

PANTALLAS LED

Tecnología, configuración y operación

Proyecto Helios

Proyecto de innovación e investigación aplicada y transferencia del conocimiento en la Formación Profesional, desarrollada en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - Financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



1. Introducción: importancia de las pantallas LED en el sector audiovisual.

En las últimas décadas, las pantallas LED han experimentado una evolución que las ha convertido en uno de los elementos más importantes dentro del sector audiovisual, tanto en el ámbito del espectáculo como en el de los eventos corporativos. Lo que inicialmente era una tecnología limitada y de alto coste, utilizada principalmente en publicidad exterior, ha pasado a ser una herramienta imprescindible en cualquier producción visual de gran formato. Este cambio ha sido posible gracias a mejoras en la eficiencia energética, la resolución, la modularidad y la capacidad de integración con otros sistemas audiovisuales.

En la actualidad, las pantallas LED no solo cumplen una función informativa o decorativa, sino que se han integrado completamente en el lenguaje escénico. En eventos corporativos, permiten reforzar la comunicación visual, adaptar contenidos en tiempo real y trabajar con formatos personalizados que mejoran la experiencia del espectador. En espectáculos en directo, su papel es aún más relevante: la pantalla LED se convierte en el fondo escénico, en el elemento narrativo y en muchos casos en la propia arquitectura del escenario. Esta transformación ha hecho que tecnologías como la proyección tradicional queden relegadas a usos muy específicos.

Desde el punto de vista técnico y de producción, el uso de pantallas LED ha crecido de forma exponencial. Actualmente, en grandes conciertos y festivales es habitual trabajar con superficies LED que superan los **1.000 m²**, e incluso existen ejemplos extremos como pantallas de más de **4.000 m² en giras internacionales** ([ViboLED](#)). A nivel global, las instalaciones más grandes del mundo superan los **10.000 m²**, como ocurre en espacios inmersivos tipo cúpula o fachadas urbanas ([UNIT LED](#)). Estos datos permiten entender la escala que ha alcanzado esta tecnología.

1.1 Impacto en la industria y dimensión de los montajes.

El uso de pantallas LED implica despliegues técnicos de gran complejidad. En una producción de gran formato —como un festival o una gira internacional— pueden intervenir entre **50 y 150 profesionales**, dependiendo del tamaño del montaje.

Dentro de este equipo, el departamento de vídeo suele incluir:

- Técnicos de sistema LED
- Operadores de media server
- Especialistas en procesamiento de vídeo
- Técnicos de redes y distribución de señal
- Técnicos de mantenimiento y reparación

A estos se suman equipos de *rigging*, electricidad, producción y logística, lo que convierte el montaje de pantallas LED en una operación multidisciplinar.

Además, la modularidad de los sistemas permite construir pantallas de prácticamente cualquier tamaño y forma. Los cabinets estándar (por ejemplo, 500×500 mm o 500×1000 mm) se combinan para crear superficies adaptadas a cada escenario ([LEGIDATECH](#)). Esta flexibilidad es clave en el desarrollo de diseños escénicos personalizados.

1.2 Competencias del técnico audiovisual en sistemas LED

El técnico que trabaja con pantallas LED debe poseer un perfil altamente especializado, ya que interviene en diferentes fases del proceso técnico. Entre las competencias fundamentales destacan:

Competencias técnicas

- Comprensión de la electrónica LED (drivers, PWM, señal digital)
- Conocimiento del flujo de señal audiovisual
- Manejo de sistemas de control (NovaStar, Brompton, etc.)
- Configuración de pantallas (mapping, resolución, calibración)
- Conocimientos de redes (Ethernet, fibra óptica, protocolos)

Competencias estructurales

- Interpretación de cargas y sistemas de rigging
- Montaje de estructuras y ensamblaje de cabinets

- Seguridad en trabajos en altura

Competencias operativas

- Operación de media servers
- Gestión de contenido en directo
- Resolución de incidencias en tiempo real

Competencias transversales

- Trabajo en equipo en entornos de alta presión
- Capacidad de planificación y organización
- Comunicación con otros departamentos (iluminación, sonido, producción)

1.3 Flujo de trabajo en un montaje de pantallas LED

El uso de pantallas LED dentro de un evento o espectáculo sigue un flujo de trabajo claramente definido, que se divide en varias fases:

1. Diseño

En esta fase se define el tamaño y resolución de la pantalla, el tipo de pixel pitch, la disposición estructural (plana, curva, 3D) y la integración con el diseño escénico. También se planifica la distribución de señal, la potencia eléctrica y el sistema de control.

2. Preproducción

Se realiza la configuración inicial del sistema, el diseño de contenido audiovisual, la preparación de media servers y la simulación del mapping.

3. Montaje

Se lleva a cabo la instalación de estructuras (rigging o ground support), el montaje de cabinets, el cableado de señal y alimentación y la instalación de controladores y procesadores.

4. Configuración

Se cargan de archivos de configuración, se realiza el mapping de la pantalla, el ajuste de resolución y señal y la calibración de color y brillo.

5. Operación

Se lanza el contenido en directo, se supervisa el sistema y se resuelven las incidencias.

6. Desmontaje

Se desinstalan y revisan los equipos y se prepara el transporte.

1.4 Ejemplos reales de uso en espectáculos

Para entender mejor la importancia de las pantallas LED, es fundamental analizar casos reales:

Gira internacional (ejemplo: grandes tours actuales)

En giras internacionales de gran formato se utilizan pantallas gigantes que pueden superar los **4.000 m²**, con resoluciones de cientos de millones de píxeles ([ViboLED](#)). Estas pantallas suelen incluir:

- estructuras curvas o envolventes
- integración con iluminación y efectos
- sistemas redundantes de señal

Además, se diseñan para montaje y desmontaje rápido, ya que forman parte de giras itinerantes.

Festival (ejemplo: grandes festivales europeos)

En festivales de música, es habitual utilizar:

- pantalla principal de gran formato (backdrop)
- pantallas laterales IMAG
- pixel pitch entre P3.9 y P6 según distancia

Las dimensiones pueden alcanzar fácilmente los **20–40 metros de ancho**, adaptándose al tamaño del escenario y del público ([TOP dance LED](#)).

Evento corporativo (ejemplo: congresos o lanzamientos)

En eventos corporativos se utilizan pantallas LED de menor tamaño pero mayor resolución:

- pitches entre P1.5 y P2.6
- formatos panorámicos o personalizados
- integración con presentaciones y vídeo

Estas pantallas permiten una comunicación visual clara incluso a corta distancia, algo difícil de lograr con proyección tradicional.

1.5 Conclusión

Las pantallas LED han transformado el sector audiovisual en todos sus niveles: tecnológico, económico y creativo. Su capacidad para adaptarse a cualquier entorno, su escalabilidad y su integración con otros sistemas las convierten en el elemento central de la producción visual moderna.

Para los futuros técnicos audiovisuales, comprender esta tecnología no es opcional, sino esencial. El dominio de los sistemas LED implica no solo conocer su funcionamiento, sino entender cómo se integran dentro de un flujo de trabajo profesional complejo, donde cada decisión técnica influye directamente en el resultado final del espectáculo.

2. Fundamentos físicos y electrónicos del LED

2.1 Antecedentes y evolución tecnológica del LED

El diodo emisor de luz (LED, *Light Emitting Diode*) tiene su origen en el estudio de los semiconductores a principios del siglo XX. El fenómeno de la electroluminiscencia fue observado por primera vez en 1907 por H. J. Round, pero no fue hasta la década de 1960 cuando se desarrollaron los primeros LEDs prácticos. En 1962, Nick Holonyak creó el primer LED visible (rojo), considerado el precursor de los dispositivos actuales.

Durante las décadas siguientes, el desarrollo de nuevos materiales semiconductores permitió ampliar el espectro de emisión, incorporando LEDs verdes, amarillos y finalmente azules en los años 90. Este último avance fue especialmente relevante, ya que permitió la creación de LEDs blancos mediante la combinación de azul con fósforos, lo que abrió la puerta a aplicaciones de iluminación y visualización.

La evolución hacia aplicaciones audiovisuales comenzó con los primeros paneles de LEDs discretos, donde cada píxel estaba formado por diodos individuales. Sin embargo, la verdadera revolución llegó con la tecnología SMD (Surface Mounted Device), que permitió integrar los subpíxeles RGB en un único encapsulado, facilitando la miniaturización y aumentando la resolución de las pantallas.

En la actualidad, la tecnología LED ha alcanzado un nivel de madurez que permite su uso en aplicaciones de alta exigencia, como pantallas de gran formato, producción virtual y sistemas de visualización inmersiva. Además, se están desarrollando nuevas tecnologías como MicroLED, que prometen mejorar aún más la eficiencia, el contraste y la durabilidad.

2.2 Principio físico de funcionamiento: electroluminiscencia

El LED es un dispositivo semiconductor basado en una unión PN. Esta unión está formada por dos regiones de material dopado:

- Región tipo N: con exceso de electrones
- Región tipo P: con exceso de huecos

Cuando se aplica una tensión directa al dispositivo, los electrones de la región N y los huecos de la región P se desplazan hacia la unión. En esta zona, se produce la recombinación de portadores de carga, liberando energía en forma de fotones. Este fenómeno se denomina **electroluminiscencia**.

La energía del fotón emitido (y por tanto el color de la luz) depende del *bandgap* del material semiconductor. Diferentes materiales producen diferentes longitudes de onda:

- GaAs → infrarrojo
- GaAsP → rojo / amarillo
- GaP → verde
- InGaN → azul

En pantallas LED, se utilizan combinaciones de estos materiales para generar los tres colores primarios (RGB). La mezcla aditiva de estos colores permite reproducir prácticamente cualquier color visible.

2.3 Estructura del píxel y subpíxeles RGB

En una pantalla LED, el píxel es la unidad mínima de imagen y está formado por tres subpíxeles:

- Rojo (R)
- Verde (G)
- Azul (B)

Cada subpíxel es un LED independiente controlado electrónicamente. La combinación de intensidades de estos tres elementos permite generar una amplia gama cromática mediante mezcla aditiva.

En tecnologías modernas (SMD), los tres subpíxeles se integran en un único encapsulado montado sobre una PCB. Esto presenta varias ventajas:

- Mayor densidad de píxeles
- Mejor ángulo de visión
- Mayor uniformidad de color
- Reducción del tamaño del módulo

La disposición física de los píxeles en la placa y la precisión en su fabricación son factores críticos para garantizar la calidad de imagen, especialmente en pantallas de alta resolución.

2.4 Control de brillo: modulación PWM

El control de la intensidad luminosa en pantallas LED no se realiza variando la tensión de forma analógica, sino mediante **modulación por ancho de pulso (PWM)**. Este sistema consiste en encender y apagar el LED a alta frecuencia, variando el tiempo que permanece encendido dentro de cada ciclo.

Por ejemplo:

- 100% de brillo → LED encendido todo el ciclo
- 50% de brillo → LED encendido la mitad del ciclo
- 10% de brillo → LED encendido un 10% del tiempo

Este método presenta ventajas clave:

- Mantiene constante el color (no hay variación espectral)

- Permite alta precisión en niveles de brillo
- Facilita la sincronización entre píxeles

En sistemas profesionales, la profundidad de color puede alcanzar **14–16 bits por canal**, lo que permite representar miles de niveles de intensidad por cada subpíxel. Esto se traduce en una reproducción de color más suave y realista.

2.5 Drivers LED y control electrónico

El control de los LEDs se realiza mediante circuitos integrados denominados **drivers LED**. Estos componentes son responsables de:

- Regular la corriente que circula por cada LED
- Gestionar la modulación PWM
- Sincronizar la activación de los píxeles
- Evitar variaciones de brillo y color

Los drivers trabajan en conjunto con las tarjetas receptoras, que reciben los datos digitales y los convierten en señales de control. Cada driver puede controlar múltiples canales (subpíxeles), organizados en matrices.

En pantallas LED se utiliza un sistema de **multiplexado**, en el que los LEDs no se activan todos simultáneamente, sino en grupos (líneas o columnas). Este sistema reduce el consumo energético y simplifica el diseño del circuito, pero requiere una sincronización muy precisa para evitar artefactos visuales.

Parámetros importantes de los drivers:

- Corriente constante (para estabilidad de brillo)
- Frecuencia de refresco
- Profundidad de bits
- Linealidad de la señal

2.6 Frecuencia de refresco y escaneo

La frecuencia de refresco es uno de los parámetros más importantes en pantallas LED, especialmente en aplicaciones audiovisuales profesionales. Define el número de veces por segundo que la imagen se actualiza.

En pantallas LED modernas, los valores típicos son:

- 1920 Hz → estándar básico
- 3840 Hz → uso profesional
- 7680 Hz → aplicaciones de alto nivel (broadcast, cine)

Una frecuencia de refresco baja puede provocar flicker (parpadeo), especialmente visible en cámaras debido a la interacción con la velocidad de obturación.

Además, el sistema de escaneo (scan rate) define cómo se activan los píxeles:

- 1/4 scan
- 1/8 scan
- 1/16 scan

Cuanto mayor es el ratio de escaneo, menor es el consumo, pero también menor el brillo efectivo y la estabilidad de la imagen.

2.7 Parámetros técnicos fundamentales en pantallas LED

Para comprender el funcionamiento y seleccionar correctamente una pantalla LED en un entorno profesional, es imprescindible conocer y manejar una serie de parámetros técnicos. Estos parámetros describen el comportamiento visual, eléctrico y físico del sistema, y permiten evaluar su idoneidad en función de la aplicación (interior, exterior, broadcast, eventos, etc.).

A continuación se definen los principales parámetros agrupados en tres categorías: visuales, eléctricos y físicos.

2.7.1 Parámetros visuales y de imagen

◆ *Pixel pitch (mm)*

El **pixel pitch** es la distancia, medida en milímetros, entre el centro de dos píxeles adyacentes. Este parámetro determina directamente la densidad de píxeles de la pantalla. A menor pixel pitch, mayor resolución y definición. A mayor pixel pitch, menor resolución pero mayor distancia de visualización

Es uno de los factores más importantes en el diseño de una pantalla, ya que condiciona tanto la calidad de imagen como el coste del sistema.

◆ Resolución (px)

La **resolución** es el número total de píxeles que componen la pantalla, expresado en horizontal × vertical (por ejemplo, 1920 × 1080).

Define la cantidad de información visual que puede mostrar la pantalla. En sistemas LED, la resolución no es fija, sino que depende del número de cabinets y del pixel pitch.

◆ Brillo (nits)

El **brillo** se mide en nits (candelas por metro cuadrado, cd/m²) y representa la cantidad de luz que emite la pantalla.

- Interior: 800 – 1500 nits
- Exterior: 3000 – 6000+ nits

Un mayor brillo permite una mejor visibilidad en condiciones de alta iluminación ambiental, como exteriores o escenarios con focos intensos.

◆ Frecuencia de refresco (Hz)

La **frecuencia de refresco** indica cuántas veces por segundo se actualiza la imagen en la pantalla.

Valores típicos:

- 1920 Hz → estándar
- 3840 Hz → profesional
- 7680 Hz → broadcast / cine

Es especialmente importante en grabación con cámara, ya que evita el efecto flicker.

◆ *Profundidad de color (bits)*

La **profundidad de color** define el número de niveles de intensidad que puede representar cada subpíxel (R, G, B).

- 8 bits → 256 niveles
- 10 bits → 1024 niveles
- 14–16 bits → uso profesional

Una mayor profundidad permite transiciones más suaves y una mejor reproducción cromática.

◆ *Ángulo de visión (°)*

El **ángulo de visión** es el rango angular desde el cual la imagen puede visualizarse sin pérdida significativa de brillo o color.

- Horizontal y vertical (por ejemplo, 140° / 140°)

Es especialmente importante en pantallas de gran formato donde el público se distribuye en diferentes posiciones.

2.7.2 Parámetros eléctricos

◆ *Consumo máximo (W/m^2)*

El **consumo máximo** es la potencia eléctrica que puede consumir la pantalla en condiciones de brillo máximo.

- Se utiliza para dimensionar la instalación eléctrica
- Representa el peor escenario de consumo

◆ Consumo medio (W/m^2)

El **consumo medio** es el consumo habitual durante el uso real, normalmente inferior al máximo.

- Depende del contenido (colores, brillo)
- Suele ser entre el 30% y el 60% del máximo

Es más representativo del consumo real durante un espectáculo.

◆ Voltaje de operación (V)

Es la tensión eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema.

- Habitualmente 100–240V AC en entrada
- Conversión interna a tensiones DC (5V, 3.3V, etc.)

Es importante para la compatibilidad con la red eléctrica y la seguridad del sistema.

◆ Corriente constante en drivers

Los LEDs funcionan con **drivers de corriente constante**, lo que garantiza:

- estabilidad de brillo
- uniformidad de color
- protección del LED

Este parámetro es crítico en el diseño electrónico, aunque no siempre aparece como especificación directa.

2.7.3 Parámetros físicos y ambientales

◆ Grado de protección (IP)

El **grado IP (Ingress Protection)** indica el nivel de protección frente a polvo y agua.

Ejemplos:

- IP20 → interior
- IP65 → exterior (resistente a lluvia)

Es fundamental para determinar si una pantalla puede utilizarse en exteriores.

◆ *Temperatura de operación (°C)*

Define el rango de temperaturas en el que la pantalla puede funcionar correctamente.

- Ejemplo: -10°C a +50°C

Fuera de este rango pueden producirse fallos o degradación del sistema.

