

CRISTALES LÍQUIDOS DISPERSOS EN POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN EN LA ARQUITECTURA.

Autor: Juan Vicente Orosa García

Tutor: Santiago Tormo Esteve

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Curso 2019_2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

ÍNDICE

-	RESUMEN	
o	CASTELLANO	
o	INGLÉS	
o	VALENCIANO	
-	MOTIVACIÓN	
-	OBJETIVOS	
-	1. INTRODUCCIÓN.....	PÁG 09
-	2. PRÓLOGO.....	PÁG 11
o	2.1 POLÍMEROS.....	PÁG 11
o	2.2 CRISTAL LÍQUIDO.....	PÁG 12
-	3. CRISTALES LÍQUIDOS DISPERSOS EN POLÍMEROS.....	PÁG 14
o	3.1 DEFINICIÓN.....	PÁG 14
o	3.2 HISTORIA.....	PÁG 15
o	3.3 ESTRUCTURA.....	PÁG 16
▪	3.3.1 ENSAMBLADO EN FÁBRICA.....	PÁG 16
▪	3.3.2 ADHERIDO SOBRE VIDRIO EXISTENTE....	PÁG 17
o	3.4 FUNCIONAMIENTO.....	PÁG 18
o	3.5 PROPIEDADES.....	PÁG 19
▪	3.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS.....	PÁG 19
▪	3.5.2 PROPIEDADES ÓPTICAS.....	PÁG 20
▪	3.5.3 PROPIEDADES ELÉCTRICAS.....	PÁG 21
▪	3.5.4 PROPIEDADES QUÍMICAS.....	PÁG 21
o	3.6 INSTALACIÓN.....	PÁG 22
▪	3.6.1 ENSAMBLADO EN FÁBRICA.....	PÁG 22
▪	3.6.2 ADHERIDO SOBRE VIDRIO EXISTENTE....	PÁG 23
o	3.7 MANTENIMIENTO.....	PÁG 23
o	3.8 DETALLE CONSTRUCTIVO.....	PÁG 24
o	3.9 PUESTA EN OBRA.....	PÁG 25
▪	3.9.1 ADHERIDO SOBRE VIDRIO EXISTENTE....	PÁG 25
▪	3.9.2 ENSAMBLADO EN FÁBRICA.....	PÁG 25
o	3.10 TIPOLOGÍA.....	PÁG 31
o	3.11 FORMAS.....	PÁG 32
o	3.12 CONTROL DEL PANEL.....	PÁG 33
▪	3.12.1 INTERRUPTOR.....	PÁG 33
▪	3.12.2 MANDO A DISTANCIA.....	PÁG 34
▪	3.12.3 APP MÓVIL.....	PÁG 34
▪	3.12.4 OTROS.....	PÁG 35

- 4.	APLICACIONES.....	PÁG 36
○ 4.1	SECTOR RESIDENCIAL.....	PÁG 37
○ 4.2	SECTOR COMERCIAL.....	PÁG 38
○ 4.3	SECTOR HOTELERO.....	PÁG 40
○ 4.4	SECTOR EMPRESARIAL.....	PÁG 41
○ 4.5	OTROS SECTORES	PÁG 42
- 5.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A UN MATERIAL MÁS TRADICIONAL.....	PÁG 44
- 6	PROPUESTAS.....	PÁG 45
○ 6.1	PROPUESTA 1: CABINAS DE ESTUDIO.....	PÁG 45
○ 6.2	PROPUESTA 2: SALA DE EXPOSICIONES.....	PÁG 47
○ 6.3	PROPUESTA 3: SALA REUNIONES + DESPACHO...PÁG 49	
○ 6.4	PROPUESTA 4: ESCAPARATE PHONE HOUSE.....	PÁG 51.
- 7	PRESUPUESTO.....	PÁG 52
- 8	VIABILIDAD – ANÁLISIS FODA.....	PÁG 54
- 9	CONCLUSIONES.....	PÁG 56
- 10	REFERENCIAS.....	PÁG 58
○ 10.1	BIBLIOGRAFÍA DOCUMENTAL.....	PÁG 58
○ 10.2	BIBLIOGRAFÍA GRÁFICA.....	PÁG 62
○ 10.3	SOFTWARE EMPLEADO.....	PÁG 70

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo de final de grado se basa en analizar, comparar y proponer diferentes usos para los cristales líquidos dispersos en polímeros. Este material se presenta en forma de lámina adherida al vidrio preexistente o ensamblado en fábrica haciendo un conjunto único y compacto a partir de las láminas y vidrios que lo forman, este panel puede cambiar su apariencia de estado opaco a estado transparente aplicándose una corriente eléctrica. Se analizarán los componentes internos que lo forman, las propiedades que caracterizan al material, su amplia tipología, así como su puesta en obra, mantenimiento y presupuesto. Se hará una comparación del material respecto a un material más tradicional estableciendo una serie de ventajas y desventajas con el fin de sacar una conclusión respecto a los cristales líquidos dispersos en polímeros. Una vez obtenidas esta serie de informaciones se propondrán posibles aplicaciones para dicho material y se valorará su viabilidad bajo una perspectiva de futuro.

Palabras clave: #PDLC #VIDRIO #OPACO #TRANSPARENTE #ARQUITECTURA

ABSTRACT:

This final degree project objective is based on analyzing, comparing and proposing different uses in the architectural field for dispersed liquid crystals in polymers, PDLCs. This material is presented in the form of a sheet adhered to the glass and can change its appearance from an opaque state to a transparent state by applying an electric current. The internal components that form it, its properties, its placement, maintenance, and budget will be analyzed. A comparison of the material respecting traditional material will be done establishing a series of advantages and disadvantages in order to draw a conclusion regarding liquid crystals dispersed in PDLCs polymers. Once this series of information is obtained, possible applications for said material will be proposed. Its feasibility will be assessed under a future perspective.

Keywords: #PDLC #GLASS #OPAQUE #TRANSPARENT #ARCHITECTURE

RESUM:

L'objectiu d'aquest treball de final de grau es basa en analitzar, comparar y proposar diferents usos, per els cristalls líquids dispersos en polimers, PDLCs. Aquest material es presenta en forma de làmina adherida al vidre o situada dins de la càmera d'aire entre dos vidres i pot canviar la seua semblança d'estat transparent a opac aplicant una corrent elèctrica. S'analitzaran els components interns dels que esta format, les propietats, la col·locació, manteniment i el presupost. Es farà una comparació del material respecte a un altre material més tradicional establint una sèrie de avantatges i desavantatges amb la finalitat d'obtenir una conclusió respecte als cristalls líquids dispersos en polimers, PDLCs. Una vegada obtinguda aquesta sèrie d'informacions es proposaran aplicacions arquitectòniques y es valorarà la viabilitat del material baix una perspectiva de futur.

