiplexación en longitud de onda presenta sobre los sistemas de multiplexación por división en el tiempo (MDT) las siguientes grandes ventajas:

- La velocidad de proceso requerida en los equipos terminales es la correspondiente a la de las tramas digitales que modulan las portadoras individuales, y no a la velocidad de transmisión del conjunto de las portadoras. Así, un sistema de 25Gbps, compuesto por 10 portadoras moduladas a 2.5Gbps, requiere equipos terminales que trabajen a 2.5Gbps, y no a 25Gbps.
- Las limitaciones de la dispersión se aplican a la máxima velocidad por portadora, y no a la velocidad total del sistema. Con referencia al ejemplo del apartado anterior, si la dispersión comienza a penalizar un enlace de 2.5Gbps cuando la distancia entre regeneradores es de 110km, para un enlace de cuatro portadoras la penalización será la misma, aunque la velocidad de transmisión global es ya de 10Gbps.
- El procesado de una portadora no implica, necesariamente, afectar a las demás. Este hecho abre las puertas a la extracción e inserción óptica.

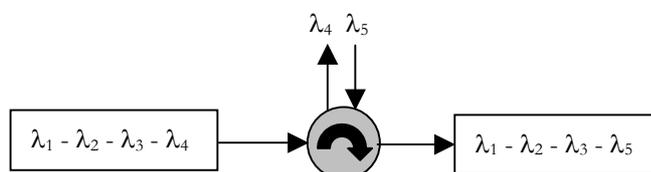


Figura 1.3.3.- Esquema de inserción/extracción óptica.

- Si la velocidad de transmisión por portadora se limita a 2,5Gbps (límite práctico actual, que sin embargo se ha superado en pruebas de laboratorio), los sistemas multiplexados en longitud de onda pueden ser procesados por equipos terminales que utilizan técnicas ópticas coherentes.

Tanto la multiplexación como la demultiplexación de un conjunto de portadoras se puede realizar de dos formas: mediante el empleo de Multiplexores en Longitud de Onda (MLOs), o bien mediante acopladores:

- El multiplexor en longitud de onda es un dispositivo de N fibras de entrada y una de salida, y su funcionalidad es homóloga a la de los multiplexores de microondas. Por cada fibra de entrada se inyecta una portadora dentro de una banda de funcionamiento, una banda diferente por entrada, y en la de salida está presente el conjunto de todas las inyectadas. El multiplexor es recíproco, de forma que se puede utilizar como demultiplexor sin más que cambiar los sentidos de transmisión.
- El acoplador es un dispositivo más simple de N puertas de entrada y una de salida. Su funcionamiento es como sigue: la potencia óptica presente en una entrada cualquiera se divide en N partes iguales, extrayéndose cada parte por cada una de las salidas. De esta forma, si por cada puerta de entrada se inyecta una longitud de onda diferente, en cada una de las fibras de salida está presente el conjunto de todas, aunque con una potencia al menos N veces menor. En la práctica se producen pérdidas adicionales por defectos de fabricación, tanto más elevadas cuanto mayor sea N. El acoplador se puede utilizar también para construir un demultiplexor, cambiando el sentido de transmisión y añadiendo a cada salida un dispositivo selectivo en longitud de onda.

Ambos dispositivos presentan ventajas e inconvenientes. Al contrario que el acoplador, el multiplexor, en teoría, no presenta pérdidas de inserción. En la práctica sí las presenta, y no existen comercialmente multiplexores con $N > 4$. Se puede concluir por tanto que, al menos por el momento, la multiplexación de un número elevado de portadoras sólo es viable mediante acopladores, aunque la situación puede cambiar en un futuro próximo si se consiguen industrializar conceptos nuevos de multiplexores hasta ahora sólo probados en laboratorio. En cualquier caso, los acopladores permiten una canalización tan densa como se requiera, mientras que en un futuro previsible no parece razonable esperar multiplexores con canalizaciones inferiores a 2nm. Por otra parte, el principal problema de los acopladores, sus pérdidas de inserción, se corrige fácilmente con amplificadores ópticos.