◆ *Sistema de disipación térmica*

Las pantallas LED generan calor, especialmente en altas luminancias. La disipación puede ser:

- pasiva (convección natural)
- activa (ventiladores)

Una mala disipación afecta al rendimiento y a la vida útil.

◆ *Peso (kg/m²)*

El peso por metro cuadrado es un parámetro clave en el diseño estructural.

- Influye en el rigging
- Determina cargas en truss y motores

◆ Dimensiones de cabinet (mm)

Las dimensiones estándar de los cabinets (por ejemplo, 500×500 mm o 500×1000 mm) determinan:

- modularidad del sistema
- facilidad de montaje
- resolución final.

2.8 Conclusión técnica del sistema LED

El LED, aunque aparentemente simple como dispositivo individual, se convierte en un sistema extremadamente complejo cuando se integra en pantallas de gran formato. La combinación de física de semiconductores, electrónica digital, control de señal y diseño estructural da lugar a una tecnología altamente sofisticada que requiere conocimientos técnicos avanzados para su correcta utilización.

Para el técnico audiovisual, comprender estos fundamentos no es solo una cuestión teórica, sino una herramienta esencial para diagnosticar problemas, optimizar configuraciones y garantizar la calidad del sistema en condiciones reales de trabajo.

3. Pixel pitch, resolución y percepción visual en pantallas LED

3.1 Definición de pixel pitch

Es la distancia medida en milímetros entre el centro geométrico de dos píxeles consecutivos. Este parámetro determina la densidad de píxeles por unidad de superficie, la resolución de la pantalla para un tamaño determinado y la distancia óptima de visualización

Densidad de píxeles

La densidad de píxeles (px/m²) se puede calcular a partir del pixel pitch:

$$\text{Densidad} = 1 / (\text{pixel pitch en metros})^2$$

Si el pixel pitch es 2 mm, la inversa del cuadrado es 250000 píxeles/ m², si aumenta a 2,6 mm es 147929 píxeles/ m².

3.2 Clasificación de pantallas según pixel pitch

Las pantallas LED se clasifican en función del pixel pitch, ya que este determina su aplicación:

◆ Ultra alta resolución (fine pitch)

- P0.7 – P2
- Uso: interior, broadcast, corporativo
- Alta densidad de píxeles
- Distancias cortas (1–3 m)

◆ Resolución media

- P2.5 – P4
- Uso: eventos, escenarios medianos
- Compromiso entre calidad y coste

◆ Baja resolución (exterior)

- P4.8 – P10+
- Uso: festivales, estadios
- Alta luminosidad
- Grandes distancias de visión

3.3 Resolución en pantallas LED

La resolución de una pantalla LED se define como el número total de píxeles en horizontal y vertical.

Resolución horizontal = ancho físico / pixel pitch

Resolución vertical = alto físico / pixel pitch

Si una pantalla tiene 10 m de ancho y 5 m de alto, su resolución horizontal es 4000 px y su resolución vertical 2000 px, o lo que es lo mismo, su resolución total es 4000 X 2000 px.

Las pantallas LED no están limitadas a resoluciones estándar (Full HD, 4K), lo que implica escalar en el procesador de vídeo para el uso de resoluciones personalizadas y la adaptación del contenido al diseño escénico.

3.4 Relación entre pixel pitch, resolución, tamaño y distancia de visualización

Aunque la distancia de visualización óptima tiene condicionantes subjetivos, se pueden establecer fácilmente los factores relevantes que influyen en esta decisión. En primer lugar, el pixel pitch. La distancia mínima de visualización de una pantalla LED equivaldría en metros al pixel pitch en mm. . La distancia óptima estaría entre el doble y el triple de ésta y la distancia máxima sería 30 veces la mínima.

De este modo, evitamos el pixelado que podría darse en el caso de una distancia demasiado corta o la integración excesiva en distancias muy largas. Esto está asociado a la resolución, ya que aumentar esta especificación requiere menor pixel pitch y, por tanto, menor distancia de visualización.

También debemos tener en cuenta que una pantalla de mayor tamaño incrementará necesariamente la resolución y el consumo, a menos que se reduzca el pixel pitch.

Para conciertos y festivales se utilizan habitualmente pantallas de grandes dimensiones con pixel pitch grande, entre 3.9 y 10, con brillos altos. En el otro extremo, para una pantalla broadcast utilizaríamos una pantalla con el píxel pitch pequeño, entre 0.9 y 2, lo que permite su utilización con cámaras sin parpadeos en tomas de corta distancia.

Debe tenerse en cuenta que el uso de pixel pitch reducido implica, mayor consumo energético, mayor complejidad electrónica, mayor coste y menor robustez en algunos casos. En el otro extremos, el uso de pitches grandes implican menor resolución mayor visibilidad a distancia y mayor eficiencia.

4. Tecnologías de encapsulado LED.

4.1 Introducción.

En el contexto de las pantallas LED, el término **tecnología LED** no hace referencia únicamente al material semiconductor que emite luz, sino al **conjunto de procesos de encapsulado, integración electrónica y montaje sobre sustrato** que determinan el comportamiento óptico, térmico, mecánico y eléctrico del sistema.

El **encapsulado LED** es el proceso mediante el cual el chip semiconductor — responsable de la emisión de luz— es protegido, conectado eléctricamente y preparado para su integración en un circuito. Este encapsulado define características fundamentales del dispositivo, como la distribución angular de la luz (patrón de emisión), la eficiencia luminosa, la disipación térmica, la resistencia mecánica y la estabilidad cromática.

En pantallas LED, la tecnología de encapsulado determina directamente la viabilidad de alcanzar determinados valores de pixel pitch, brillo, ángulo de visión y durabilidad. Por este motivo, la evolución de estas tecnologías ha sido.

4.2 Tecnología DIP (Dual In-line Package)

La tecnología DIP (Dual In-Line Package) constituye uno de los formatos de encapsulado más tradicionales y ampliamente utilizados en la industria de los circuitos integrados. Este tipo de encapsulado se caracteriza por presentar dos hileras paralelas de pines metálicos que se extienden desde el cuerpo del componente, lo que facilita su inserción en placas de circuito impreso mediante orificios pasantes. Su diseño responde a la necesidad de lograr una conexión estable, accesible y relativamente sencilla tanto para procesos de ensamblaje manual como automatizado, especialmente en etapas iniciales del desarrollo de la electrónica moderna.

En cuanto a su definición y estructura, el encapsulado DIP se compone de un cuerpo rectangular, generalmente fabricado en material plástico o cerámico, que alberga el circuito integrado. De este cuerpo emergen los pines dispuestos en dos filas paralelas, con una separación estandarizada que permite su compatibilidad con zócalos y placas perforadas. Esta configuración no solo facilita la manipulación del componente, sino que también posibilita su reemplazo sin necesidad de soldadura permanente cuando se emplean zócalos, lo cual resulta especialmente útil en entornos de prueba y prototipado.

Desde el punto de vista de sus características técnicas, el formato DIP ofrece diversas ventajas. Entre ellas, destaca su facilidad de uso en procesos de montaje y mantenimiento, así como su robustez mecánica, que contribuye a una mayor durabilidad frente a manipulaciones repetidas. Asimismo, su diseño favorece una correcta disipación térmica en comparación con encapsulados más compactos, lo que puede resultar beneficioso en aplicaciones de baja y media complejidad. Además, la disposición visible y accesible de los pines simplifica las tareas de inspección, diagnóstico y reparación.

No obstante, el encapsulado DIP presenta también ciertas limitaciones que han motivado la evolución hacia tecnologías más avanzadas. Su principal desventaja radica en el mayor espacio que ocupa en la placa de circuito impreso, lo que restringe la densidad de componentes en diseños modernos donde la miniaturización es un factor clave. Asimismo, la longitud de sus pines puede introducir mayores inductancias y capacitancias parásitas, afectando el rendimiento en aplicaciones de alta frecuencia. Estas limitaciones han propiciado la adopción de encapsulados de montaje superficial, más compactos y eficientes, en la mayoría de los dispositivos electrónicos contemporáneos.

4.3 Tecnología SMD (Surface Mounted Device)

La tecnología SMD (Surface Mounted Device) constituye en la actualidad el estándar predominante en el desarrollo de pantallas LED destinadas a eventos y espectáculos, debido a su capacidad para integrar múltiples funciones en un formato compacto y eficiente. Este enfoque se basa en el montaje directo de los componentes sobre la superficie de la placa de circuito impreso (PCB), lo que permite optimizar tanto el espacio como el rendimiento del sistema.

En lo que respecta a su definición y principio de integración, la tecnología SMD se caracteriza por la incorporación de los tres subpíxeles fundamentales —rojo, verde y azul (RGB)— dentro de un único encapsulado. Este encapsulado se fija directamente sobre la superficie de la PCB mediante procesos de montaje superficial, eliminando la necesidad de perforaciones en la placa. Internamente, el dispositivo alberga tres chips emisores correspondientes a cada color primario, los cuales se encuentran interconectados mediante técnicas de *wire bonding*. Todo el conjunto está protegido por una resina translúcida que, además de brindar protección física, cumple funciones ópticas relevantes. Finalmente, el encapsulado dispone de terminales de contacto diseñados específicamente para su soldadura superficial, lo que facilita su integración en procesos de fabricación automatizados.

Desde el punto de vista técnico, una de las principales ventajas de la tecnología SMD radica en su elevada densidad de integración, lo que posibilita la reducción del pixel pitch a valores muy pequeños, típicamente comprendidos entre P0.9 y P5. Esta característica resulta clave para lograr resoluciones más altas y una mejor calidad de imagen en aplicaciones donde la proximidad del espectador es significativa.

Asimismo, estos dispositivos ofrecen un amplio ángulo de visión, que puede alcanzar entre 140° y 160°, permitiendo una correcta visualización desde distintas posiciones. A ello se suma una notable uniformidad cromática, derivada de la proximidad física de los subpíxeles dentro de un mismo encapsulado, así como su plena compatibilidad con procesos de fabricación automatizada mediante tecnología SMT, lo que favorece la eficiencia productiva y la consistencia en la calidad.

En cuanto a su comportamiento óptico, la resina que encapsula los chips emisores desempeña un papel fundamental al actuar como un difusor de la luz. Esta propiedad contribuye a una distribución más homogénea de la emisión luminosa, mejorando significativamente la mezcla de los colores primarios y reduciendo la percepción de discontinuidades entre píxeles. Como resultado, se obtiene una mayor uniformidad visual y una experiencia de visualización más consistente desde diferentes ángulos de observación.

No obstante, pese a sus múltiples ventajas, la tecnología SMD presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. Entre ellas, destaca una menor resistencia mecánica frente a impactos en comparación con otros tipos de encapsulado, lo que puede afectar su durabilidad en entornos exigentes. Además, estos dispositivos son más sensibles a factores ambientales como la humedad y la contaminación, lo que puede incidir en su rendimiento a largo plazo. Finalmente, existe un mayor riesgo de que fallos individuales resulten visualmente perceptibles, dado que cada encapsulado integra los tres subpíxeles, lo que puede comprometer la uniformidad de la imagen en caso de defectos localizados.

4.4 Tecnología COB (Chip On Board)

La tecnología COB (Chip On Board) representa un enfoque avanzado en la integración de dispositivos LED, caracterizado por la eliminación del encapsulado individual de cada diodo. En lugar de emplear encapsulados discretos, los chips emisores se montan directamente sobre la superficie de la placa de circuito impreso (PCB), lo que permite una integración más compacta y eficiente. En este sistema, los chips LED se fijan directamente a la PCB y se interconectan mediante técnicas de *wire*

bonding. Posteriormente, el conjunto se recubre con una capa protectora común que cumple funciones tanto mecánicas como ópticas, generando una superficie emisora continua y homogénea.

Desde el punto de vista tecnológico, la principal ventaja de la tecnología COB radica en su capacidad para alcanzar una densidad de integración significativamente superior a la de otros sistemas, lo que posibilita la obtención de *pixel pitch* extremadamente reducidos, incluso por debajo de P1. Esta característica resulta fundamental en aplicaciones que requieren altas resoluciones y una excelente calidad de imagen a corta distancia. Asimismo, la disposición directa de los chips sobre la PCB favorece una disipación térmica más eficiente, ya que el calor generado se transfiere de manera más directa al sustrato, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento y mejorando la estabilidad del sistema.

Otro aspecto relevante es su mayor robustez mecánica. Al no contar con encapsulados individuales susceptibles de desprenderse o dañarse, el conjunto presenta una mayor resistencia frente a impactos y condiciones adversas. A ello se suma una notable uniformidad óptica, derivada de la capa protectora común que recubre todos los chips emisores, la cual actúa como una superficie continua que homogeniza la emisión de luz y mejora la calidad visual global.

No obstante, la tecnología COB también presenta ciertas limitaciones que deben considerarse en su implementación. En primer lugar, su proceso de fabricación es más complejo, ya que requiere técnicas de ensamblaje y control más precisas. Además, la reparación resulta más difícil en comparación con tecnologías modulares, dado que no es posible sustituir fácilmente un LED individual sin afectar al conjunto. Finalmente, estos factores, junto con la sofisticación del proceso productivo, se traducen en un coste más elevado, lo que puede limitar su adopción en aplicaciones sensibles al presupuesto.

4.5 Tecnología GOB (Glue On Board)

La tecnología GOB (Glue On Board) se configura como una evolución de los sistemas basados en SMD, orientada a mejorar la protección y durabilidad de los módulos LED mediante la incorporación de una capa adicional de recubrimiento. En esencia, este enfoque consiste en aplicar una resina transparente sobre una matriz de LEDs SMD previamente ensamblada en la placa de circuito impreso, generando una barrera física continua que recubre todos los componentes.

Desde el punto de vista conceptual, esta capa de resina cumple múltiples funciones simultáneamente. En primer lugar, actúa como un elemento de protección mecánica, aumentando la resistencia del conjunto frente a impactos, vibraciones y manipulaciones externas. Asimismo, constituye una barrera eficaz contra agentes ambientales como la humedad y el polvo, contribuyendo a mejorar los niveles de protección del sistema, frecuentemente asociados a clasificaciones IP más elevadas. Además, esta capa no solo protege, sino que también introduce un componente óptico adicional que influye en la forma en que la luz es emitida y percibida.

En términos de propiedades técnicas, la tecnología GOB destaca por su elevada resistencia en condiciones adversas, lo que la convierte en una solución especialmente adecuada para aplicaciones en exteriores o en entornos exigentes. La presencia de la resina incrementa significativamente la durabilidad del sistema, reduciendo la probabilidad de fallos derivados de factores ambientales o mecánicos. Esta mejora en la robustez se traduce en una mayor vida útil y en una disminución de los requerimientos de mantenimiento.

No obstante, la incorporación de esta capa protectora tiene implicaciones relevantes en el comportamiento óptico del sistema. La resina modifica, aunque de manera sutil, fenómenos como la refracción de la luz, el contraste de la imagen y la percepción de nitidez. Estas variaciones pueden afectar la calidad visual si no se gestionan adecuadamente, por lo que el diseño y la formulación del recubrimiento deben optimizarse cuidadosamente para equilibrar la protección mecánica con el rendimiento óptico deseado.

4.6 Tecnología MicroLED

La tecnología MicroLED se posiciona como la evolución más avanzada dentro del ámbito de los sistemas de visualización basados en diodos emisores de luz, destacándose por su capacidad para ofrecer un rendimiento superior tanto en términos de calidad de imagen como de eficiencia. A diferencia de las tecnologías convencionales, en este enfoque cada subpíxel está constituido por un LED de dimensiones microscópicas, lo que elimina la necesidad de encapsulados tradicionales. Estos diminutos dispositivos se integran directamente sobre el sustrato, permitiendo una arquitectura más compacta y precisa, orientada a maximizar la densidad de píxeles y la fidelidad visual.

En cuanto a sus características fundamentales, la tecnología MicroLED sobresale por su elevada eficiencia energética, derivada de la naturaleza emisiva directa de cada

subpíxel, lo que reduce pérdidas asociadas a filtros o retroiluminación. Asimismo, ofrece un contraste extremadamente alto, ya que permite la obtención de negros reales mediante el apagado completo de los píxeles individuales. A esto se suma una alta capacidad de luminancia, lo que posibilita su uso en entornos con elevada iluminación ambiental sin comprometer la visibilidad. Otro aspecto relevante es su respuesta temporal ultrarrápida, que minimiza el desenfoque de movimiento y mejora la reproducción de contenido dinámico.

Estas prestaciones hacen que la tecnología MicroLED sea especialmente adecuada para aplicaciones de alta exigencia, como pantallas de gama premium, sistemas de producción virtual y entornos inmersivos, donde la calidad visual y la precisión cromática resultan críticas. Su capacidad para adaptarse a configuraciones modulares también amplía sus posibilidades de uso en instalaciones de gran formato.

No obstante, pese a su notable potencial, la tecnología MicroLED enfrenta actualmente diversas limitaciones que dificultan su adopción masiva. Entre ellas, destaca la elevada complejidad de fabricación, especialmente en lo relativo a la manipulación y posicionamiento preciso de millones de microdispositivos. Este desafío está estrechamente vinculado con las dificultades en los procesos de transferencia masiva de chips al sustrato, que requieren tecnologías altamente sofisticadas. Como consecuencia, los costes de producción siguen siendo considerablemente altos, lo que restringe su implementación a aplicaciones específicas donde el presupuesto no constituye una limitación determinante.