Paraules clau: #PDLC #VIDRE #OPAC #TRANSPARENT #ARQUITECTURA

OBJETIVOS:

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de grado trata de analizar, comparar y proponer diferentes usos para los cristales líquidos dispersos en polímeros. Se analizarán los componentes internos que lo forman, las propiedades que caracterizan al material, su amplia tipología, así como su puesta en obra, mantenimiento y presupuesto. Además, se hará una comparación del material con respecto a otro material más tradicional estableciendo así una serie de ventajas y desventajas con el fin de obtener una conclusión respecto a la utilización de los cristales líquidos dispersos en polímeros. Una vez obtenida esta serie de informaciones se propondrán posibles aplicaciones para dicho material en el ámbito arquitectónico y se valorará su viabilidad bajo una perspectiva de futuro.

MOTIVACIÓN:

Recuerdo que desde muy pequeño, lo que más llamaba mi atención de los nuevos juguetes era descubrir que tenían en su interior, desmontaba cada uno de ellos sin el éxito de volver a montarlos a su estado inicial pero me sentía exhausto por descubrir que era aquello que albergaban, esos primeros signos de curiosidad que me han costado más de una riña se plasman a día de hoy buscando lo último en innovación, centrando mi carrera profesional en las nuevas tecnologías e investigando día a día sobre nuevos avances y mejoras. Pudiendo decir que a día de hoy esa curiosidad sigue presente más que nunca en mí.

La idea de este Trabajo Final de Grado nació aproximadamente hace unos tres años, en el transcurso de una clase de materiales de construcción, en un pequeño apartado dedicado a los materiales avanzados se hablaba del material que se utilizó para la envolvente del Allianz Arena en Munich compuesta por paneles de ETFE un compuesto formado por copolímero de etileno-tetrafluoretileno. En el que cada panel podía iluminarse de manera independiente de color blanco, rojo o azul. Según el equipo que jugara en el estadio.

Vino a mi cabeza lo interesante que sería emplear algo parecido en escaparates haciendo que se volvieran opacos para así evitar persianas ya que ciertos días atrás comentábamos la problemática que ocasionaban.

Los años pasaban y seguía pensando que ese tenía que ser el tema de mi Trabajo de Final de Grado y aquí está, después de varios meses de investigación y a pocas semanas de aplicarlo en un proyecto real que está en proceso de construcción en el estudio donde trabajo me siento muy orgulloso de conocer más sobre este material del que estoy seguro que a corto plazo dará mucho que hablar.

1. INTRODUCCIÓN:

A lo largo de la historia de la humanidad ciertos inventos han impulsado la evolución mejorando las condiciones de vida y facilitando el desarrollo de la especie, empezando por el lenguaje o la agricultura pasando por la rueda o la penicilina. El hombre es curioso por naturaleza y esta curiosidad es la que lo ha traído hasta este punto.

Entre finales del siglo XX y principios del siglo XXI la tecnología ha avanzado a pasos agigantados siendo esto posible gracias a inventos revolucionarios, proyectos ambiciosos y desarrollos tecnológicos que crecen de manera exponencial, sin olvidar como señala Venkatraman Ramakrishnan, científico galardonado con el Premio Nobel de Química en 2009 y presidente de la Royal Society que “Los inventos modernos a menudo se basan en descubrimientos que tienen unos cientos de años de antigüedad”.^[1]

La tecnología avanza y lo que hace un par de años era impensable ahora se hace realidad. En el ámbito arquitectónico, no hace falta echar la vista decenas de años atrás para darnos cuenta de las novedades vanguardistas que están cambiando el panorama actual. Impresoras 3D que irrumpen en el sector creando modelos a escala, viviendas modulares creadas a base de capas y capas de hormigón que están ejecutadas en horas. Drones con cámaras integradas que analizan el terreno con el fin de crear infografías en tres dimensiones, viviendas sostenibles con un consumo energético nulo.^{[2][3]}



Figura 1: Casa de hormigón impresa en 3D.



Figura 2: Infografía 3D realizada a partir de la imagen de un dron.

Materiales como el vidrio acompañan al ser humano a lo largo de su historia. *“Probablemente el vidrio es el material más antiguo producido por el hombre que se ha usado sin interrupción desde el principio de la historia registrada. [...] Los hallazgos más antiguos se remontan al 7000 a.C., en el periodo neolítico.”*^{1}

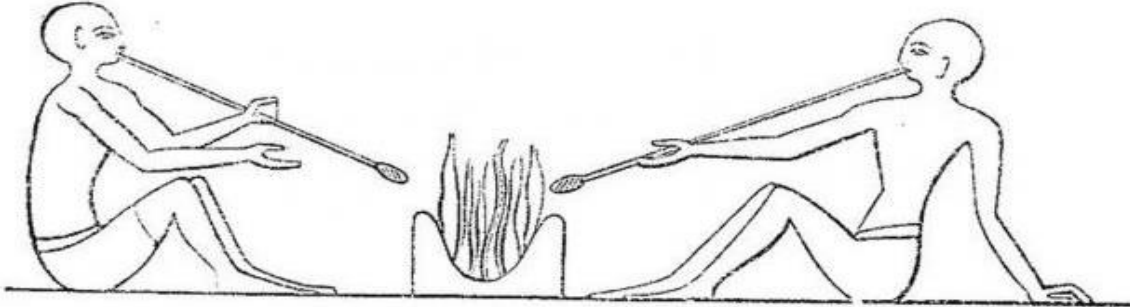


Figura 3: Proceso de elaboración del vidrio en la antigüedad.

La función principal del vidrio no ha variado a lo largo de la historia, esta función es la de protegerse del exterior y al mismo tiempo permitir que penetre la luz natural al interior, lo que si ha cambiado son las técnicas de fabricación que distan mucho de las de aquel entonces, en la actualidad encontramos una gran variedad de tipos de vidrio para innumerables aplicaciones, así como complementos que hacen poseer al vidrio de una serie de ventajas que mejoran las propiedades iniciales, uno de estos complementos, protagonista de este Trabajo Fin de Grado, se puede presentar en forma de panel adherido al vidrio preexistente, en el interior de una cámara de aire formada por dos vidrios o ensamblada en fábrica junto a dos vidrios formando un conjunto único y compacto, este panel puede cambiar su apariencia de estado opaco a estado transparente aplicando una corriente eléctrica. Esta nueva gestión sobre la privacidad a gusto del usuario nos abre un sinfín de nuevas aplicaciones escribiendo un nuevo capítulo en la historia de este material.^[4]



Figura 4: Cambio de estado transparente a estado opaco de una sala de reuniones.

2. PRÓLOGO:

Para el correcto análisis del panel se introduce en primera instancia una breve descripción de dos componentes principales, los polímeros y los cristales líquidos.

2.1 POLÍMEROS:

“El término polímero engloba una extensa variedad de materiales tanto naturales como sintéticos. Muchos de ellos han sido y siguen siendo de gran utilidad en nuestra sociedad”.^{2}

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros. Estos forman largas cadenas que se unen entre sí por fuerzas de Van der Waals.^[5]

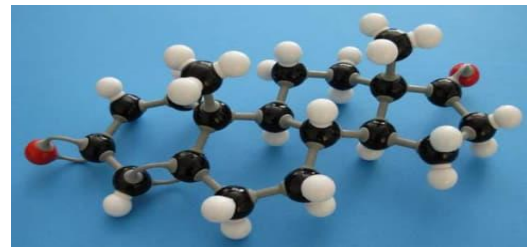


Figura 5: Representación de una estructura polimérica.

Los polímeros naturales han estado presentes en la tierra desde sus comienzos. Los primeros polímeros artificiales se obtuvieron a base de la transformación de polímeros naturales a mediados del siglo XIX. El primer polímero totalmente sintético, la baquelita, fue desarrollado por el químico estadounidense Leo Hendrik Baekeland. Este producto tuvo un gran éxito debido a sus propiedades ya que se le podía dar la forma deseada antes de que se enfriara, no conducía la electricidad y era resistente al agua y los disolventes. Pronto surgieron otros polímeros que revolucionarían esta industria como el poliestireno y el policloruro de vinilo (PVC). Estos polímeros fueron sustitutos del caucho y se usaron para la creación de objetos y utensilios de la vida cotidiana.^[6]

Esta industria volvió a sufrir otro gran avance en la segunda guerra mundial. *“La segunda guerra mundial trajo consigo, además de innumerables desgracias, un gran avance en la investigación de estos materiales. La emigración a América del Norte de numerosos científicos, sobre todo centroeuropeos, como consecuencia de la guerra fue uno de los factores que propiciaron la investigación en el campo de los polímeros”.*^{3}

Debido a que la mayoría de los países no recibía materias primas, se vieron obligados a desarrollar nuevos polímeros para cubrir sus necesidades, como ejemplo, Alemania utilizaba caucho sintético para las ruedas de los tanques o el Nylon que fue el primer plástico de alto rendimiento, siendo un polímero sintético que pertenece al grupo de las poliamidas, éstas son fibras constituidas por la repetición de unidades con uniones amidas entre ellas, fue desarrollado por los Estados Unidos y usado para fabricar textiles como paracaídas o prendas. ^{[7][8]}



Figura 6: El nylon surgió en el siglo XX como un material bélico para elaborar paracaídas y cuerdas.

A día de hoy, los polímeros sintéticos han ido reemplazando a los naturales en numerosos campos debido a la facilidad de transformación, a sus mejores propiedades mecánicas y a su resistencia frente a la acción de sustancias químicas agresivas. La mayor parte de las actividades de nuestra vida cotidiana dependen esencialmente del empleo de polímeros tales como el papel, la seda, plásticos, pinturas, resinas y gomas entre otros. ^[9]

2.2 CRISTAL LÍQUIDO:

Los cristales líquidos tienen como uso más común su utilización en dispositivos electrónicos como lo son ordenadores, tablets, teléfonos, televisiones. Actualmente la mayoría de las pantallas que vemos están formadas por cristales líquidos.



Figura 7: Dispositivos que utilizan cristal líquido en sus pantallas.

Friedrich Reinitzer fue pionero en el descubrimiento de este material, observó que al calentar el benzoato de colesteril a 145,5 grados centígrados la sustancia no cambiaba a un líquido claro, sino a un fluido turbio. Y al calentarlo a 178,5 grados centígrados se tornaba de nuevo a un líquido claro. Así demostró que esta sustancia tenía dos puntos de fusión.^[10]

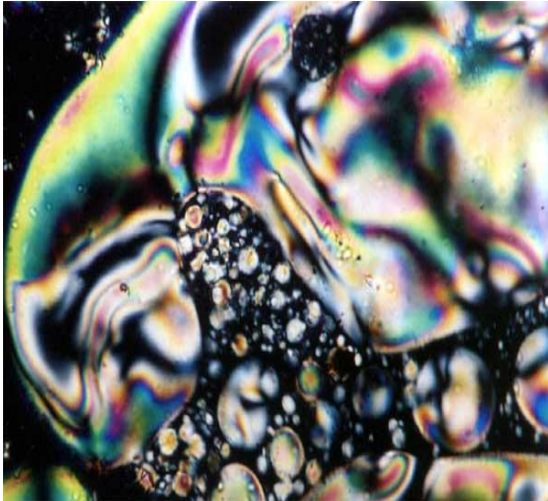


Figura 8: Apariencia del cristal líquido I.

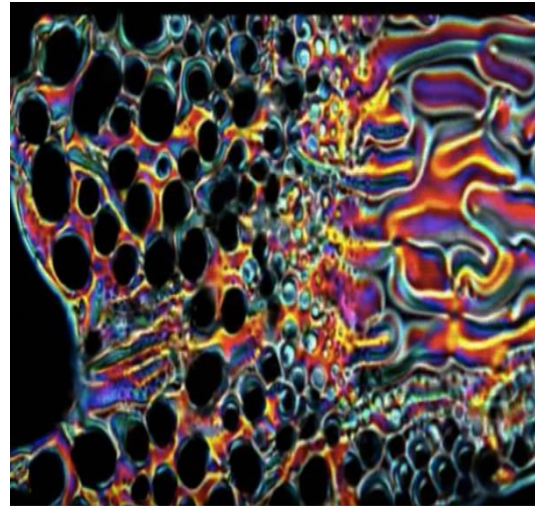


Figura 9: Apariencia del cristal líquido II.

Los cristales líquidos son sustancias que comparten características de los líquidos, pero también características de los sólidos. En un líquido, las moléculas se encuentran de forma desordenada y sin una posición fija. Por otra parte, en un sólido, las moléculas se encuentran unidas unas a otras de forma rígida, pero siguiendo algún tipo de patrón que las ordena. El término 'cristal' se refiere a materiales que tienen una estructura ordenada, pero en un cristal líquido, a diferencia de un líquido normal, la posición de las moléculas está de manera ordenada. Lo que lo hace distinto a un líquido ordinario. Aunque la posición de las moléculas sea aleatoria, su orientación puede ser alineada unas con otras en un patrón y eso es lo que crea una estructura ordenada, como en los sólidos.^[11]

Según como se ordenen dichas moléculas, se pueden clasificar tres tipos de cristales líquidos: nemáticos, esmétricos y colestéricos. La mayoría de éstos responden fácilmente a los campos eléctricos y así exhiben distintas propiedades ópticas según la presencia o ausencia del campo eléctrico.^[12]

3. CRISTALES LÍQUIDOS DISPERSOS EN POLÍMEROS:

3.1 DEFINICIÓN:

Los cristales líquidos dispersos en polímeros cuya abreviación se conoce como PDLC, se presentan en forma de lámina constituyendo un panel. Uno de los componentes principales del panel se trata de la matriz polimérica de cristales líquidos que puede variar sus propiedades ópticas de forma reversible orientando sus cristales con la tensión eléctrica, pasando de estado opaco a estado transparente. El panel PDLC se puede adherir al vidrio existente o puede colocarse tanto en el interior de una cámara de aire como ensamblarse junto a dos vidrios formando un conjunto único y compacto.