4.7 Comparativa.

Tecnología	Resolución	Robustez	Brillo	Uso principal
DIP	Baja	Muy alta	Muy alto	Exterior
SMD	Media-Alta	Media	Alto	Eventos
COB	Muy alta	Alta	Medio-Alto	Interior premium
GOB	Media-Alta	Muy alta	Alto	Alquiler
MicroLED	Máxima	Alta	Muy alto	Futuro / high-end

5. Arquitectura del sistema LED

5.1 Introducción: la pantalla LED como sistema distribuido

Una pantalla LED profesional debe entenderse como un sistema electrónico distribuido en el que múltiples subsistemas cooperan para generar una única imagen coherente en tiempo real. A diferencia de otros sistemas de visualización, donde el procesamiento de la señal se realiza de forma centralizada, en las pantallas LED el procesamiento se reparte entre múltiples nodos electrónicos, cada uno de los cuales controla una parte de la imagen.

Este modelo de arquitectura distribuida permite escalar el sistema a grandes dimensiones sin que aumente de forma proporcional la complejidad del procesamiento central. Cada unidad del sistema recibe únicamente la información necesaria para representar su porción de imagen, lo que reduce la carga de datos y permite una mayor eficiencia en la transmisión y el procesamiento.

Desde el punto de vista estructural y electrónico, la pantalla LED se organiza en una jerarquía de niveles que van desde el píxel hasta el sistema completo. Esta jerarquía es fundamental para comprender el funcionamiento del sistema y para poder diseñar, configurar y mantener instalaciones de gran formato.

5.2 Estructura jerárquica del sistema LED

La arquitectura de una pantalla LED se organiza en diferentes niveles funcionales, cada uno con una función específica dentro del sistema global. Estos niveles no son independientes, sino que están estrechamente interrelacionados y forman una cadena de procesamiento continuo.

Píxel

El **píxel** es la unidad mínima de representación visual. Está compuesto por tres subpíxeles emisores de luz (rojo, verde y azul), cuya intensidad combinada permite generar el color final. Cada subpíxel es un diodo controlado electrónicamente mediante drivers de corriente constante.

El píxel no es únicamente un elemento óptico, sino también una unidad electrónica que responde a señales digitales que determinan su nivel de luminancia.

Módulo LED

El módulo LED constituye el nivel en el que se produce la conversión final de la señal eléctrica en luz visible. Desde el punto de vista electrónico, es un sistema complejo que integra dispositivos emisores, circuitos de control y sistemas de distribución de señal.

Es una unidad electrónica que agrupa un conjunto de píxeles organizados en una matriz sobre una placa de circuito impreso (PCB). Su función es actuar como unidad básica de visualización dentro del sistema.

En el módulo se integran varios elementos fundamentales:

- **Matriz de LEDs**, que constituye la superficie emisora
- **Drivers LED**, encargados de controlar la corriente y la modulación PWM. Son circuitos integrados diseñados para suministrar corriente constante a los LEDs. Este tipo de control es necesario para garantizar la estabilidad del brillo y evitar variaciones en la intensidad luminosa debido a cambios de temperatura o tensión.
- **Circuitos de escaneo**, que permiten el multiplexado de filas y columnas. El sistema de **escaneo o multiplexado** permite reducir el número de líneas de control necesarias activando los LEDs por grupos. Este proceso consiste en encender secuencialmente diferentes filas o columnas a alta velocidad. Aunque cada LED no está encendido de forma continua, la persistencia de la visión humana hace que la imagen se perciba como estable.
- **Conectores de señal y alimentación**, que permiten la integración con el resto del sistema

El módulo no procesa vídeo en sentido convencional, sino que recibe datos digitales que representan la intensidad de cada subpíxel. Estos datos son interpretados por los drivers, que activan los LEDs en función de la información recibida. La correcta sincronización entre drivers y circuitos de escaneo es esencial para evitar defectos visuales como parpadeo, pérdida de líneas o inestabilidad en la imagen.



Visión frontal y trasera de un módulo LED

Cabinet

El **cabinet** es la unidad estructural y funcional que agrupa varios módulos LED y los integra dentro de un sistema mecánico y electrónico común. Su función es proporcionar soporte físico, alimentación eléctrica y control de señal a los módulos.

Un cabinet típico incluye:

- **Estructura mecánica**, que garantiza la alineación y rigidez del conjunto
- **Fuente de alimentación (PSU)**, que convierte la corriente alterna en corriente continua estable



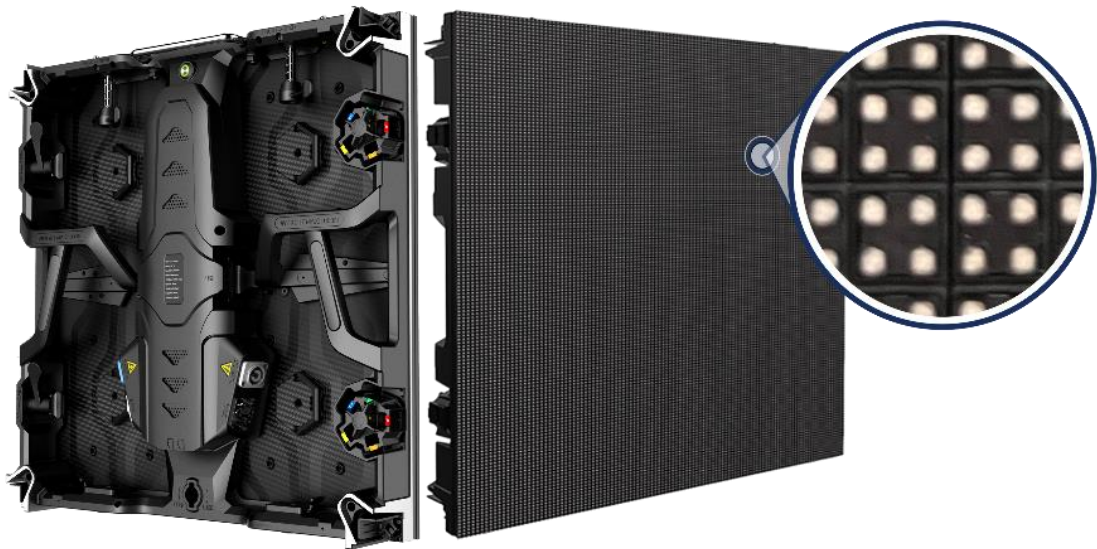
Fuente de alimentación y tarjeta receptora

- **Tarjeta receptora**, que gestiona la señal digital
- **Placa HUB**, que distribuye la señal y la energía a los módulos



Placa Hub

El cabinet actúa como un nodo dentro de la red de la pantalla, ya que recibe datos del sistema de control y los aplica a los módulos que contiene.



Visión frontal, trasera y detalle de un cabinet LED

Pantalla completa

La **pantalla LED completa** es el resultado de la interconexión de múltiples cabinets. Estos cabinets se organizan formando una superficie continua, en la que cada uno representa una parte de la imagen global.

El funcionamiento del sistema depende de la correcta sincronización entre todos los cabinets, de modo que la imagen final se perciba como un todo coherente.



Imagen trasera de una pantalla LED completa

5.3 El cabinet como nodo del sistema

El cabinet representa la unidad de integración entre los componentes electrónicos y estructurales del sistema. Su diseño debe cumplir requisitos tanto mecánicos como eléctricos.

La **fuentes de alimentación** es un elemento crítico, ya que suministra energía a todos los componentes del cabinet. Debe proporcionar una tensión estable y ser capaz de soportar variaciones de carga sin afectar al funcionamiento del sistema.

La **tarjeta receptora** es el componente más importante desde el punto de vista del control. Su función es recibir los datos digitales enviados por el sistema central, decodificarlos y distribuirlos a los módulos. Esta tarjeta determina aspectos clave como:

- La resolución máxima gestionable.
- La frecuencia de refresco.
- La profundidad de color.

La **placa HUB** actúa como interfaz entre la tarjeta receptora y los módulos, distribuyendo tanto la señal como la alimentación. Su diseño influye directamente en la fiabilidad del sistema.

5.4 Sistema de control: sending y receiving

El sistema de control se encarga de transformar la señal de vídeo en datos que puedan ser interpretados por la pantalla LED.

Sending card (tarjeta emisora)

La **tarjeta emisora** recibe la señal de vídeo desde un procesador o media server y la convierte en un flujo de datos digital estructurado. Este proceso implica fragmentación de la imagen, asignación de regiones a cada salida y sincronización de la señal.

Receiving card (tarjeta receptora)

La **tarjeta receptora** recibe los datos y los distribuye a los módulos correspondientes. Actúa como un decodificador que traduce la información digital en señales de control para los drivers LED.

Uno de los principios fundamentales de la arquitectura LED es el procesamiento paralelo. En este modelo, cada tarjeta receptora procesa una parte de la imagen de forma independiente, lo que permite distribuir la carga de trabajo. Así se reduce la latencia y se puede escalar la pantalla sin aumentar la complejidad del sistema central. Sin embargo, requiere una sincronización precisa entre todos los elementos para garantizar la coherencia de la imagen.

5.5 Sistema de alimentación distribuida

El sistema eléctrico de una pantalla LED se basa en una distribución descentralizada de la energía. Cada cabinet dispone de su propia fuente de alimentación, lo que permite repartir la carga y mejorar la fiabilidad.

No obstante, este enfoque requiere una planificación cuidadosa para evitar problemas como caídas de tensión, sobrecargas y desequilibrios en la red.

5.6 Sincronización del sistema

La sincronización en una pantalla LED es uno de los aspectos más críticos de toda la arquitectura, ya que el sistema se basa en la reconstrucción de una imagen global a partir de múltiples nodos electrónicos independientes. Cada cabinet procesa únicamente una parte de la señal, pero todos deben hacerlo de forma perfectamente coordinada en el tiempo. Cualquier desviación temporal entre ellos puede generar defectos visuales perceptibles, como desgarros de imagen (*tearing*), desalineaciones, flicker o diferencias de fase en el refresco.

Desde el punto de vista técnico, la sincronización se basa en la existencia de un **reloj de referencia (clock)** que regula el ritmo al que se actualizan los datos en todo el sistema. Este reloj puede generarse en el controlador principal (sending card o procesador) y distribuirse a través de la red de señal, o bien reconstruirse localmente en cada tarjeta receptora a partir de la señal recibida. En ambos casos, el objetivo es garantizar que todos los módulos actualicen su estado en el mismo instante.

La transmisión de datos en sistemas LED no es continua en el sentido analógico, sino que se realiza en forma de **tramas digitales sincronizadas**. Cada trama contiene la información correspondiente a un "frame" de la imagen, es decir, a un instante concreto de la señal de vídeo. Las tarjetas receptoras deben almacenar temporalmente estos datos en buffers internos y liberarlos de forma sincronizada para activar los LEDs. Este proceso se conoce como **frame buffering** y es esencial para mantener la coherencia temporal del sistema.

En aplicaciones profesionales, especialmente aquellas que implican grabación con cámara o producción en directo, la sincronización debe extenderse más allá de la propia pantalla LED. En estos casos se utilizan sistemas de sincronización externa basados en señales como **genlock** (generador de sincronismo), que permiten alinear la frecuencia de refresco de la pantalla con la frecuencia de captura de las cámaras. Esto evita fenómenos como el banding o el parpadeo en la imagen grabada, que se producen cuando existe una desincronización entre ambos sistemas.

Otro aspecto relevante es la sincronización interna del escaneo. Como se ha explicado anteriormente, los módulos LED utilizan técnicas de multiplexado, lo que implica que los píxeles se activan en secuencia y no simultáneamente. Para que la imagen sea estable, el ciclo de escaneo debe estar perfectamente alineado con la frecuencia de refresco global. Si esta sincronización falla, pueden aparecer artefactos como líneas intermitentes o variaciones de brillo.

En sistemas de gran tamaño, donde la señal se distribuye a través de múltiples rutas (Ethernet o fibra óptica), la sincronización también debe tener en cuenta las **latencias de transmisión**. Diferencias en la longitud de los cables, en los dispositivos intermedios o en la carga de la red pueden introducir retardos que, aunque sean del orden de microsegundos, pueden afectar a la coherencia de la imagen. Por ello, los sistemas profesionales implementan mecanismos de compensación de latencia que ajustan el momento de actualización de cada nodo.

En conjunto, la sincronización en una pantalla LED puede entenderse como un proceso multinivel que abarca desde la generación de la señal hasta la activación física de los LEDs. Su correcta implementación es fundamental para garantizar la estabilidad visual del sistema, especialmente en aplicaciones de alto nivel donde la precisión temporal es crítica.

5.7 Escalabilidad y modularidad

Una de las características más distintivas de las pantallas LED es su capacidad de escalar a prácticamente cualquier tamaño y configuración sin necesidad de rediseñar el sistema desde cero. Esta propiedad, conocida como **escalabilidad**, es consecuencia directa de su arquitectura modular y distribuida.



Escalado de la señal

La **modularidad** se refiere a la organización del sistema en unidades independientes —módulos y cabinets— que pueden combinarse de forma flexible. Cada una de estas unidades está diseñada para ser funcionalmente autónoma dentro del conjunto, lo que permite añadir, sustituir o reconfigurar elementos sin afectar al resto del sistema. Este enfoque facilita enormemente tanto el montaje como el mantenimiento, ya que los fallos pueden localizarse y corregirse a nivel de módulo o cabinet sin necesidad de intervenir en toda la pantalla.

Desde el punto de vista del diseño, la escalabilidad implica que la resolución total de la pantalla no está predefinida, sino que se construye a partir de la suma de las resoluciones individuales de cada cabinet. Esto permite crear superficies de visualización adaptadas a las necesidades específicas de cada evento, tanto en tamaño como en formato. Por ejemplo, es posible diseñar pantallas panorámicas, estructuras verticales, configuraciones curvas o incluso volúmenes tridimensionales, simplemente reorganizando los mismos elementos modulares.

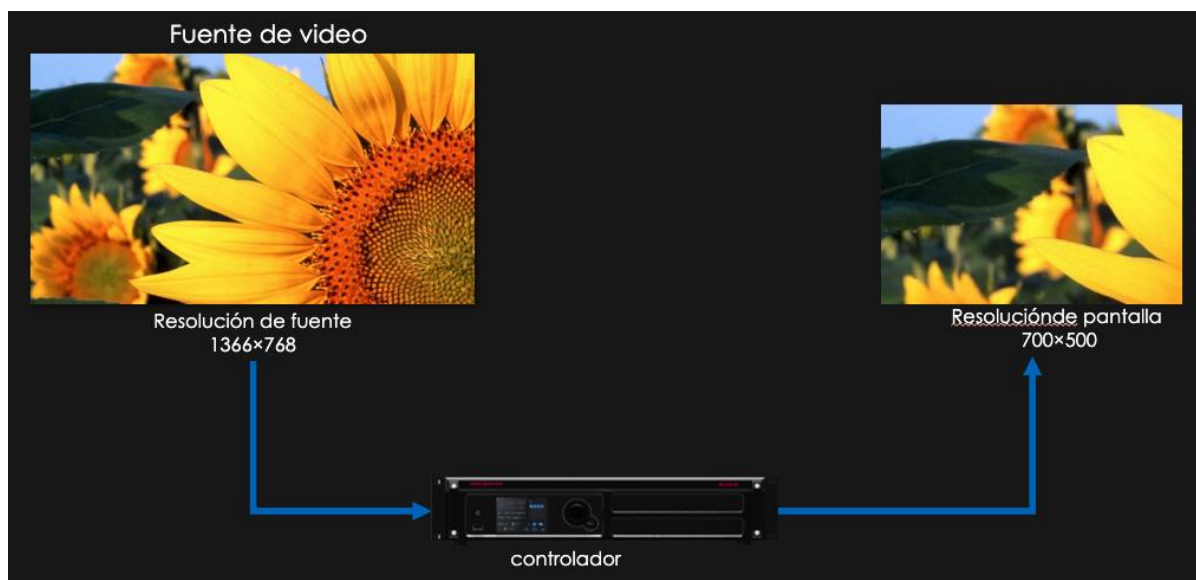
Sin embargo, esta flexibilidad también introduce una serie de desafíos técnicos. A medida que aumenta el tamaño del sistema, crece la complejidad en aspectos como la distribución de señal, la sincronización y el suministro eléctrico. Cada nuevo cabinet añadido requiere ser integrado dentro de la red de datos y del sistema de control, respetando las limitaciones de capacidad de los puertos de salida de los controladores. Esto obliga a planificar cuidadosamente la arquitectura de la señal, distribuyendo la carga de forma equilibrada entre las diferentes salidas.

En términos eléctricos, la escalabilidad implica un aumento significativo del consumo energético total. Dado que cada cabinet dispone de su propia fuente de alimentación, el sistema debe diseñarse de manera que la distribución de carga sea homogénea y que la infraestructura eléctrica sea capaz de soportar la demanda. En instalaciones de gran tamaño, esto puede requerir el uso de múltiples líneas de alimentación, sistemas de distribución trifásica y mecanismos de protección avanzados.

Otro aspecto importante es la **escalabilidad del control**, es decir, la capacidad del sistema de gestión (sending cards, procesadores, software) para manejar un número creciente de píxeles. Los controladores tienen un límite en el número de píxeles que pueden procesar, por lo que en sistemas de gran resolución es necesario utilizar múltiples controladores trabajando en paralelo. Esto introduce la necesidad de coordinar estos dispositivos para que actúen como un sistema único, manteniendo la sincronización y la coherencia de la imagen.

Finalmente, la modularidad también tiene implicaciones en la logística y el transporte. Los cabinets están diseñados con dimensiones y sistemas de anclaje estandarizados (por ejemplo, 500×500 mm o 500×1000 mm), lo que facilita su manipulación, apilado y transporte. Esta estandarización es clave en entornos de alquiler y giras, donde el tiempo de montaje y desmontaje es un factor crítico.