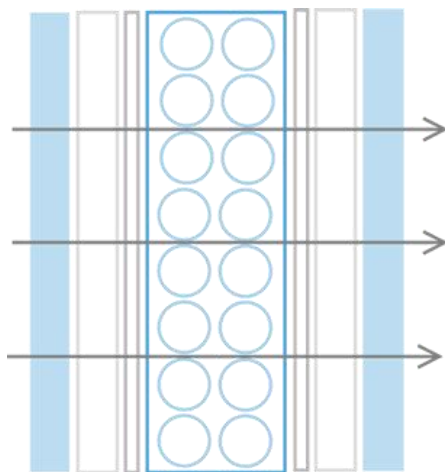


Figura 10: Alineación de partículas de cristal líquido al aplicarse una corriente eléctrica.

(ESTADO TRANSPARENTE)

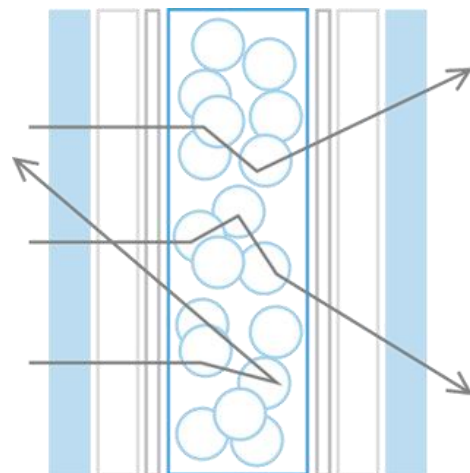


Figura 11: Desorden de partículas de cristal líquido al no haber corriente eléctrica aplicada.

(ESTADO OPACO)

El panel PDLC ofrece la posibilidad de modificar las características del vidrio sin cambiar ventanas o la estructura del edificio. Para que este funcione basta un campo eléctrico que aplicado de manera correcta alinea las partículas de la matriz polimérica de cristal líquido permitiendo el paso de la luz a través del panel, una vez cesa la corriente eléctrica las partículas vuelven a desordenarse y el panel vuelve a su estado opaco de manera casi instantánea.^[13]

3.2 HISTORIA:

A principios del siglo XX surgió la idea de dispersar partículas micrométricas en un polímero con la intención de disipar la luz selectivamente.

Edwin Herbert Land, científico e inventor estadounidense, patentó un material polarizador de la luz formado a partir de una matriz polimérica transparente en la que se dispersaban pequeños cristales.^[14]

Se había seleccionado el polímero para que su índice de refracción fuera el mismo a uno de los índices de refracción principales del cristal. El panel formado permitía el paso de uno de los componentes de polarización de la luz mientras que dispersaba el otro fuera del camino del haz.

Este método fue extendido por Hilsum a mediados de 1970, quien introdujo el uso de cristales líquidos como el medio birrefringente. Su idea suponía una ventaja adicional, ya que la birrefringencia del medio podía ser controlada por la aplicación de un campo eléctrico.

En 1982 se creó el primer PDLC que utilizaba cristal líquido confinado. Éste se utilizó en la fabricación de un dispositivo electro-óptico formado por dos placas de vidrio conductoras, entre las cuales se colocó un filtro microporoso permeado con cristal líquido. La orientación del cristal líquido dentro de los poros podía ser controlada eléctricamente para producir una variación en el índice de refracción. Cuando el índice de refracción coincidía con el del filtro microporoso, el material era transparente.^[15]



Figura 12: Ejemplo de malla polimérica con cristales líquidos dispersos en estado transparente y estado opaco.

3.3 ESTRUCTURA:

En la actualidad se encuentran 2 tipos de paneles PDLC, uno de ellos ensamblado en fábrica formando un conjunto único y compacto compuesto por las láminas y los vidrios y el otro, un panel formado por el conjunto de láminas necesario que se adhiere al vidrio existente. La compatibilidad entre el vidrio y el conjunto de láminas es total.^[16]

3.3.1 PANEL ENSAMBLADO EN FÁBRICA:

Este tipo de panel se ensambla en fábrica a alta presión y temperatura creando un elemento compacto de una pieza que está formado a partir de los siguientes elementos:

- 1 Vidrio: Posibilidad de emplear vidrio coloreado o incoloro, curvo o plano, con diferentes formas geométricas y grosores.
- 2 Lámina PVB: Capa transparente que actúa de enlace entre el vidrio y la lámina ITO-PET.
- 3 Lámina ITO-PET: Lámina transparente conductora.
- 4 Lámina formada por matriz polimérica de cristal líquido: Las moléculas de cristal líquido que forman esta lámina se orientan de forma aleatoria y al verse estimuladas por una corriente eléctrica, se alinean, lo que permite el paso de la luz que incide sobre ellas.
- 3 Lámina ITO-PET: Lámina transparente conductora.
- 2 Lámina PVB: Capa transparente que actúa de enlace entre el vidrio y la lámina ITO-PET.
- 1 Vidrio: Posibilidad de emplear vidrio coloreado o incoloro, curvo o plano, con diferentes formas geométricas y grosores.^[17]

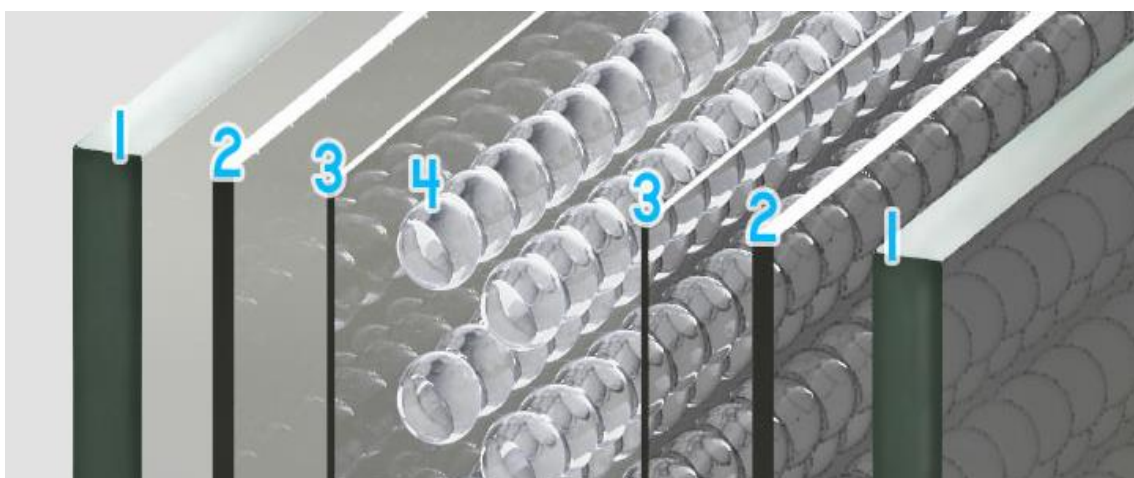


Figura 13: Representación conceptual del conjunto elementos que forman un panel PDLC ensamblado en fábrica.

Tanto los vidrios como el conjunto de láminas se pueden cortar con la forma deseada siempre y cuando se respeten las conexiones eléctricas del material que permiten su correcto funcionamiento.

3.3.2 PANEL ADHERIDO SOBRE VIDRIO EXISTENTE:

Si el panel escogido se presenta adherido al vidrio existente no estará ensamblado en fabrica junto a otros vidrios por lo tanto estará formado a partir del siguiente conjunto de láminas que se adhieren al vidrio existente:

- 1 Vidrio existente: Valido para adherir el panel vidrio coloreado o incoloro, curvo o plano, con diferentes formas geométricas y grosores.
- 2 Lámina adhesiva PVB: Capa transparente autoadhesiva que actúa de enlace entre el vidrio y la lámina ITO-PET.
- 3 Lámina ITO-PET: Lámina transparente conductora.
- 4 Lámina formada por matriz polimérica de cristal líquido: Las moléculas de cristal líquido que forman esta lámina se orientan de forma aleatoria y al verse estimuladas por una corriente eléctrica, se alinean, lo que permite el paso de la luz que incide sobre ellas.
- 3 Lámina ITO-PET: Lámina transparente conductora.
- 2 Lámina PVB: Capa transparente que actúa de enlace entre el vidrio y la lámina ITO-PET.

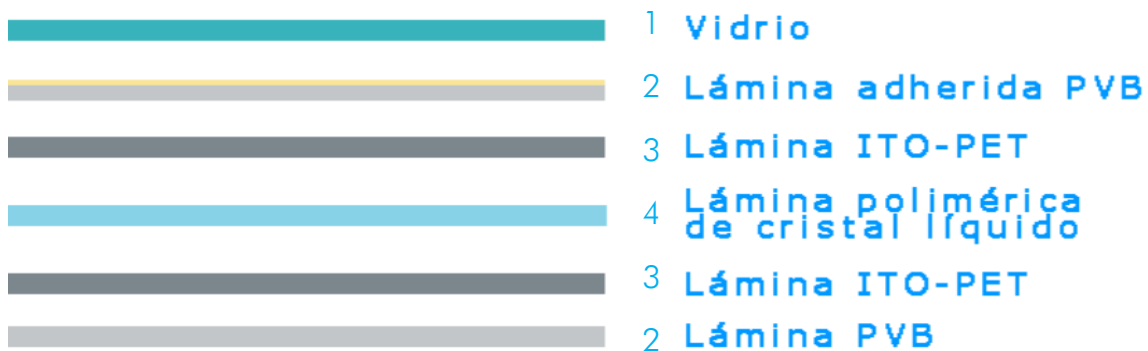


Figura 14: Representación esquemática del conjunto elementos que forman un panel PDLC adherido a un vidrio existente.

El conjunto de láminas se puede cortar con la forma deseada para adaptarse al vidrio existente siempre y cuando se respeten las conexiones eléctricas del material que permiten su correcto funcionamiento. Además, el panel estará protegido a ambos lados por una película delgada que deberá ser retirada en la cara interior al principio de la instalación para poder adherir el panel al vidrio existente y en la cara exterior al final de la instalación con el fin de evitar arañazos o polvo en la superficie durante la manipulación y la colocación.

3.4 FUNCIONAMIENTO:

El panel PDLC puede variar sus propiedades ópticas de forma reversible, es decir, el vidrio se vuelve opaco si a través de él no circula corriente eléctrica y retoma su estado transparente una vez se activa dicha corriente, esto se debe a que la corriente eléctrica es capaz de manipular las propiedades direccionales de las moléculas de cristal líquido haciendo que estas se alineen y permitan el paso de la luz. Las moléculas inmediatamente pierden la orientación y se disponen de forma aleatoria una vez cesa la corriente eléctrica pasando a estado opaco.

Aplicando un campo eléctrico se manipulan propiedades como el índice de refracción. El campo eléctrico rota el eje de las moléculas cuyo vector director se mantiene paralelo al cristal, el estado transparente requiere una transmisión máxima y para ello se utiliza la tensión requerida para que el campo eléctrico rote el vector director 45° .

Para controlar el nivel de transparencia se varía el voltaje, a menor voltaje, menor nivel de transparencia, llegando a estado opaco en ausencia de voltaje aplicado.^[18]

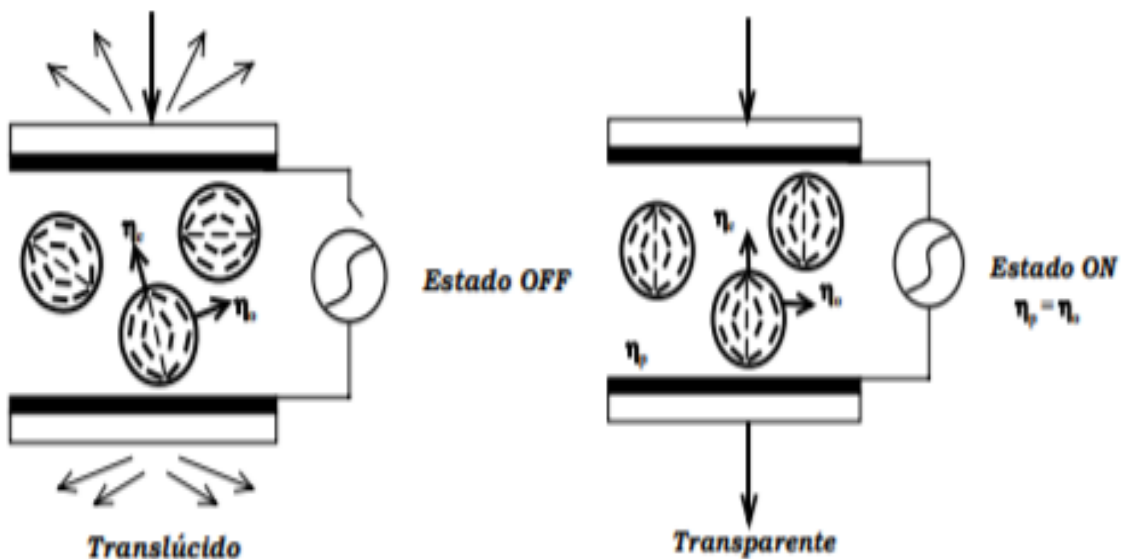


Figura 15: Ilustración del principio de funcionamiento de un PDLC electro-óptico

3.5 PROPIEDADES:

3.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS:

A la hora de hablar sobre las propiedades que ofrece el uso del panel formado por cristales líquidos dispersos en polímeros destacaremos tanto las propiedades físicas como los datos técnicos asociados a las propiedades ópticas, eléctricas y químicas.

Como se ha mencionado en repetidas ocasiones una de las principales virtudes que tiene este material es la posibilidad de controlar a gusto del consumidor el nivel de privacidad en cualquier momento, desde cualquier lugar y de una manera casi instantánea.