En definitiva, la escalabilidad y la modularidad son las características que permiten a las pantallas LED adaptarse a cualquier contexto, desde pequeñas instalaciones interiores hasta grandes escenarios de estadio. Sin embargo, su correcta implementación requiere una comprensión profunda de la arquitectura del sistema, ya que cada ampliación introduce nuevas variables que deben ser gestionadas cuidadosamente para mantener el rendimiento y la fiabilidad del conjunto.





Sistema sin escalar en la figura superior y escalado en la inferior

Conclusión.

La arquitectura de una pantalla LED es el resultado de la integración de múltiples niveles de hardware que trabajan de forma coordinada. Desde el píxel hasta el sistema completo, cada elemento cumple una función específica dentro de un modelo distribuido que permite gestionar grandes volúmenes de información en tiempo real.

6. Flujo de señal en sistemas de pantallas LED

6.1 Naturaleza de la señal en sistemas LED

En un sistema de visualización LED, la señal que finalmente controla el estado de cada píxel no es una señal de vídeo convencional, sino un conjunto de datos digitales que representan niveles de intensidad luminosa para cada subpíxel en instantes discretos de tiempo. Por tanto, el flujo de señal debe entenderse como un proceso de transformación progresiva desde una señal de vídeo rasterizada (organizada en líneas y cuadros) hacia un sistema de datos paralelos distribuidos que gobiernan directamente los drivers LED.

La señal de vídeo original se caracteriza por estar definida con los siguientes parámetros:

- Resolución espacial (número de píxeles horizontales y verticales).
- Frecuencia temporal (frames por segundo).
- Profundidad de color (bits por canal).
- Formato de muestreo (por ejemplo, RGB o YCbCr).

Sin embargo, las pantallas LED no operan directamente con este formato. En su lugar, requieren una representación de datos que permita direccionar individualmente cada subpíxel dentro de una arquitectura distribuida, teniendo en cuenta además el sistema de escaneo y multiplexado. Esto implica una conversión profunda tanto en la estructura como en el significado de la señal.

6.2 Generación de señal: rasterización y sincronización de origen

Los dispositivos generadores de señal, como media servers o sistemas de realización, producen una señal de vídeo basada en un modelo rasterizado. En este modelo, la imagen se construye línea a línea, siguiendo una secuencia temporal definida por señales de sincronismo horizontal y vertical.

Cada frame de vídeo está compuesto por una matriz de píxeles, donde cada píxel contiene información de color codificada en varios bits por canal. Por ejemplo, en un sistema de 10 bits por canal RGB, cada píxel requiere 30 bits de información.

La señal generada incluye, además de los datos de imagen, señales de sincronización que indican el inicio y el final de cada línea y de cada frame. Estas señales son fundamentales para que los dispositivos posteriores puedan reconstruir correctamente la estructura temporal de la imagen.

En entornos profesionales, es habitual trabajar con señales sincronizadas mediante sistemas de referencia externa (genlock), lo que permite alinear múltiples fuentes de vídeo dentro de un mismo entorno temporal.

6.3 Procesamiento de vídeo: transformación espacial y cromática

El procesador de vídeo constituye la primera etapa de transformación profunda de la señal. Su función no se limita a adaptar la resolución, sino que implica una serie de operaciones matemáticas y de gestión de datos que afectan directamente a la calidad final de la imagen.

Escalado (scaling)

El escalado consiste en transformar la resolución de entrada a la resolución nativa de la pantalla LED. Este proceso requiere algoritmos de interpolación, que pueden ser:

- Bilineales (rápidos, menor calidad).
- Bicúbicos (mayor calidad).
- Basados en filtros adaptativos.

El objetivo es calcular el valor de cada píxel de salida a partir de los píxeles de entrada, minimizando la pérdida de detalle y evitando artefactos como aliasing o suavizado excesivo.

Transformación de espacio de color

Las señales de vídeo pueden estar codificadas en diferentes espacios de color (por ejemplo, YCbCr en vídeo broadcast o RGB en gráficos). El sistema LED opera internamente en RGB, por lo que es necesario realizar una conversión matemática entre espacios.

Esta conversión implica operaciones matriciales que transforman los valores de luminancia y cromaticidad en componentes RGB, teniendo en cuenta además la profundidad de bits y el rango dinámico.

Corrección gamma

La relación entre la señal digital y la luminancia percibida no es lineal. Por ello, se aplica una función de corrección gamma que ajusta esta relación para que la percepción visual sea uniforme.

Matemáticamente, la luminancia de salida puede expresarse como:

$$L = V^\gamma$$

donde V es el valor digital normalizado y γ es el exponente de gamma (típicamente alrededor de 2.2).

LUTs (Look-Up Tables)

En sistemas avanzados, se utilizan tablas de consulta (LUTs) para aplicar correcciones de color, calibración y ajustes específicos. Estas tablas permiten transformar los valores de entrada en valores de salida de forma rápida, sin necesidad de cálculos en tiempo real.

6.4 Conversión a datos LED: estructura de la información

Una vez procesada, la señal de vídeo debe transformarse en un flujo de datos compatible con la arquitectura LED. Este proceso implica cambiar completamente la forma en la que se representa la información.

En lugar de trabajar con píxeles organizados en líneas, el sistema LED utiliza una representación basada en:

- Coordenadas físicas de los píxeles.
- Niveles de intensidad por subpíxel.
- Secuencias temporales de activación.

La **sending card** realiza esta transformación mediante varios procesos:

- **Fragmentación espacial:** La imagen se divide en bloques correspondientes a cada salida física del controlador. Cada bloque representa una región de la pantalla.
- **Serialización:** Los datos se convierten en un flujo secuencial de bits que puede ser transmitido a través de enlaces digitales. Este proceso implica reorganizar la información para adaptarla al protocolo de comunicación.
- **Codificación:** Los datos se codifican utilizando protocolos propietarios que incluyen información de control, sincronización y corrección de errores.

- **Asignación de direcciones:** Cada píxel o grupo de píxeles se asocia a una dirección dentro del sistema, lo que permite a las tarjetas receptoras identificar qué datos deben procesar.

6.5 Transmisión de datos: capas físicas, protocolos y sincronización de enlace

La transmisión de datos en sistemas LED constituye una etapa crítica dentro del flujo de señal, ya que implica transportar grandes volúmenes de información digital desde el sistema de control hasta las tarjetas receptoras distribuidas en la pantalla. A diferencia de los sistemas de vídeo convencionales, donde la señal mantiene una estructura rasterizada, en los sistemas LED la información se transmite en forma de paquetes de datos altamente estructurados que contienen información de intensidad luminosa, sincronización y control.

Desde el punto de vista de la ingeniería de comunicaciones, esta transmisión puede analizarse en términos de capas funcionales, similares al modelo OSI, representado en la siguiente imagen, aunque en la práctica se emplean protocolos propietarios optimizados para baja latencia y alta fiabilidad.



LAS CAPAS DEL MODELO OSI



FLUJO DE DATOS



En la **capa física**, el medio de transmisión más habitual es el cable de par trenzado basado en estándares como Cat5e o Cat6. Estos cables permiten la transmisión diferencial de señales digitales, lo que reduce la susceptibilidad a interferencias electromagnéticas. En aplicaciones de mayor escala, se emplea fibra óptica, en la que la información se transmite mediante pulsos de luz, eliminando prácticamente las pérdidas por interferencia y permitiendo alcanzar distancias de varios kilómetros sin degradación significativa de la señal.

En la **capa de enlace**, el sistema debe garantizar la integridad de los datos transmitidos. Para ello, los protocolos LED incorporan mecanismos de:

- Sincronización de reloj (clock recovery).
- Detección de errores (checksums o CRC).
- Control de flujo de datos.

Estos mecanismos aseguran que los datos lleguen correctamente a las tarjetas receptoras y que puedan ser reconstruidos sin pérdidas significativas.

Un aspecto especialmente relevante es la **sincronización de enlace**, que permite al receptor reconstruir el flujo de datos a partir de una señal serializada. Dado que los datos se transmiten a altas velocidades (del orden de cientos de Mbps o incluso Gbps), es necesario que el receptor recupere el reloj embebido en la señal para interpretar correctamente cada bit.

Además, en sistemas de gran tamaño, la señal se distribuye en topologías en cascada (daisy chain) o en estrella, lo que implica que los datos atraviesan múltiples dispositivos antes de llegar a su destino. Cada uno de estos saltos introduce una pequeña latencia que debe ser considerada en el diseño global del sistema.

6.6 Procesamiento en tarjetas receptoras: arquitectura interna y gestión de datos

Las tarjetas receptoras representan uno de los elementos más complejos del sistema, ya que actúan como interfaces entre la red de transmisión de datos y los módulos LED. Su función no se limita a recibir información, sino que implica un procesamiento activo que transforma los datos digitales en señales de control sincronizadas.

Internamente, una tarjeta receptora está compuesta por varios bloques funcionales:

Unidad de recepción y deserialización

Este bloque recibe el flujo de datos serializado y lo convierte en datos paralelos. Para ello, utiliza circuitos de recuperación de reloj que permiten sincronizar la lectura de los bits entrantes.

Unidad de decodificación

Una vez deserializados, los datos deben interpretarse según el protocolo de comunicación utilizado. Esto incluye identificar la información de píxeles, los datos de control y las señales de sincronización.

Memoria de buffer (frame buffer)

Los datos decodificados se almacenan temporalmente en memoria. Este buffer permite desacoplar la recepción de datos de su visualización, facilitando la sincronización con el sistema global. El uso de buffering introduce una latencia controlada, pero es imprescindible para garantizar que todos los píxeles se actualicen simultáneamente.

Motor de generación de señal

Este bloque genera las señales necesarias para controlar los módulos LED, incluyendo datos de intensidad, señales de reloj y señales de habilitación (latch, enable).

Control de escaneo

La tarjeta receptora coordina el proceso de multiplexado, determinando qué filas o columnas del módulo deben activarse en cada instante. Muchas tarjetas receptoras utilizan FPGAs o microcontroladores especializados, capaces de procesar datos en paralelo y con latencias muy reducidas.

6.7 Interfaz entre tarjeta receptora y módulos LED

La interfaz entre la tarjeta receptora y los módulos LED constituye una etapa crítica en la que los datos digitales se transforman en señales eléctricas utilizables por los drivers LED. Esta interfaz suele implementarse mediante buses de datos paralelos de alta velocidad, acompañados de señales de control y sincronización.

Los principales tipos de señales que se transmiten en esta interfaz son:

- **Datos de color**, que indican la intensidad de cada subpíxel
- **Señales de reloj (clock)**, que sincronizan la transferencia de datos
- **Señales de latch**, que indican cuándo los datos deben ser almacenados en los registros de los drivers
- **Señales de enable**, que controlan la activación de los LEDs

El diseño de esta interfaz debe tener en cuenta fenómenos como la integridad de señal, las reflexiones en las líneas de transmisión y la interferencia electromagnética. A altas velocidades, incluso pequeñas variaciones en la impedancia de los conductores pueden provocar errores en la transmisión.

Además, la disposición física de los cables (habitualmente cables planos tipo ribbon) influye en la estabilidad de la señal. Por este motivo, los fabricantes optimizan tanto el diseño de la PCB como el de los conectores para minimizar pérdidas y garantizar una transmisión fiable.

6.8 Generación de señal luminosa: modulación temporal y control de drivers

La conversión final de datos digitales en luz visible se realiza en los módulos LED mediante los drivers, que implementan técnicas avanzadas de modulación temporal.

El principio fundamental es la **modulación por ancho de pulso (PWM)**, en la que la intensidad luminosa de cada subpíxel se controla variando el tiempo durante el cual el LED permanece encendido dentro de un ciclo de refresco.

Desde un punto de vista técnico, este proceso implica:

- Dividir el ciclo de refresco en múltiples intervalos temporales.
- Asignar a cada subpíxel un patrón de encendido/apagado
- Sincronizar estos patrones con el sistema de escaneo.

En sistemas de alta profundidad de color, la PWM se implementa mediante técnicas de modulación binaria ponderada, donde cada bit de la señal controla un intervalo temporal de duración proporcional a su peso. Esto permite representar un gran número de niveles de intensidad con alta precisión.

El sistema de **multiplexado** añade una capa adicional de complejidad, ya que los LEDs no están encendidos de forma continua. En su lugar, se activan por filas o grupos, lo que implica que cada LED tiene un tiempo efectivo de encendido reducido. Para compensar esta reducción, se incrementa la corriente durante el tiempo activo, manteniendo el nivel de brillo percibido.

Este proceso requiere una sincronización extremadamente precisa entre drivers, señales de reloj y lógica de escaneo. Cualquier desajuste puede provocar artefactos como variaciones de brillo, flicker o pérdida de uniformidad.

6.9 Latencia total del sistema: análisis y optimización

La latencia en un sistema LED es el resultado acumulativo de múltiples procesos distribuidos a lo largo del flujo de señal. Desde un punto de vista técnico, puede descomponerse en varias contribuciones:

- Latencia de generación (procesamiento en media server).
- Latencia de procesamiento de vídeo (escalado, color).
- Latencia de transmisión (propagación y buffering en red).
- Latencia en tarjetas receptoras (buffering y procesamiento).
- Latencia de refresco (tiempo necesario para completar un ciclo de escaneo).

La latencia total sería la suma de todas las latencias parciales del sistema.

En aplicaciones críticas, como retransmisiones en directo o sincronización con audio, es necesario optimizar la latencia mediante la reducción del número de etapas de procesamiento, el uso de configuraciones de bajo buffering y la sincronización con otros sistemas mediante referencias externas.

Conclusión

El flujo de señal en sistemas LED es un proceso altamente complejo que combina principios de procesamiento digital de señal, electrónica de potencia y comunicaciones de alta velocidad. Cada una de las etapas descritas introduce condicionantes técnicos que afectan al rendimiento global del sistema.

7. Procesamiento de vídeo en sistemas LED

7.1 Naturaleza del problema: por qué es necesaria la calibración en pantallas LED

El procesamiento de vídeo en pantallas LED presenta una complejidad significativamente mayor que en otros sistemas de visualización debido a su carácter emisor y a su arquitectura modular. A diferencia de dispositivos como pantallas LCD u OLED, donde la fabricación se realiza en paneles relativamente homogéneos, una pantalla LED está compuesta por miles o millones de dispositivos discretos distribuidos en múltiples módulos y cabinets, cada uno con ligeras variaciones en su comportamiento eléctrico y óptico.

Estas variaciones no son anecdóticas, sino inherentes al proceso de fabricación de semiconductores y a la integración electrónica. Dos LEDs del mismo lote pueden presentar diferencias en eficiencia luminosa (relación entre corriente y luminancia), longitud de onda dominante (color percibido) o respuesta no lineal frente a la señal de control.

Además, estas diferencias se amplifican cuando los dispositivos operan en condiciones reales, donde intervienen factores como la temperatura, el envejecimiento y las tolerancias de los drivers electrónicos.

Como consecuencia, si no se aplica un proceso de calibración, la imagen resultante presentará irregularidades visibles. Las más comunes son:

- Variaciones de brillo entre zonas.
- Desviaciones cromáticas.
- Diferencias en el punto de blanco.
- Falta de uniformidad en degradados.

El objetivo del procesamiento de vídeo en este contexto no es únicamente representar la señal, sino **corregir activamente el comportamiento del sistema para que se ajuste a un modelo ideal de reproducción visual**.

7.2 Modelado de la respuesta luminosa del LED

Para poder corregir el comportamiento de una pantalla LED, es necesario modelar matemáticamente la relación entre la señal digital de entrada y la luminancia emitida.

Idealmente, se esperaría una relación lineal:

$$L = k \cdot V$$

donde:

- L es la luminancia emitida
- V es el valor digital de entrada
- k es una constante de proporcionalidad

Sin embargo, en la práctica, la respuesta del LED es no lineal. Esta no linealidad se aproxima mediante una función exponencial conocida como función gamma:

$$L = V^\gamma$$

donde γ (gamma) es un valor característico del sistema, normalmente entre 2.0 y 2.4.

Esta relación implica que los niveles bajos de señal tienen menos impacto en la luminancia que los niveles altos, lo que afecta a la percepción de sombras y detalles en la imagen. Por ello, el sistema de procesamiento debe aplicar una corrección inversa (gamma correction) para linearizar la respuesta percibida.

7.3 Proceso de calibración.

Adquisición de datos

El proceso de calibración comienza con la **medición precisa del comportamiento de la pantalla**. Esta medición se realiza mediante instrumentos ópticos como colorímetros o cámaras fotométricas calibradas, capaces de capturar la luminancia y el color emitido por cada píxel o grupo de píxeles.

Durante este proceso, se proyectan patrones de prueba sobre la pantalla, que permiten evaluar los siguientes parámetros:

- La respuesta de cada canal (R, G, B).
- La uniformidad de luminancia.
- La estabilidad cromática.

- La linealidad de la respuesta.

Cada medición genera un conjunto de datos que describe el comportamiento real del sistema. Estos datos constituyen la base sobre la que se calcularán las correcciones. En sistemas de alta precisión, este proceso se realiza a nivel de píxel individual, generando mapas de corrección que pueden contener millones de valores.

Calibración de luminancia: linealización y normalización

Una vez obtenidos los datos de medición, el siguiente paso consiste en corregir la luminancia para que todos los píxeles respondan de forma homogénea.

Este proceso implica dos operaciones principales:

Linealización

Consiste en compensar la no linealidad del sistema para que la relación entre la señal de entrada y la luminancia sea perceptualmente uniforme. Esto se logra aplicando la función inversa de gamma:

$$V_{\text{corr}} = V^{(1/\gamma)}$$

Normalización

Una vez linealizada la respuesta, es necesario ajustar todos los píxeles a un nivel común de luminancia. Para ello, se calcula un factor de corrección para cada píxel:

$$\text{Factor} = L_{\text{objetivo}} / L_{\text{medido}}$$

Este factor se aplica multiplicando la señal de entrada, de modo que los píxeles más brillantes se atenúan y los más débiles se refuerzan dentro de los límites del sistema.

Calibración cromática: transformación en espacio tridimensional

La calibración de color es un proceso más complejo que la de luminancia, ya que implica trabajar en un espacio tridimensional definido por los tres canales RGB.

Cada LED emite luz con una distribución espectral determinada, lo que define su posición en el espacio de color. Sin embargo, pequeñas variaciones en la fabricación pueden desplazar esta posición, provocando desviaciones en el color reproducido.

Para corregir estas desviaciones, se utiliza un modelo basado en matrices de transformación lineal. En este modelo, los valores RGB de entrada se transforman mediante una matriz 3×3 :

$$R' = a \cdot R + b \cdot G + c \cdot B$$

$$G' = d \cdot R + e \cdot G + f \cdot B$$

$$B' = g \cdot R + h \cdot G + i \cdot B$$

Esta matriz permite ajustar el punto de blanco, corregir desviaciones de color y adaptar el espacio de color al estándar deseado.

7.4 LUTs: implementación práctica de las correcciones

Las transformaciones descritas anteriormente se implementan en el sistema mediante LUTs (Look-Up Tables), que permiten aplicar correcciones complejas de forma eficiente.

Una LUT puede entenderse como una función discreta que asigna a cada valor de entrada un valor de salida predefinido. Esto permite evitar cálculos en tiempo real, reduciendo la carga computacional.

Existen diferentes tipos de LUTs normalizadas:

LUTs 1D

Aplican correcciones independientes a cada canal. Se utilizan para corrección gamma y ajuste de luminancia.

LUTs 3D

Permiten realizar transformaciones en el espacio de color completo. Se organizan como una malla tridimensional en la que cada punto define una transformación específica.

7.5 Calibración por píxel: compensación de variabilidad local

En sistemas profesionales, la calibración se realiza a nivel de píxel individual, lo que permite compensar las variaciones más pequeñas del sistema.

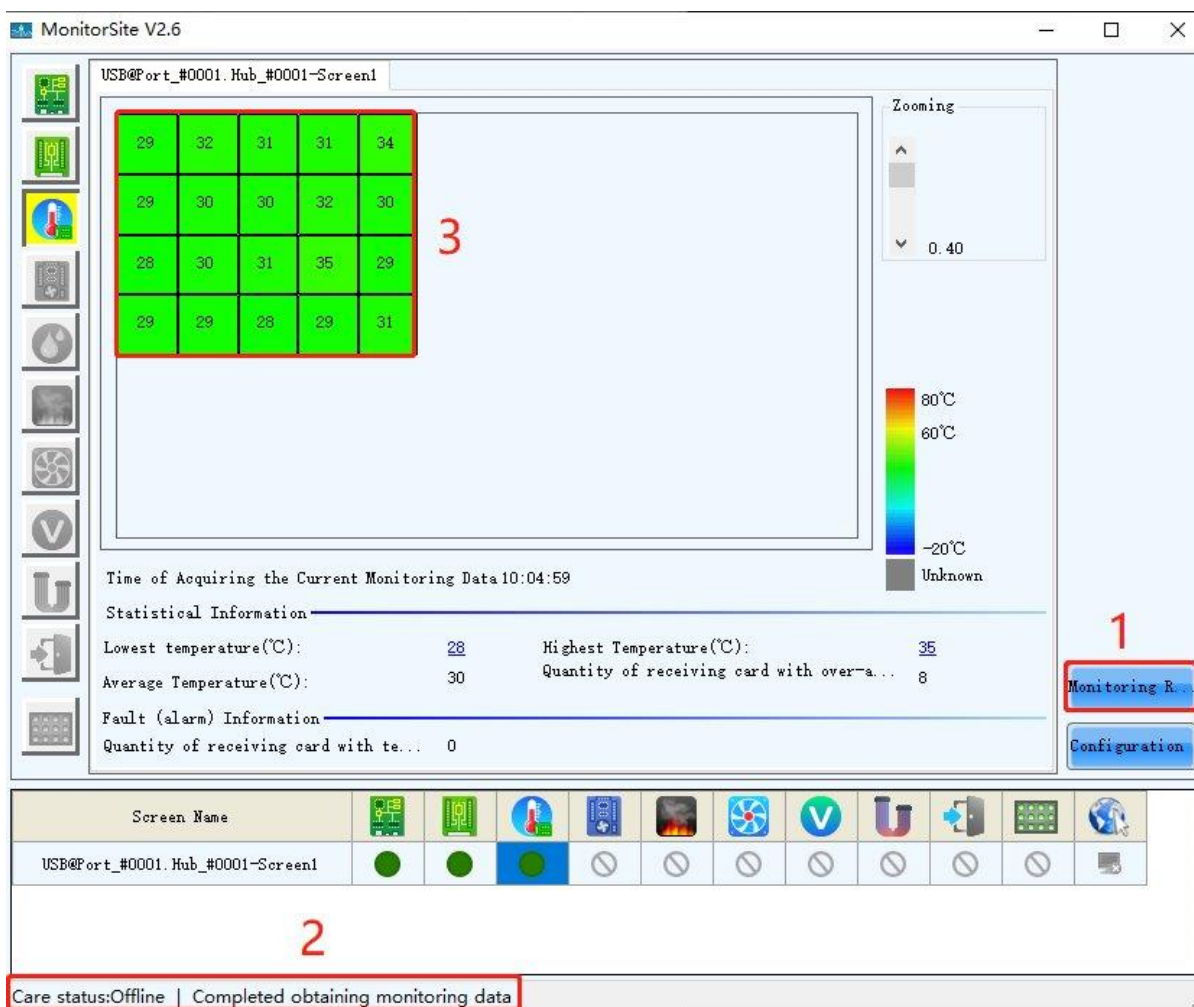
Cada píxel recibe un factor de corrección de luminancia y un vector de corrección cromática. Estos valores se almacenan en memoria y se aplican en tiempo real durante el procesamiento de la señal.

Este enfoque requiere una gran capacidad de almacenamiento y procesamiento, pero permite alcanzar niveles de uniformidad extremadamente altos.

7.6 Influencia de la temperatura y el envejecimiento

El comportamiento de los LEDs no es constante en el tiempo. La temperatura afecta directamente a la eficiencia luminosa y al espectro de emisión, mientras que el envejecimiento provoca una degradación progresiva del brillo y cambios en el color.

Para compensar estos efectos, algunos sistemas incorporan modelos dinámicos que ajustan la señal en función de la temperatura medida en tiempo real, las horas de uso acumuladas y el historial de calibración. Esto permite mantener la consistencia de la imagen a lo largo del ciclo de vida del sistema.



Monitorización de la temperatura de una pantalla LED

7.7 Gestión de espacios de color y adaptación a estándares

El contenido audiovisual se produce en espacios de color estandarizados, como Rec.709 o DCI-P3. Sin embargo, el espacio de color nativo de una pantalla LED depende de las características espectrales de sus LEDs, que pueden no coincidir con estos estándares.

Por ello, es necesario realizar una transformación que adapte el contenido al dispositivo. Este proceso implica mapear el espacio de color de entrada al espacio disponible, limitar colores fuera de gama (gamut clipping) y preservar la intención artística del contenido.

Un espacio de color es una definición formal que establece un conjunto de colores reproducibles mediante un sistema, así como la forma en que dichos colores se codifican numéricamente.

Desde el punto de vista técnico, un espacio de color se define mediante tres elementos fundamentales:

- **Primarias cromáticas**, que determinan los colores básicos del sistema (generalmente rojo, verde y azul).
- **Punto de blanco**, que define la referencia de color neutro (habitualmente D65).
- **Función de transferencia**, que describe la relación entre la señal digital y la luminancia.

En sistemas LED, la correcta gestión de estos espacios es esencial, ya que el dispositivo físico (los LEDs) posee un espacio de color nativo que no necesariamente coincide con los estándares de producción audiovisual.

Rec.709 (ITU-R BT.709)

El espacio de color **Rec.709** es el estándar utilizado en sistemas de televisión de alta definición (HD). Define un conjunto de primarias RGB relativamente limitado, adaptado a las capacidades de los dispositivos tradicionales de visualización.

Sus características principales son:

- Gamut reducido en comparación con estándares más modernos.
- Punto de blanco D65 (6500 K).
- Profundidad de color típica de 8 o 10 bits.
- Curva gamma aproximada de 2.4.

Rec.709 está optimizado para entornos de visualización controlados y constituye la base de la mayoría de los contenidos televisivos actuales. Sin embargo, su limitado gamut implica que no puede representar colores altamente saturados presentes en escenas reales.

DCI-P3

El espacio de color **DCI-P3** fue desarrollado para la industria cinematográfica digital. Su principal característica es un gamut más amplio que Rec.709, especialmente en la región de los rojos y verdes.

Desde el punto de vista técnico:

- Cubre aproximadamente un 25% más de área en el diagrama CIE que Rec.709.
- Utiliza un punto de blanco cercano a D65 (aunque en cine se emplea DCI white).
- Se utiliza en sistemas de proyección digital y pantallas de alta gama.

En pantallas LED, el uso de DCI-P3 permite una reproducción más rica y saturada del color, pero requiere una calibración precisa para evitar desviaciones cromáticas.

Rec.2020 (ITU-R BT.2020)

El espacio de color **Rec.2020** representa un salto significativo en términos de capacidad cromática. Está diseñado para sistemas UHD (Ultra High Definition) y HDR, y define un gamut mucho más amplio que los estándares anteriores.

Sus características incluyen:

- Primarias extremadamente saturadas (teóricas).
- Cobertura de un área significativamente mayor del espacio visible.
- Soporte para profundidades de color de hasta 12 bits

En la práctica, ningún sistema LED actual puede cubrir completamente el espacio Rec.2020, debido a limitaciones físicas en las longitudes de onda de los LEDs. Por ello, la gestión de este espacio implica procesos de compresión de gamut (gamut mapping), en los que los colores fuera del rango del dispositivo se adaptan al rango disponible.

Espacio CIE 1931 y representación cromática

Para comprender la relación entre estos espacios, es necesario hacer referencia al **diagrama de cromaticidad CIE 1931**, que representa todos los colores perceptibles por el ojo humano.

En este diagrama:

- Cada espacio de color se representa como un polígono (triángulo en el caso de RGB).
- El área del polígono define el gamut del sistema.
- La posición de las primarias determina los colores reproducibles.

7.8 HDR y procesamiento de alto rango dinámico

El **High Dynamic Range (HDR)** representa una evolución significativa en los sistemas de visualización, al ampliar tanto el rango de luminancia como la capacidad de reproducción de color. Mientras que los sistemas tradicionales (SDR, Standard Dynamic Range) operan en un rango limitado, HDR permite representar escenas con mayor contraste y detalle, especialmente en zonas de altas luces y sombras profundas.

El rango dinámico se define como la relación entre la luminancia máxima y mínima que un sistema puede reproducir:

$$\text{Rango dinámico} = L_{\text{max}} / L_{\text{min}}$$

En sistemas SDR, este rango está limitado a valores relativamente bajos, lo que obliga a comprimir la información luminosa de la escena. En HDR, este rango se amplía significativamente, permitiendo representar detalles que antes se perdían.

Curvas de transferencia (EOTF)

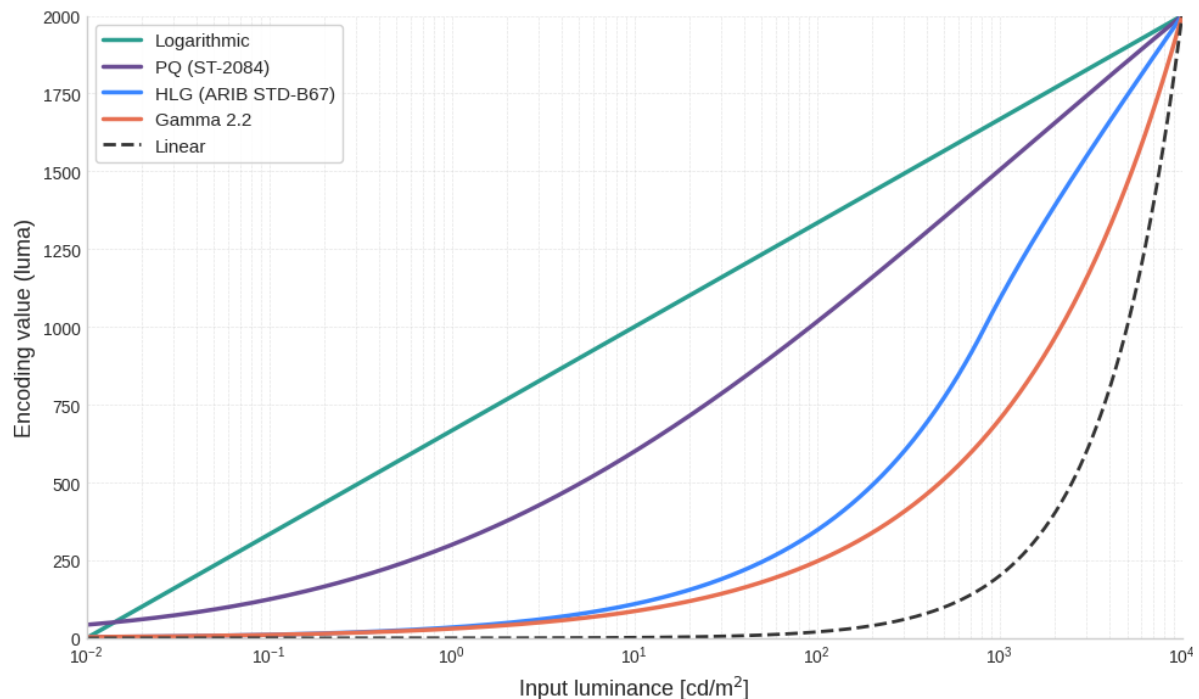
El HDR se basa en funciones de transferencia específicas que definen cómo se convierte la señal digital en luminancia física. Entre las más importantes se encuentran:

PQ (Perceptual Quantizer, SMPTE ST 2084)

Diseñada para adaptarse a la percepción humana, permite representar luminancias de hasta 10.000 nits.

HLG (Hybrid Log-Gamma)

Diseñada para broadcast, combina una respuesta logarítmica en altas luces con una respuesta gamma en bajas luces.



Comparación de curvas logarítmica, PQ, HLG, Gamma 2.2 y lineal.

Requisitos tecnológicos para HDR en pantallas LED

Para implementar HDR de forma efectiva, una pantalla LED debe cumplir una serie de requisitos técnicos:

- **Alta luminancia máxima**, para representar picos de brillo.
- **Bajo nivel de negro**, para mejorar el contraste.
- **Alta profundidad de bits**, para evitar banding.
- **Alta precisión en control de luminancia**, mediante drivers avanzados.

La tecnología LED es especialmente adecuada para HDR debido a su naturaleza emisiva, que permite alcanzar altos niveles de brillo.

Ventajas e inconvenientes del HDR

El uso de HDR proporciona mejoras significativas en la calidad de imagen:

- Mayor realismo en la representación de escenas.
- Mejor diferenciación en zonas oscuras.

- Mayor impacto visual en altas luces.
- Ampliación del rango de colores perceptibles.

Estas ventajas son especialmente relevantes en espectáculos y eventos, donde el impacto visual es un factor clave.

El HDR también presenta desafíos técnicos:

- Aumento del consumo energético debido a mayores niveles de brillo.
- Necesidad de mayor capacidad de procesamiento.
- Complejidad en la calibración y gestión de color.
- Limitaciones del hardware en la reproducción completa del espacio Rec.2020.

Además, una implementación incorrecta puede provocar efectos no deseados, como pérdida de detalle o saturación excesiva.

En sistemas LED, el HDR se implementa mediante procesamiento avanzado en el procesador de vídeo, control preciso de drivers LED y calibración específica para alto rango dinámico. Es necesario aumentar la profundidad de bits, controlar con precisión la luminancia y adaptar la señal mediante curvas de transferencia (EOTF). El resultado es una imagen con mayor profundidad, contraste y riqueza cromática.

El procesamiento HDR introduce un nivel adicional de complejidad, ya que implica trabajar con rangos de luminancia mucho más amplios que los sistemas tradicionales.

8. Sistemas de control en pantallas LED

8.1 Introducción: el sistema de control como núcleo operativo

El sistema de control constituye el núcleo operativo de una pantalla LED, ya que es el encargado de transformar la señal de vídeo procesada en un flujo de datos estructurado que puede ser interpretado por la arquitectura distribuida del sistema. Su función no se limita a la transmisión de datos, sino que abarca aspectos críticos como la gestión de la resolución, la sincronización temporal, la calibración, la redundancia y la monitorización del estado del sistema.

En la práctica profesional, el sistema de control se materializa en una combinación de hardware y software que incluye procesadores de vídeo, tarjetas emisoras, tarjetas receptoras y herramientas de configuración. La elección de un sistema u otro tiene

implicaciones directas en la calidad de imagen, la flexibilidad operativa, la latencia y la capacidad de integración con otros sistemas audiovisuales.

En el mercado actual, existen varios fabricantes que han desarrollado soluciones propietarias, entre otros NovaStar, Brompton Technology o Megapixel VR.