Además de esta función destaca la protección solar en espacios que dan al exterior ya que puede llegar a ofrecer, si a la estructura formada se le añaden nuevas capas que actúan como inhibidores ultra violeta un 90% de bloqueo de los rayos ultra violeta y un 30% de los rayos infrarrojos en modo transparente. En modo opaco bloquea el 99% de los UV y el 90% de los infrarrojos. ^[19]

Esto se traduce en un considerable ahorro energético, llegando en alguno de los casos a ser 4 veces más eficiente que el vidrio tradicional, reduciendo así costes de calefacción en invierno manteniendo el ambiente hasta 3° C más cálido y entre 3° C y 10° C más fresco en verano disminuyendo de esta manera el tiempo de uso de aparatos de refrigeración. ^[20]



Figura 16: Ejemplo de uso para un estudio de arquitectura.
(ESTADO TRANSPARENTE)



Figura 17: Ejemplo de uso para un estudio de arquitectura.
(ESTADO OPACO)

3.5.2 PROPIEDADES ÓPTICAS:

En cuanto a las propiedades ópticas, destacar que cuando el panel se encuentra sin corriente que circule a través de ella su aspecto recuerda al del vidrio mate, de un tono blanco opal. En estado apagado impide la visión además de ofrecer una transmisión luminosa superior al 75%.

De forma casi instantánea se puede volver transparente al circular una corriente eléctrica por su interior, el grado de transparencia que puede alcanzar el panel es superior al 95% para observadores que se encuentren perpendiculares a la posición del panel, reduciéndose el porcentaje de transparencia según el ángulo de visión que formen el usuario y el panel. Además del tono blanco opal que presenta en la mayoría de los casos el panel, este se puede emplear con vidrios tintados e incluso con vidrios polarizados estableciendo un nuevo 'Modus Operandi' en la proyección y diseño de espacios con la posibilidad de regular los niveles de oscuridad.^{[21][22]}

Otra de las propiedades a destacar de estos paneles PDLC, muy útil para el ámbito comercial, es que son aptos tanto para la proyección directa como para la retroproyección en alta definición, a través de un retroproyector colocado estratégicamente en el interior del comercio, podemos retroproyectar al exterior un anuncio de la marca, un cartel promocional, imágenes de productos o videos corporativos entre otros. Cabe destacar que para la correcta visualización de lo proyectado en un ambiente exterior a plena luz del día se necesitara una alta potencia luminosa de entre 5000-6000 lúmenes ANSI como mínimo para conseguir un buen contraste.^[23]

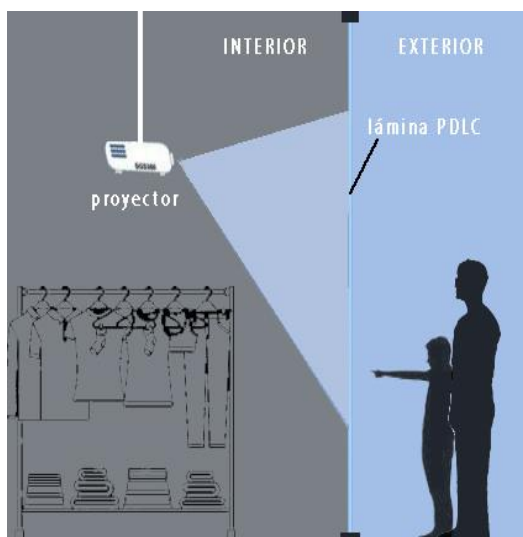


Figura 18: Representación gráfica del funcionamiento de la retroproyección



Figura 19: Ejemplo de panel PDLC adherido a vidrio existente con retroproyección

Dando una vuelta de tuerca más y acercando al presente lo que hasta día de hoy parecería algo digno de una película del futuro, se puede colocar una lámina táctil de vinilo transparente (Foil) que se instala en cualquier punto de la parte interior del vidrio, una vez finalizada la instalación cualquier usuario puede controlar la aplicación multimedia a través del vidrio existente.^[24]

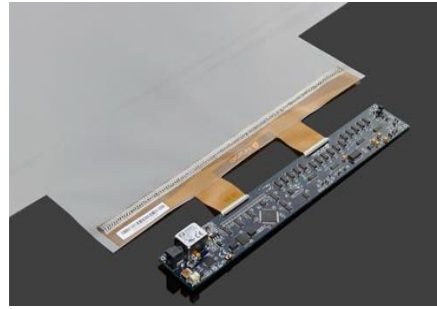


Figura 20: Lámina táctil de vinilo transparente.



Figura 21: Prueba de uso de panel PDLC con lámina táctil sobre vidrio retroproyectado.

3.5.3 PROPIEDADES ELÉCTRICAS:

Con respecto a las propiedades eléctricas del material tanto el panel adherido a un vidrio existente como el conjunto formado por Vidrio-láminas-Vidrio funcionan a través de un transformador que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico con el fin de adaptarse al voltaje requerido. El consumo eléctrico es inferior a 5W/m² sumándole a ello todos los ahorros energéticos que se mencionan en el apartado anterior. La vida útil se estima entorno a las 50.000 horas de uso, es decir, superior a 10 años.^{[19][25]}

3.5.4 PROPIEDADES QUÍMICAS:

En cuanto a las propiedades químicas del panel PDLC se detallan a continuación los componentes principales de cada una de las láminas que lo forman:

- Lámina de PVB: Esta lámina se coloca en las caras exteriores del panel ya que presenta una gran durabilidad, está formada por butiral de polivinilo (PVB) un compuesto químico que se obtiene a partir de la mezcla entre alcohol de polivinilo (PVA) y butiraldehído. Además de la durabilidad destaca en su gran adherencia y transparencia.^[26]
- Lámina conductora ITO-PET: lámina formada por un compuesto químico constituido de óxido de estaño y de óxido de indio. Se trata de un material semiconductor que se presenta en estado líquido y se recubre sobre una película de poliéster (tereftalato de polietileno).^[27]
- Lámina formada por matriz polimérica de cristal líquido: Las moléculas de cristal líquido que forman esta lámina se orientan de forma aleatoria y al verse estimuladas por una corriente eléctrica, se alinean, lo que permite el paso de la luz que incide sobre ellas y esta se vuelve transparente.

3.6 INSTALACIÓN:

Para una correcta instalación del panel PDLC se tienen en cuenta varios factores, el primero de ellos será determinar si este viene ensamblado en fabrica junto al vidrio o se va a adherir a una de las caras de un vidrio existente.

3.6.1 ENSAMBLADO EN FABRICA:

Una vez obtenido el panel en fabrica con las medidas específicas para el lugar donde se va a colocar se tendrá en cuenta que el conjunto formado por las diferentes capas debe ser más estrecho que el ancho del perfil que lo sustentará además se deberá centrar perfectamente a los cuatro lados y el panel siempre deberá estar apoyado sobre unas laminas resistentes a la intemperie y los rayos ultra violeta, láminas como pueden ser las de etileno propileno dieno (EPDM).^[28]

Se colocarán conexiones de entrada y de salida en el panel que junto a un transformador y la debida corriente eléctrica activaran o desactivaran el sistema.