8.2 Arquitectura general de un sistema de control

Independientemente del fabricante, todos los sistemas de control comparten una arquitectura básica compuesta por tres niveles:

- **Procesamiento de vídeo**, donde se adapta la señal de entrada.
- **Control central (sending)**, donde se genera el flujo de datos LED.
- **Control distribuido (receiving)**, donde se interpreta la señal.

La diferencia entre sistemas no radica tanto en esta estructura general, sino en la forma en que cada uno implementa el procesamiento interno de la señal, la gestión de color y calibración, la latencia, la redundancia o la interfaz de usuario.

8.3 Sistema NovaStar: arquitectura, funcionamiento y características

NovaStar es el sistema más extendido a nivel mundial, especialmente en aplicaciones de alquiler, eventos corporativos y espectáculos de tamaño medio y grande. Su popularidad se debe a su equilibrio entre coste, funcionalidad y facilidad de uso.

Desde el punto de vista técnico, NovaStar se basa en una arquitectura modular en la que los procesadores (como la serie VX o MCTRL) integran funciones de escalado, mapping y control de señal. Estos dispositivos generan el flujo de datos que se envía a las tarjetas receptoras mediante enlaces Ethernet.

Uno de los aspectos característicos de NovaStar es el uso del software **NovaLCT**, que permite configurar la pantalla, definir la distribución de cabinets y cargar archivos de calibración. Este software actúa como interfaz entre el técnico y el sistema, facilitando tareas como asignación de resoluciones, configuración de puertos o ajuste de parámetros de imagen.

En cuanto a la gestión de color, NovaStar ofrece herramientas de calibración basadas en LUTs y corrección por módulo o cabinet. Sin embargo, su precisión en este ámbito es inferior a la de sistemas de gama alta.

Desde el punto de vista de la latencia, NovaStar presenta valores moderados, adecuados para la mayoría de aplicaciones en directo, aunque no optimizados para entornos de producción virtual o cine.

En resumen, NovaStar se caracteriza por alta compatibilidad con diferentes tipos de pantallas, facilidad de configuración, coste relativamente bajo y rendimiento adecuado para la mayoría de eventos.



Controladores Novastar.

8.4 Sistema Brompton Technology: procesamiento avanzado y precisión cromática

Brompton Technology representa una solución de gama alta orientada a aplicaciones donde la calidad de imagen es crítica, como producciones televisivas, cine y espectáculos de gran formato.

A diferencia de NovaStar, Brompton basa su arquitectura en un procesamiento más avanzado de la señal, con un enfoque particular en la fidelidad cromática y la estabilidad temporal. Sus procesadores (como la serie Tessera) integran algoritmos propietarios que permiten un control muy preciso de la luminancia y el color.

Uno de los elementos distintivos de Brompton es su sistema de calibración dinámica, que permite ajustar la respuesta de la pantalla en tiempo real. Esto incluye tecnologías como:

- **Dynamic Calibration**, que corrige variaciones entre módulos.
- **ChromaTune**, que optimiza la reproducción del color.
- **PureTone**, que reduce artefactos en la imagen.

Estos sistemas se basan en modelos avanzados de procesamiento que tienen en cuenta tanto la respuesta del LED como la percepción humana.

En términos de latencia, Brompton está optimizado para aplicaciones en las que la sincronización con cámaras es fundamental. Ofrece modos de baja latencia y compatibilidad con sistemas de genlock.

Otra característica importante es su capacidad para trabajar con altos rangos dinámicos y profundidades de color, lo que lo hace especialmente adecuado para contenido HDR.

En conjunto, Brompton se caracteriza por:

- Alta precisión en color.
- Baja latencia.
- Herramientas avanzadas de calibración.
- Mayor complejidad operativa y coste.

8.5 Sistema Megapixel VR: control para producción virtual

Megapixel VR es un sistema diseñado específicamente para entornos de producción virtual, donde las pantallas LED se utilizan como fondo en tiempo real para rodajes cinematográficos.

A diferencia de los sistemas anteriores, Megapixel pone el énfasis en la sincronización con motores gráficos (como Unreal Engine) y en la integración con sistemas de tracking de cámara. Esto implica requisitos muy estrictos en términos de latencia y precisión temporal.

Su arquitectura incluye:

- Procesamiento en tiempo real de alta velocidad.
- Sincronización con cámaras mediante genlock.

- Gestión avanzada de color y HDR.

Uno de los aspectos más relevantes es su capacidad para reducir la latencia hasta niveles mínimos, lo que permite que el contenido mostrado en la pantalla esté perfectamente alineado con el movimiento de la cámara.

Además, Megapixel ofrece herramientas específicas para la gestión de color en entornos cinematográficos, donde la fidelidad cromática y la coherencia entre escenas son fundamentales.

En resumen, Megapixel se caracteriza por:

- Latencia extremadamente baja.
- Integración con producción virtual.
- Alta precisión temporal.
- Uso especializado en cine y TV.

La elección de un sistema de control no depende únicamente del presupuesto, sino de los requisitos técnicos del proyecto. Factores como la calidad de imagen, la latencia, la complejidad del montaje y la integración con otros sistemas deben ser considerados de forma conjunta.

En entornos donde la prioridad es la flexibilidad y el coste, NovaStar es una solución adecuada. En aplicaciones donde la calidad de imagen es crítica, Brompton ofrece ventajas significativas. Por su parte, Megapixel se posiciona como una solución especializada para un nicho concreto, donde la sincronización en tiempo real es esencial.

9. Configuración de sistemas LED en entornos reales. Mapping, direccionamiento y puesta en marcha del sistema.

La configuración de una pantalla LED no es un proceso meramente operativo, sino una etapa crítica en la que se establece la correspondencia entre la señal de vídeo y la estructura física del sistema. Este proceso, conocido como *mapping*, consiste en definir cómo cada píxel de la señal digital se asigna a un píxel físico dentro de la pantalla.

A diferencia de otros sistemas de visualización, donde la correspondencia entre señal e imagen es directa, en las pantallas LED esta relación debe construirse manualmente debido a la naturaleza modular del sistema. Cada cabinet y cada módulo ocupan una posición específica dentro de la estructura, y el sistema de control debe conocer exactamente esta disposición para poder reconstruir la imagen correctamente.

Un error en esta etapa puede provocar problemas como:

- Imágenes desordenadas o fragmentadas.
- Duplicación o ausencia de contenido.
- Desalineación entre zonas.
- Artefactos visuales.

Por tanto, el proceso de configuración requiere una comprensión precisa tanto de la arquitectura física como del flujo de señal.



9.1 Verificación de hardware y señal

Antes de iniciar la configuración lógica, es imprescindible verificar el estado físico del sistema.

Esto incluye comprobar:

- Alimentación eléctrica de cada cabinet.
- Conexiones de datos (Ethernet o fibra).
- Continuidad de la cadena de señal (daisy chain).
- Estado de LEDs y módulos.

Desde el punto de vista técnico, esta fase permite asegurar que la capa física del sistema (nivel eléctrico y de transmisión) funciona correctamente. Problemas en esta etapa pueden impedir la correcta comunicación entre la sending card y las tarjetas receptoras.

Un caso habitual en montajes reales es la interrupción de la señal en un punto intermedio de la cadena, lo que provoca que todos los cabinets posteriores no reciban datos. Este tipo de fallo se diagnostica verificando la continuidad de la señal puerto a puerto.

9.2 Configuración de tarjetas receptoras

Las tarjetas receptoras deben ser configuradas con parámetros específicos que definen cómo interpretan los datos recibidos. Esta configuración se realiza mediante archivos conocidos como **RCFG (Receiving Card Configuration Files)**.

Estos archivos contienen información crítica, como:

- Resolución del módulo (número de píxeles por módulo).
- Tipo de escaneo (scan rate).
- Configuración de drivers.
- Orden de los píxeles.

Desde el punto de vista técnico, esta configuración define la forma en que la tarjeta convierte el flujo de datos en señales de control para los LEDs. Si estos parámetros no coinciden con las características reales del módulo, la imagen se mostrará de forma incorrecta.

Un error típico es cargar un archivo RCFG incorrecto, lo que puede provocar colores erróneos, imagen distorsionada o parpadeo.

9.3 Mapping: asignación espacial de la imagen

El mapping es el proceso mediante el cual se define la correspondencia entre la señal de vídeo y la disposición física de la pantalla.

Este proceso implica:

- Definir el tamaño total de la pantalla en píxeles.
- Asignar cada cabinet a una posición específica.
- Establecer el orden de conexión.

En sistemas como NovaLCT, el mapping se realiza mediante una interfaz gráfica en la que el técnico reconstruye virtualmente la pantalla.

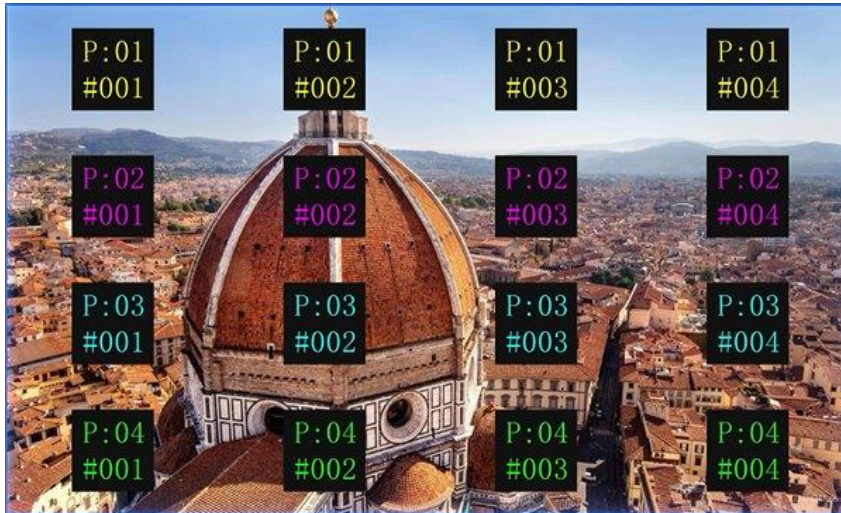
Desde el punto de vista técnico, el mapping implica una transformación de coordenadas:

$$(x_{\text{vídeo}}, y_{\text{vídeo}}) \rightarrow (x_{\text{físico}}, y_{\text{físico}})$$

donde cada punto de la señal se asigna a una posición real.

En un montaje de escenario, es habitual conectar los cabinets en zigzag para optimizar el cableado. Si el mapping no tiene en cuenta este orden, la imagen aparecerá invertida en ciertas filas.

Este problema se soluciona definiendo correctamente la dirección de escaneo en el software.



Mapecto de una pantalla Novastar.

9.4 Asignación de puertos y carga de seña

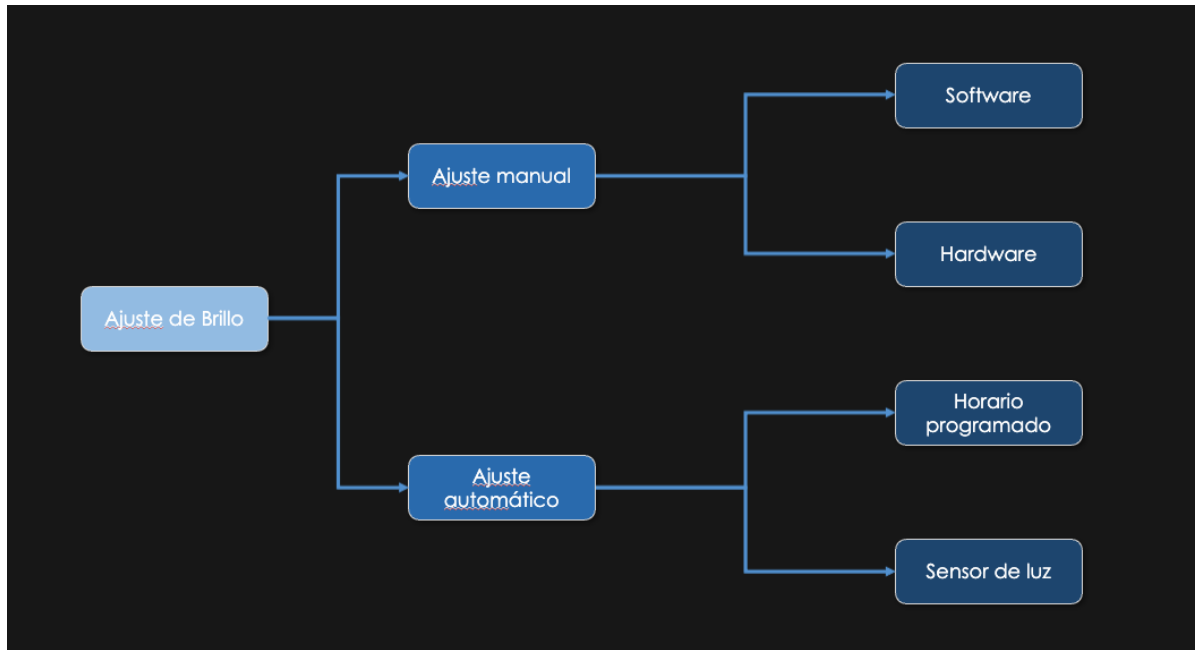
Cada salida del procesador (sending card) tiene una capacidad limitada en número de píxeles. Por ello, la pantalla debe dividirse en regiones asignadas a diferentes puertos.

Max Load Capacity per Ethernet Port (Pixels)			
Frame Rate / Bit Depth	8bit	10bit	12bit
24 Hz	1,649,305.556	824,653	824,653
25 Hz	1,583,333	791,667	791,667
30 Hz	1,319,444	659,722	659,722
50 Hz	791,667	395,833	395,833
60 Hz	659,722	329,861	329,861
120 Hz	329,861	164,931	164,931
144 Hz	274,884	137,442	137,442
240 Hz	164,931	82,465	82,465
Máxima capacidad por puerto de una pantalla Novastar.			

9.5 Ajustes de imagen y calibración en campo

Una vez configurada la estructura básica, se procede al ajuste de parámetros de imagen: brillo global, temperatura de color, gamma o uniformidad.

Aunque parte de la calibración se realiza previamente, en montaje es necesario ajustar la pantalla a las condiciones reales del entorno, como la iluminación ambiental. Por ejemplo, en un festival al aire libre, el brillo debe ajustarse en función de la luz ambiente que habrá durante el espectáculo.



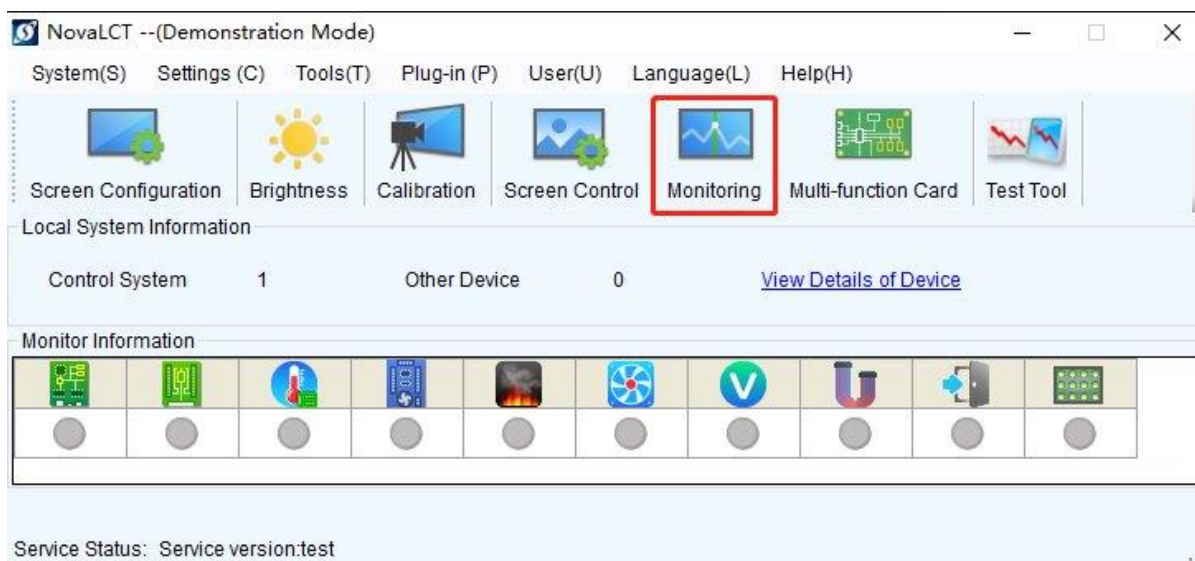
Opciones de ajuste de brillo en una pantalla Novastar

9.6 Testeo y verificación del sistema

La última fase consiste en verificar el correcto funcionamiento de la pantalla mediante patrones de test.

Estos patrones permiten comprobar la uniformidad de color, la alineación de píxeles, la continuidad de la imagen o la ausencia de fallos. Es una validación de las etapas anteriores.

Por ejemplo, durante el test pueden detectarse píxeles que no responden correctamente. Esto puede deberse a fallos en el LED o en el driver, y suele requerir sustitución del módulo.



Monitoreo pantalla Novastar.

9.7 Errores comunes en configuración

En la práctica profesional, existen errores recurrentes que afectan al funcionamiento del sistema:

- Mapping incorrecto.
- Configuración errónea de módulos.
- Sobrecarga de puertos.
- Problemas de sincronización.
- Fallos en la cadena de señal.

La identificación de estos errores requiere un conocimiento profundo del sistema y de su comportamiento.

10. Montaje físico, rigging y configuraciones estructurales en pantallas LED

10.1 Introducción: la pantalla LED como sistema estructural complejo

En el contexto profesional, una pantalla LED debe entenderse como un sistema híbrido en el que convergen disciplinas como la electrónica, la mecánica estructural y la ingeniería de eventos. A diferencia de otros dispositivos audiovisuales, su instalación no se limita a una conexión eléctrica o de señal, sino que implica la manipulación de masas considerables que, en muchos casos, deben ser suspendidas sobre el público o integradas en estructuras temporales.

Este hecho convierte el montaje en una operación crítica desde el punto de vista técnico y de seguridad. El concepto de **rigging** engloba precisamente el conjunto de técnicas destinadas a garantizar que estas estructuras se mantengan estables, correctamente alineadas y seguras durante todo el evento. No se trata únicamente de “colgar” una pantalla, sino de diseñar un sistema de cargas que se distribuya de forma controlada y predecible.

Además, la precisión mecánica del montaje tiene un impacto directo en la calidad de imagen. Una desviación de apenas unos milímetros entre cabinets puede generar discontinuidades visibles, lo que demuestra que el montaje no es una fase independiente, sino parte integral del sistema de visualización.

En cualquier caso, esta unidad no pretende ser un manual de rigging. Hay que tener en cuenta que esta disciplina afecta de forma directa a la seguridad y, por tanto, merece un tratamiento aparte. En este epígrafe solo se pretende llamar la atención sobre la importancia de tener en cuenta este aspecto en cualquier diseño de pantalla.

10.2 Elementos estructurales: función y comportamiento mecánico

Cabinets como elementos estructurales

Los cabinets LED están diseñados no solo como contenedores electrónicos, sino como unidades estructurales que permiten la construcción de superficies continuas. Cada cabinet incorpora sistemas de unión mecánica que aseguran tanto la transmisión de cargas como la alineación precisa.

Los sistemas de cierre rápido (*fast locks*) permiten unir cabinets de forma eficiente, pero su diseño también debe garantizar que no exista juego mecánico. Este aspecto es fundamental, ya que cualquier holgura puede traducirse en vibraciones o desalineaciones durante el funcionamiento.

Los pines de alineación, por su parte, actúan como referencias geométricas que aseguran la continuidad de la superficie. Desde el punto de vista mecánico, estos elementos trabajan a cortante y deben estar diseñados para soportar las fuerzas generadas por el peso del sistema y posibles cargas dinámicas.

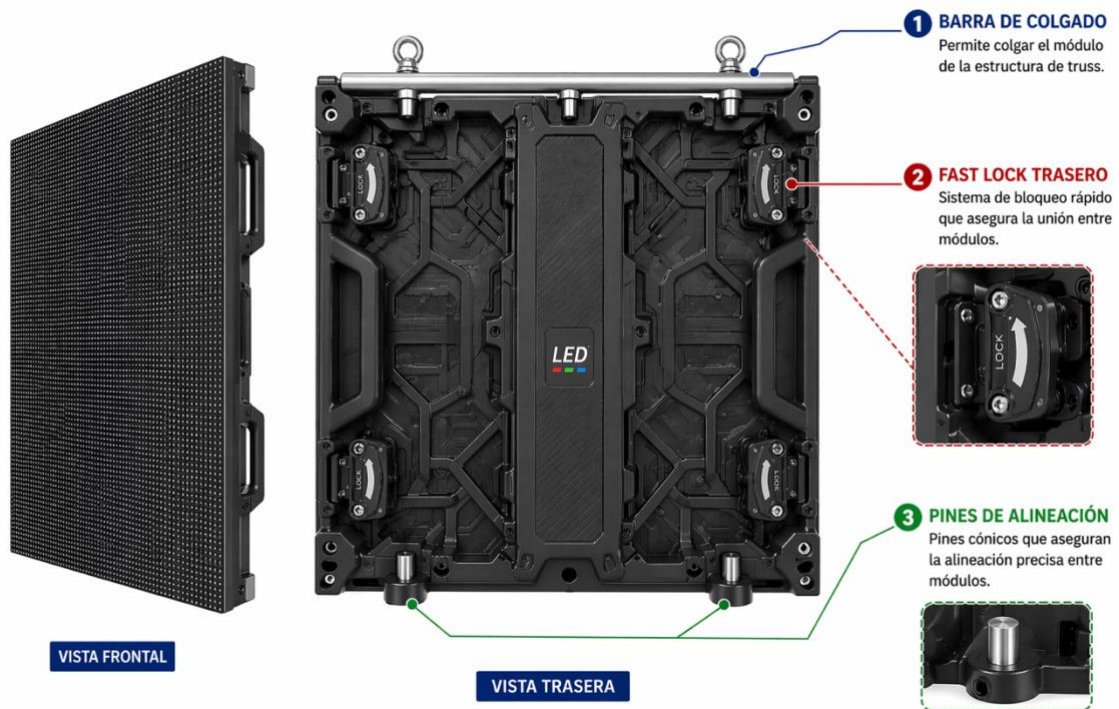
Barras de colgado: distribución de cargas

Las barras de colgado constituyen el elemento de transición entre la pantalla y el sistema de rigging. Su función principal es recoger el peso de los cabinets y distribuirlo hacia los puntos de anclaje.

Desde un punto de vista estructural, estas barras deben diseñarse para evitar concentraciones de esfuerzo. Esto implica que su geometría y los puntos de conexión deben permitir una distribución homogénea de la carga, evitando deformaciones locales que podrían comprometer la integridad del sistema.

Además, deben garantizar la correcta alineación de la primera fila de cabinets, ya que cualquier error en este nivel se amplifica en el resto de la estructura.

MÓDULO DE PANTALLA LED



Trusses: comportamiento estructural

Los trusses son estructuras reticulares diseñadas para soportar cargas elevadas con un peso propio reducido. Su funcionamiento se basa en la distribución de esfuerzos a través de elementos sometidos a tracción y compresión.

Cuando se suspende una pantalla LED de un truss, este actúa como una viga sometida a flexión. La correcta selección del truss depende de factores como:

- Longitud del vano.
- Carga total.
- Tipo de apoyo.

Un dimensionado incorrecto puede provocar deformaciones que afecten tanto a la seguridad como a la alineación de la pantalla.

Motores: control de cargas dinámicas

Los motores de elevación no solo soportan el peso estático de la pantalla, sino que también deben gestionar cargas dinámicas durante el movimiento. Esto implica que su diseño incorpora sistemas de frenado, control de velocidad y limitación de carga.

Desde el punto de vista técnico, el parámetro más importante es la **carga de trabajo segura (SWL, Safe Working Load)**, que define el peso máximo que el motor puede soportar en condiciones normales de operación. Este valor incluye un margen de seguridad respecto a la carga de rotura del sistema.

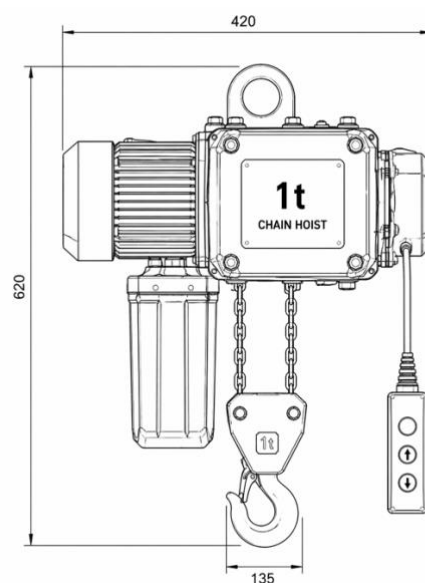


Imagen esquemática de motor de 1 tonelada.

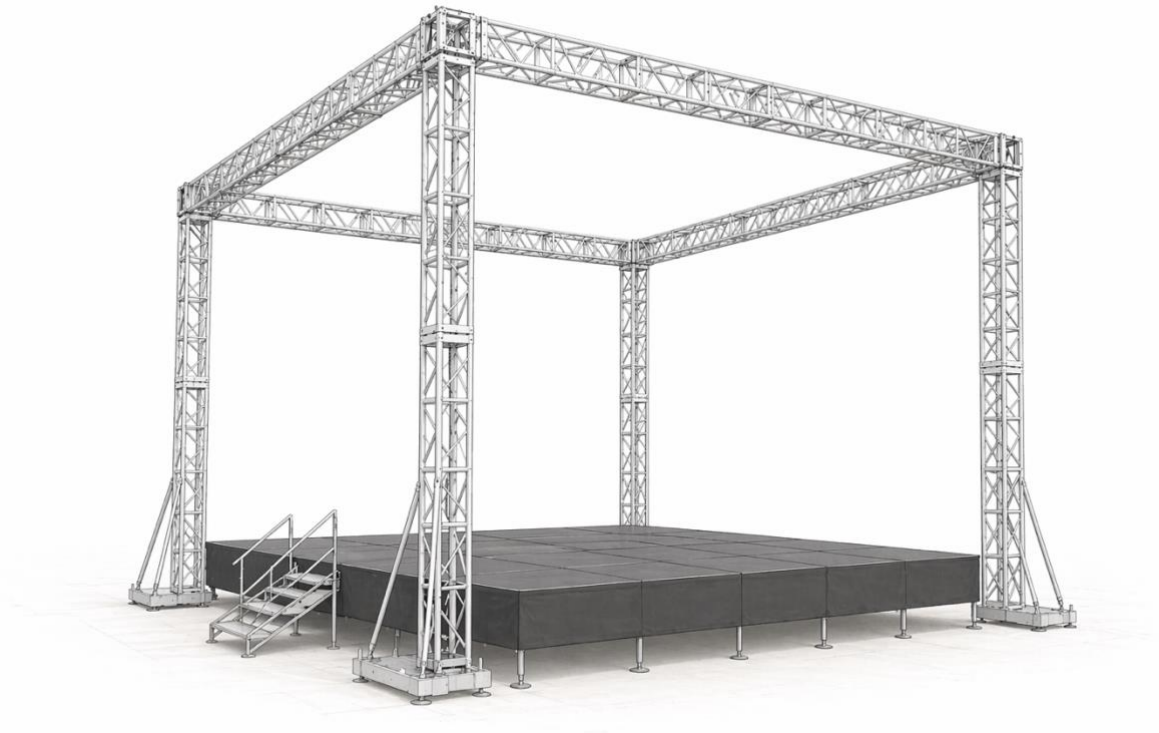
10.3 Tipos de montaje.

Montaje en suelo (ground support)

En este tipo de instalación, la pantalla se apoya sobre una estructura autoportante que transmite las cargas directamente al suelo. Este sistema elimina los riesgos asociados a cargas suspendidas, pero introduce otros factores a considerar.

Desde el punto de vista mecánico, la estabilidad depende de la base de apoyo y del centro de gravedad del conjunto. Si la pantalla es muy alta, es necesario incorporar contrapesos o sistemas de anclaje para evitar vuelcos.

Además, el ground support debe diseñarse para resistir cargas laterales, especialmente en exteriores, donde el viento puede generar esfuerzos significativos sobre la superficie de la pantalla.



Representación esquemática de truss ground support.

Montaje suspendido

El montaje suspendido permite una mayor libertad escénica, pero implica una mayor complejidad técnica. En este caso, la pantalla cuelga de uno o varios puntos de anclaje, y el peso se transmite a través de motores y estructuras superiores.

Desde el punto de vista estructural, el sistema debe analizarse como un conjunto de cargas puntuales aplicadas sobre el truss. La distribución de estas cargas debe ser equilibrada para evitar torsiones o deformaciones.

Además, el sistema debe contemplar posibles cargas dinámicas, como movimientos durante el montaje o vibraciones inducidas por el sonido.

10.4 Cálculo de cargas: fundamentos y aplicación práctica

El cálculo de cargas es una etapa fundamental en el diseño de cualquier instalación LED. La carga total no se limita al peso de los cabinets, sino que incluye todos los elementos asociados.

A esta carga se le aplica un factor de seguridad que tiene en cuenta incertidumbres y posibles sobrecargas.

La carga debe repartirse entre los diferentes puntos de anclaje de forma uniforme. Si un punto soporta más carga que los demás, puede producirse un fallo local.

Factor de seguridad

El factor de seguridad se define como la relación entre la carga máxima que puede soportar un elemento y la carga real aplicada.

Factor de seguridad = carga de rotura / carga de trabajo

En rigging, este factor suele ser elevado (habitualmente ≥ 5), lo que significa que el sistema puede soportar varias veces la carga real antes de fallar.

10.5 Configuraciones estructurales avanzadas

Pantallas curvas

Las pantallas curvas permiten mejorar la experiencia visual, especialmente en grandes formatos, al adaptarse al campo de visión del espectador. Desde el punto de vista técnico, su construcción requiere cabinets con sistemas de ajuste angular.

Estos sistemas permiten modificar el ángulo entre cabinets, generando una curvatura controlada. Sin embargo, esta configuración introduce complejidades adicionales:

- La distribución de cargas deja de ser lineal.
- La alineación de píxeles requiere mayor precisión.
- El mapping debe adaptarse a una geometría no plana.

Pantallas envolventes y cilíndricas

En este tipo de configuraciones, la pantalla rodea parcial o totalmente al público. Esto implica trabajar con estructuras tridimensionales en las que las cargas se distribuyen en múltiples direcciones.

Estructuras tridimensionales

Las configuraciones tridimensionales, como cubos o volúmenes, representan uno de los casos más complejos. En estas estructuras, los cabinets no solo forman superficies, sino que también definen volúmenes.

11. Operación en directo y resolución de problemas en sistemas LED

11.1 Introducción: complejidad operativa en entornos de directo

La operación de sistemas de pantallas LED en entornos de directo constituye una de las fases más críticas dentro del flujo de trabajo audiovisual, ya que implica la gestión de un sistema altamente complejo en condiciones en las que no existe margen de error ni posibilidad de interrupción. A diferencia de las etapas de diseño, montaje o configuración, donde los procesos pueden ejecutarse de forma controlada y con tiempo para la verificación, durante un espectáculo en vivo cualquier incidencia debe ser resuelta de manera inmediata, sin comprometer la continuidad del evento.

Desde un punto de vista técnico, el operador de sistemas LED no actúa únicamente como un ejecutor de configuraciones previamente definidas, sino como un agente activo de supervisión que debe interpretar en tiempo real el comportamiento del sistema. Esto implica comprender la interacción entre múltiples subsistemas —señal de vídeo, procesamiento, transmisión de datos, electrónica de control y alimentación eléctrica— y ser capaz de identificar la relación entre un síntoma visible y su posible causa técnica.

La complejidad de esta tarea radica en que los fallos no siempre se manifiestan en el mismo nivel en el que se originan. Por ejemplo, una anomalía en la señal de entrada puede traducirse en un defecto visual localizado, mientras que un problema físico en un módulo puede parecer inicialmente un fallo de procesamiento. Esta interdependencia obliga a adoptar un enfoque sistemático de análisis y diagnóstico.

11.2 Monitorización del sistema: interpretación de parámetros en tiempo real

Durante la operación en directo, la monitorización continua del sistema constituye la principal herramienta del técnico para anticipar y detectar problemas. Esta monitorización no se limita a observar la imagen en pantalla, sino que implica la interpretación de múltiples parámetros técnicos que reflejan el estado interno del sistema.

La señal de entrada es el primer elemento que debe ser evaluado, ya que constituye el origen de toda la cadena de procesamiento. Una señal incorrecta en términos de resolución, frecuencia o estabilidad puede propagarse a través del sistema y generar comportamientos anómalos en la pantalla. Por ejemplo, una discrepancia entre la frecuencia de la señal de entrada y la frecuencia de refresco del sistema puede dar lugar a problemas de sincronización perceptibles como parpadeos o desgarros de imagen.

En paralelo, el técnico debe supervisar el estado de los puertos de salida del sistema de control, ya que cada uno de ellos transporta una parte de la información destinada a la pantalla. Desde un punto de vista funcional, estos puertos representan canales independientes de transmisión de datos, y su correcto funcionamiento es esencial para garantizar la integridad de la imagen global. Una interrupción en uno de estos canales se traduce inmediatamente en la pérdida de la información correspondiente a una región específica de la pantalla.

Las tarjetas receptoras, distribuidas a lo largo del sistema, actúan como puntos de control intermedios cuya monitorización permite evaluar la integridad de la transmisión de datos. Estas tarjetas no solo reciben información, sino que también gestionan su almacenamiento temporal y su sincronización antes de enviarla a los módulos LED. Por ello, parámetros como la recepción de señal, la estabilidad del reloj interno o la temperatura de operación son indicadores clave del estado del sistema.

Finalmente, las condiciones eléctricas desempeñan un papel fundamental en la estabilidad del conjunto. La alimentación de los módulos LED y de los sistemas de control debe mantenerse dentro de rangos específicos para evitar comportamientos erráticos. Variaciones en la tensión de alimentación pueden provocar fluctuaciones

en la luminancia o incluso apagados parciales del sistema, lo que demuestra la importancia de integrar la monitorización eléctrica dentro del proceso de supervisión.

11.3 Naturaleza de los fallos: relación entre síntoma y causa

La identificación de fallos en sistemas LED requiere comprender la relación entre los síntomas observables y las causas técnicas subyacentes. Esta relación no es directa en todos los casos, lo que obliga a interpretar los defectos visuales como manifestaciones de procesos internos.

Los fallos asociados a la señal de vídeo suelen manifestarse como la ausencia total de imagen, la congelación del contenido o la pérdida de sincronización global. Estos comportamientos indican que el sistema no está recibiendo o procesando correctamente la información de entrada. Desde el punto de vista técnico, esto puede deberse a problemas en el origen de la señal, en el procesador de vídeo o en la configuración de la cadena de señal.