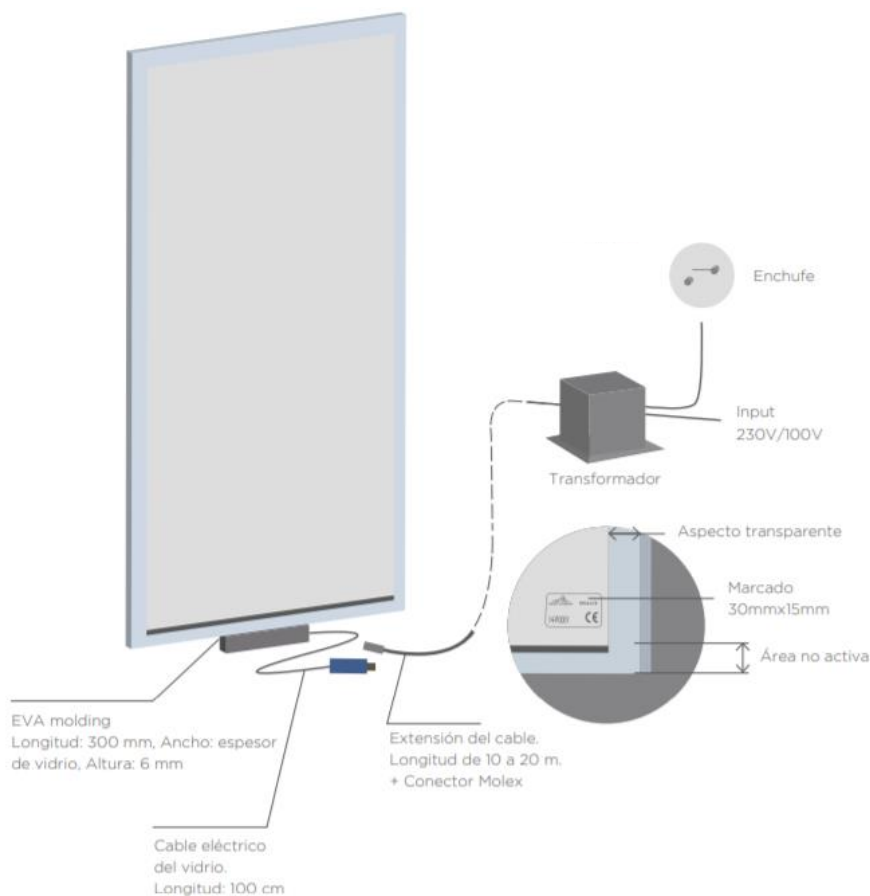


Figura 22: Componentes necesarios para la instalación de un panel PDLC ensamblado en fabrica.

3.6.2 ADHERIDO SOBRE VIDRIO EXISTENTE:

Para una correcta instalación del panel PDLC adherido al vidrio existente se tienen en cuenta varios factores como que la superficie de vidrio a la que se va adherir el panel PDLC debe estar completamente limpia con la intención de eliminar partículas que queden adheridas entre el vidrio y el panel. El panel estará protegido a ambos lados por una película delgada que deberá ser retirada en la cara interior al principio de la instalación para poder adherir el panel al vidrio y en la cara exterior al final de la instalación. Esta capa tiene el propósito de evitar arañazos o polvo en la superficie durante la manipulación y la colocación. El panel contiene las conexiones de entrada y de salida necesarias que junto a un transformador y la debida corriente eléctrica activaran o desactivaran el sistema.

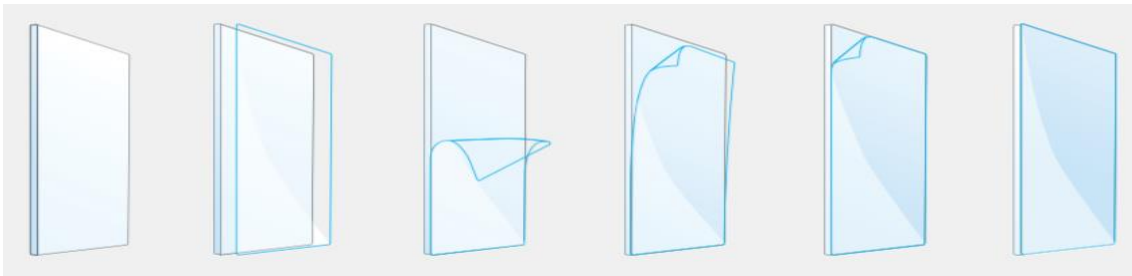


Figura 23: Colocación Panel PDLC adherido sobre vidrio existente.



Figura 24: Panel PDLC para adherir sobre vidrio existente



Figura 25: Embalaje panel PDLC para adherir sobre vidrio existente

3.7 MANTENIMIENTO:

El mantenimiento del panel es similar al mantenimiento de un vidrio común, si el panel se encuentra adherido al vidrio se limpiará en posición de apagado, es decir, en estado opaco, con un paño humedecido ligeramente ya sea con agua o con líquido limpiacristales poniendo especial atención a que el producto limpiacristales no contenga alcohol, amoníaco o acetona ya que cualquiera de estos productos disolverá las láminas que forman el panel.

Si por el contrario el panel se encuentra ensamblado entre dos vidrios, o adherido a uno de los vidrios en el interior de una cámara de aire, el líquido limpia cristales no deberá penetrar a través de los bordes del panel de vidrio ya que disolverá las láminas si este contiene alcohol, amoníaco o acetona. ^[29]

3.8 DETALLE CONSTRUCTIVO:

A continuación se propone una representación gráfica de la carpintería del siguiente tipo de ventana a la que se le adhiere el panel PDLC en la cara interior del vidrio exterior:



Figura 26: Vivienda unifamiliar con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire, estado transparente.



Figura 27: Vivienda unifamiliar con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire, estado opaco.