Por otro lado, los fallos en la transmisión de datos suelen presentar una naturaleza más localizada. La aparición de zonas de la pantalla que dejan de actualizarse o que muestran patrones incoherentes indica una interrupción en la comunicación entre la sending card y las tarjetas receptoras. Este tipo de fallo está generalmente asociado a problemas en el cableado, interferencias o errores en la distribución de la señal.

Los defectos físicos en módulos o píxeles presentan una sintomatología diferente, ya que afectan a elementos concretos del sistema. La aparición de píxeles muertos, líneas defectuosas o variaciones de color en áreas específicas indica un fallo en el hardware, ya sea en los LEDs o en los drivers asociados. En estos casos, el problema no está relacionado con la señal, sino con la capacidad del dispositivo para emitir luz de forma correcta.

Finalmente, los fallos de sincronización se manifiestan mediante fenómenos como el *tearing* o el *flicker*, que reflejan una descoordinación temporal entre distintas partes del sistema. Estos problemas suelen estar relacionados con discrepancias en la frecuencia de refresco, errores en la distribución del reloj o falta de sincronización con sistemas externos como cámaras.

11.4 Metodología de diagnóstico: análisis sistemático en tiempo real

El diagnóstico eficaz de fallos en un entorno de directo requiere la aplicación de una metodología estructurada que permita reducir la incertidumbre y localizar la causa del problema en el menor tiempo posible.

El primer paso consiste en el análisis del síntoma observable, que proporciona una pista inicial sobre el origen del fallo. Este análisis debe realizarse con precisión, identificando si el problema afecta a toda la pantalla o a una región específica, si es constante o intermitente, y si está relacionado con el contenido o con la estructura física del sistema.

A partir de esta observación, el técnico debe proceder al aislamiento del problema, es decir, a determinar qué parte del sistema está implicada. Este proceso implica verificar de forma secuencial los diferentes niveles del sistema, comenzando por la señal de entrada y avanzando hacia la salida física. En la práctica, esto puede implicar cambiar fuentes de señal, comprobar conexiones o sustituir elementos sospechosos.

Una vez identificada una posible causa, es necesario validar la hipótesis mediante pruebas controladas. Estas pruebas deben diseñarse de forma que permitan confirmar o descartar la relación entre la causa propuesta y el síntoma observado. Por ejemplo, si se sospecha de un fallo en un cable de datos, su sustitución debería eliminar el problema si la hipótesis es correcta.

Este enfoque sistemático permite evitar intervenciones aleatorias que podrían empeorar la situación, especialmente en entornos donde cada acción tiene un impacto inmediato en el sistema.

11.5 Casuística real: interpretación técnica de incidencias

En la práctica profesional, los fallos se presentan en contextos específicos que requieren una interpretación técnica precisa. Por ejemplo, la aparición de una línea vertical apagada en una pantalla suele indicar una interrupción en la transmisión de datos entre módulos consecutivos. Este tipo de fallo no afecta al sistema global, sino a una ruta específica dentro de la cadena de datos, lo que permite acotar rápidamente su origen.

En otros casos, una región de la pantalla puede dejar de actualizarse mientras mantiene una imagen fija. Este comportamiento indica que la información ha llegado

al sistema, pero no se está renovando, lo que sugiere un problema en la transmisión continua de datos o en la sincronización del buffer de la tarjeta receptora.



Ejemplo de pantalla sin conexión bien configurada (izquierda), lo que genera repetición de la misma imagen, y con la tarjeta correctamente configurada (derecha).

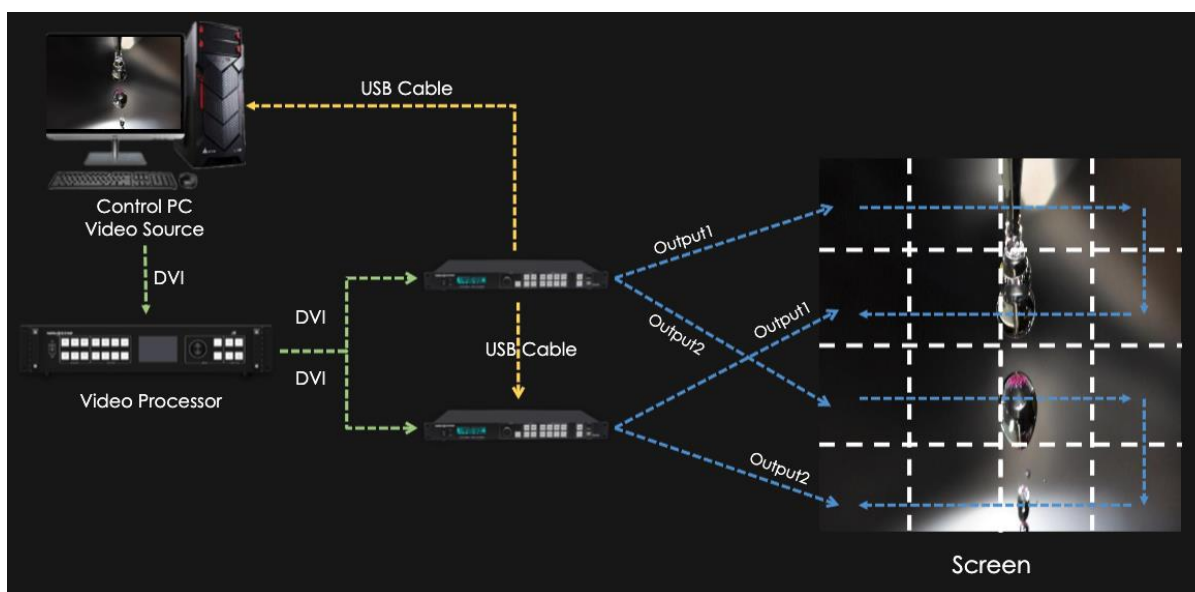
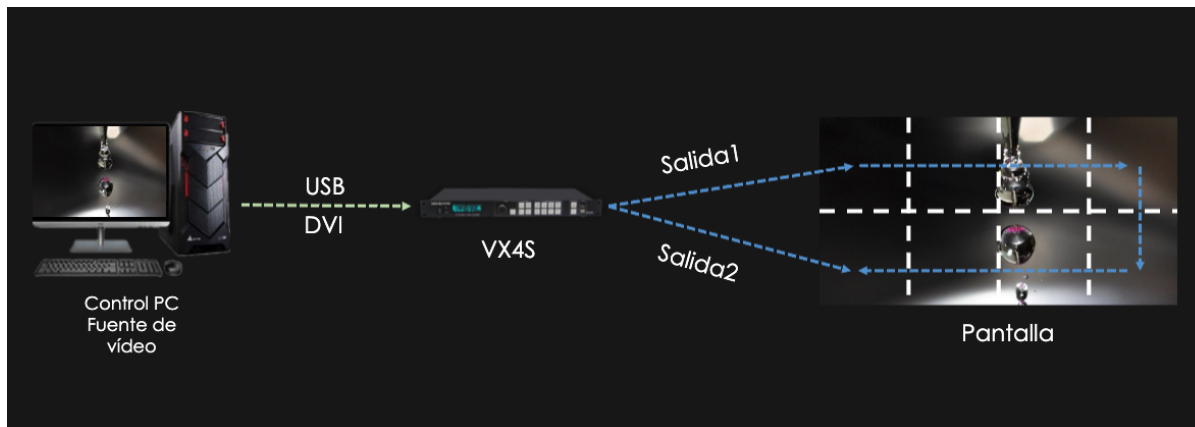
En entornos de retransmisión, la aparición de parpadeos en cámara, aun cuando la imagen parece estable a simple vista, pone de manifiesto la importancia de la sincronización entre sistemas. Este fenómeno se debe a la interacción entre la frecuencia de refresco de la pantalla y la frecuencia de captura de la cámara, y su resolución requiere ajustes en la configuración temporal del sistema.

11.6 Redundancia y continuidad operativa

En sistemas profesionales, la continuidad del servicio es un requisito fundamental, lo que ha llevado al desarrollo de estrategias de redundancia que permiten mantener el funcionamiento incluso en caso de fallo.

La redundancia de señal se basa en la duplicación de las rutas de transmisión, de modo que si una de ellas falla, la otra puede asumir su función sin interrupción perceptible. Este sistema requiere una configuración adecuada para que el cambio entre rutas sea automático y transparente. De forma similar, la redundancia en la alimentación eléctrica permite evitar apagones totales del sistema.

En entornos de alta exigencia, como producciones televisivas o grandes espectáculos, es habitual disponer también de equipos de respaldo, como procesadores o media servers duplicados. Estos sistemas pueden activarse rápidamente en caso de fallo del equipo principal, minimizando el impacto sobre el evento.



Redundancia con un solo procesador (superior) o con dos procesadores (inferior). Sistema Novastar.

12. Conclusión

Integración de conocimientos y proyección profesional

El estudio de las pantallas LED en el ámbito de los grandes espectáculos audiovisuales permite comprender la convergencia de múltiples disciplinas técnicas que, en conjunto, hacen posible la representación visual en entornos de alta exigencia. A lo largo de esta unidad se ha analizado el sistema LED desde una perspectiva integral, abordando tanto sus fundamentos físicos como su arquitectura electrónica, su flujo de señal, sus sistemas de control y su implementación práctica en contextos reales.

Uno de los aspectos más relevantes que se desprende de este análisis es que una pantalla LED no debe considerarse un dispositivo aislado, sino un sistema complejo en el que interactúan elementos de naturaleza diversa. La emisión de luz por parte de los diodos, el control de corriente mediante drivers, la distribución de datos a través de redes digitales y la integración estructural mediante sistemas de rigging forman parte de un mismo conjunto funcional que debe operar de forma coordinada. Esta visión sistémica es esencial para el técnico audiovisual, ya que le permite comprender las interdependencias entre los distintos componentes y anticipar el comportamiento del sistema ante diferentes condiciones de operación.

Asimismo, la evolución tecnológica del sector ha introducido nuevas exigencias en términos de calidad de imagen, como la gestión avanzada del color o la implementación de alto rango dinámico (HDR). Estos desarrollos han desplazado el foco desde una concepción puramente funcional de la pantalla hacia un enfoque en el que la precisión cromática, la uniformidad y la fidelidad visual son elementos críticos. En este contexto, el conocimiento de procesos como la calibración por píxel, el uso de LUTs o la adaptación a espacios de color estandarizados se convierte en una competencia imprescindible.

Desde el punto de vista operativo, la unidad ha puesto de manifiesto que el trabajo del técnico no se limita a la configuración inicial del sistema, sino que incluye la monitorización continua, el diagnóstico de fallos y la toma de decisiones en tiempo real. La capacidad para interpretar síntomas visuales, identificar su origen y aplicar soluciones eficaces bajo presión constituye una de las habilidades más valoradas en entornos profesionales.

Por otro lado, el análisis de los sistemas de control actuales ha evidenciado que la elección de la tecnología adecuada depende del contexto de aplicación. No existe una solución universal, sino que cada sistema responde a una filosofía de diseño orientada a necesidades específicas, como la flexibilidad en eventos, la precisión en producción audiovisual o la baja latencia en entornos de producción virtual.

Finalmente, el estudio del montaje físico y del rigging ha permitido comprender que la seguridad y la estabilidad estructural son condiciones indispensables para cualquier instalación LED. La correcta aplicación de principios de ingeniería en el diseño y montaje de estructuras garantiza no solo la integridad del sistema, sino también la protección de las personas implicadas.

13. Actividades prácticas, ejercicios y evaluación

13.1 Actividades de comprensión y análisis técnico

Las actividades de este bloque tienen como objetivo consolidar los conceptos fundamentales mediante su aplicación razonada.

Una primera actividad consiste en el análisis de una instalación LED real, ya sea a partir de documentación técnica o de un caso práctico proporcionado por el docente. El alumnado deberá identificar los diferentes componentes del sistema — módulos, cabinets, sistema de control, distribución de señal— y describir su función dentro del conjunto. Este ejercicio permite reforzar la comprensión de la arquitectura del sistema y de las relaciones entre sus elementos.

Otra actividad relevante es el estudio del flujo de señal. En este caso, se propone al alumnado que describa detalladamente el recorrido de una señal de vídeo desde su origen hasta la emisión luminosa en la pantalla, identificando cada una de las transformaciones que se producen. Este ejercicio favorece la comprensión del sistema como una cadena de procesamiento continuo.

13.2 Actividades de cálculo y dimensionado

◆ BLOQUE 1 – CÁLCULO DE RESOLUCIÓN

Actividad 1

Enunciado:

Una pantalla LED mide **5 m de ancho por 3 m de alto** y tiene un pixel pitch de **5 mm**. Calcula la resolución total.

Resultado:

1000 x 600 píxeles

Actividad 2

Enunciado:

Una pantalla de **8 m x 4,5 m** tiene un pixel pitch de **3,9 mm**. Calcula su resolución.

Resultado:

≈ **2051 x 1154 píxeles**

Actividad 3

Enunciado:

Una pantalla de **12 m x 6 m** con pitch **6 mm**. Calcula la resolución y compárala con Full HD.

Resultado:

2000 x 1000 píxeles (más ancho que Full HD, menos alto)

Actividad 4

Enunciado:

Pantalla de **3,84 m x 2,16 m** con pitch **1,5 mm**. ¿Qué resolución tiene?

Resultado:

2560 x 1440 (2K)

Actividad 5

Enunciado:

Pantalla de **10 m x 2,5 m**, pitch **4 mm**. Calcula resolución y formato.

Resultado:

2500 x 625 píxeles, formato ultra panorámico (~4:1)

◆ BLOQUE 2 – DIMENSIONES Y PITCH

Actividad 6

Enunciado:

Una pantalla tiene **1920 píxeles horizontales** y pitch de **2,5 mm**. Calcula su ancho físico.

Resultado:

4,8 metros

Actividad 7

Enunciado:

Pantalla de **1280 x 720 píxeles**, pitch **5 mm**. Calcula sus dimensiones.

Resultado:

6,4 m x 3,6 m

Actividad 8

Enunciado:

Pantalla de **3840 x 2160 píxeles**, pitch **1,2 mm**. Calcula tamaño físico.

Resultado:

≈ 4,6 m x 2,6 m

Actividad 9

Enunciado:

Una pantalla mide **6 m de ancho** y tiene **1500 píxeles horizontales**. Calcula el pitch.

Resultado:

4 mm

Actividad 10

Enunciado:

Pantalla de **4 m x 3 m** con resolución **800 x 600**. Calcula el pitch.

Resultado:

5 mm

BLOQUE 3 – DISTANCIA ÓPTIMA DE VISUALIZACIÓN

Actividad 11

Enunciado:

Pantalla con pitch **2,6 mm**. Calcula la distancia mínima de visualización.

Resultado:

2,6 metros

Actividad 12

Enunciado:

Pantalla con pitch **10 mm**. ¿A qué distancia se debe ver?

Resultado:

10 metros

Actividad 13

Enunciado:

Pantalla con pitch **1,9 mm**. Determina distancia óptima y tipo de uso.

Resultado:

1,9 metros, uso interior

Actividad 14

Enunciado:

Pantalla con pitch **6 mm**. Calcula distancia óptima.

Resultado:

6 metros

Actividad 15

Enunciado:

Compara dos pantallas:

A: pitch 3 mm

B: pitch 8 mm

¿Cuál es mejor para interior?

Resultado:

Pantalla A (3 mm)

◆ BLOQUE 4 – APLICACIÓN REAL

Actividad 16

Enunciado:

Diseña una pantalla para un público situado a **20 metros**. ¿Qué pitch elegirías?

Resultado:

≈ **16–20 mm**

Actividad 17

Enunciado:

Pantalla de **15 m de ancho** con pitch **4,8 mm**. Calcula resolución horizontal.

Resultado:

≈ **3125 píxeles**

Actividad 18

Enunciado:

Pantalla para una sala con público a **3 m**. ¿Qué pitch recomendarías?

Resultado:

2–3 mm

Actividad 19

Enunciado:

Pantalla de **7 m x 4 m**, pitch **2,9 mm**. Calcula resolución total.

Resultado:

≈ **2414 x 1379 píxeles**

Actividad 20

Enunciado:

Compara dos pantallas de 6 x 4 m:

A: pitch 5 mm

B: pitch 2,5 mm

¿Cuál tiene mejor calidad?

Resultado:

Pantalla A → **1200 x 800**

Pantalla B → **2400 x 1600**

👉 **Mejor: Pantalla B**

13.3 Prácticas de configuración y operación

Las prácticas de este bloque tienen un carácter aplicado y están orientadas al desarrollo de habilidades operativas.

En una práctica de configuración, el alumnado trabajará con software de control (como NovaLCT o equivalente) para definir el mapping de una pantalla simulada. Deberá asignar correctamente los cabinets, configurar los puertos de salida y verificar la correcta representación de la imagen. Este ejercicio permite comprender la relación entre la estructura física y la señal digital.

En una práctica de diagnóstico, se simularán fallos en el sistema, como pérdida de señal en un módulo o errores de mapping. El alumnado deberá identificar el problema a partir de los síntomas y proponer una solución.

13.4 Actividades de integración y proyecto

Como actividad final, se propone el desarrollo de un proyecto en el que el alumnado diseñe una instalación LED completa para un evento específico (por ejemplo, un concierto, un congreso o un plató de televisión).

El proyecto deberá incluir:

- Definición de la pantalla (tamaño, resolución, tipo de módulo).
- Diseño del sistema de control.
- Esquema de distribución de señal.
- Propuesta de montaje estructural.
- Análisis de riesgos y medidas de seguridad.

Finalmente, operará la pantalla durante el evento y realizará una memoria con toda la información precedente.