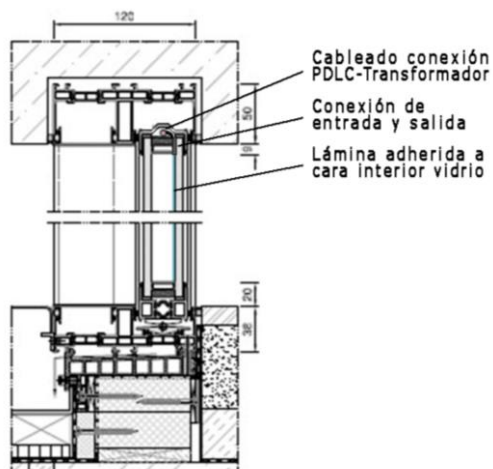


Figura 28: Detalle constructivo

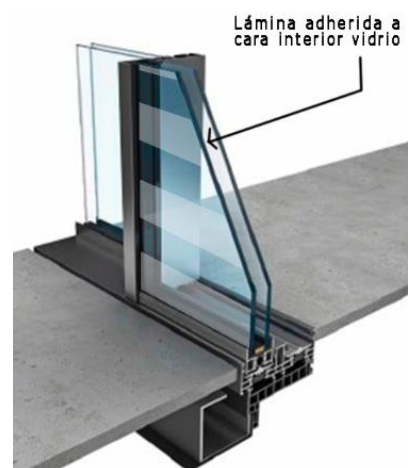


Figura 29: Sección constructiva

3.9 PUESTA EN OBRA:

3.9.1 PUESTA EN OBRA LAMINA ADHERIDA:

Para la correcta puesta en obra de los paneles PDLC adheridos se llevarán a cabo estos sencillos pasos:

- 1- Limpieza de la superficie de vidrio a la que se va adherir el panel PDLC con la intención de eliminar partículas que queden adheridas entre el vidrio y el panel.
- 2- Retirar película de protección de la lámina adhesiva y colocar sobre el vidrio.
- 3- Mediante una espátula se eliminan posibles burbujas de aire generadas en el transcurso del paso anterior.
- 4- Distribución de cableado desde panel hasta transformador de corriente, al ser adherido sobre vidrio existente el cableado se distribuirá sobre la carpintería.
- 5- Retirar película protectora de la cara exterior.

3.9.2 PUESTA EN OBRA PARA PANEL ENSAMBLADO EN FABRICA:

Para la correcta puesta en obra de los paneles PDLC se llevarán a cabo los siguientes pasos.

Se tomará como ejemplo un espacio administrativo con falso techo registrable al que se pretende instalar paneles PDLC ensamblados en fábrica con el objetivo de dotar de privacidad en momentos puntuales a la sala en cuestión.

1-. Desmontaje de falso techo registrable para posterior colocación del transformador eléctrico como fuente de alimentación del panel PDLC.



Figura 30: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 1.

2-. Distribución de cableado para conexiones de entrada y salida del panel PDLC.



Figura 31: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 2.

3-. Colocación de premarco atornillado a pavimento y falso techo para posterior encaje de montante horizontal atornillado sobre premarco superior e inferior.



Figura 32: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 3.

4-. Distribución de montantes verticales y posterior atornillado a paramentos verticales en el caso de apoyar sobre ellos.



Figura 33: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 4.

5-. Perforación de montantes horizontales superiores mediante taladro eléctrico para posterior paso de cableado del panel PDLC y futura conexión entre cableado del panel y cableado del transformador.



Figura 34: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 5.

6-. Desembalaje de los paneles PDLC para su colocación, se deberá centrar perfectamente a los cuatro lados y el panel siempre deberá estar apoyado sobre laminas resistentes EPDM.



Figura 35: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 6.

7-. Colocación de junquillos de sujeción en los cuatro lados de cada panel tanto al interior como al exterior manteniendo el panel perfectamente fijado a la carpintería evitando cualquier movimiento.



Figura 36: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 7.

8-. Distribución y puesta en obra de juntas de acristalamiento elásticas en los cuatro lados de cada panel tanto al interior como al exterior garantizando un alto aislamiento acústico con una correcta colocación.



Figura 37: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 8.

9-. Instalación de elementos de control del panel como interruptores u otros elementos de control, montaje de falso techo una vez finalizada la puesta en obra y comprobado el correcto funcionamiento de todas las conexiones.



Figura 38: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 9.

Una vez finalizado el proceso de colocación y puesta en obra el resultado deberá ser el siguiente en estado ON / OFF



Figura 39: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Acabado final: Estado transparente.



Figura 40: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Acabado final: Estado opaco.

3.10 TIPOLOGÍA:

Debido a las propiedades del material el panel en cuestión se puede adherir tanto a vidrios preexistentes como a vidrios nuevos ensamblados en fábrica.

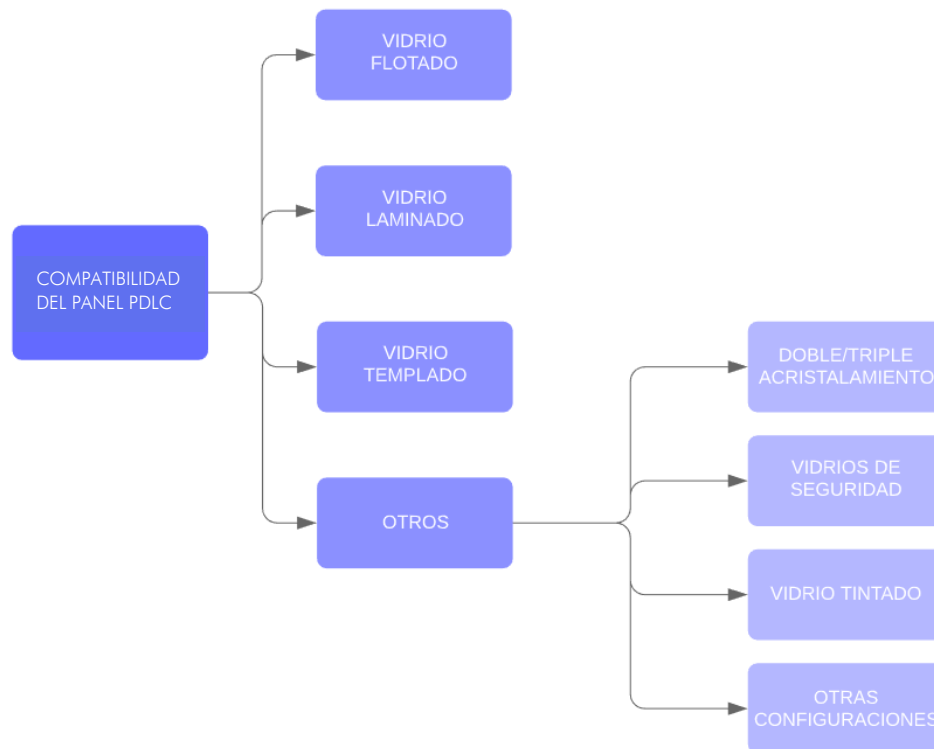


Gráfico 1: Compatibilidad lámina PDLC.

La compatibilidad entre el vidrio y este nuevo material es total, podemos emplearla en todo tipo de vidrios, desde el vidrio flotado común hasta vidrios con características especiales como pueden ser los vidrios blindados.

A su vez podemos complementar el panel PDLC con láminas que proporcionan baja emisividad térmica, aislamiento acústico o control solar.

3.11 FORMAS:

Los avances en tecnología nos permiten darle formas concretas a un material tan frágil como el vidrio, el panel PDLC puede cortarse con las mismas dimensiones del vidrio al que va a ir adherida siempre y cuando se respeten las conexiones eléctricas. Por lo tanto, se puede obtener un conjunto vidrio-panel con las siguientes formas:

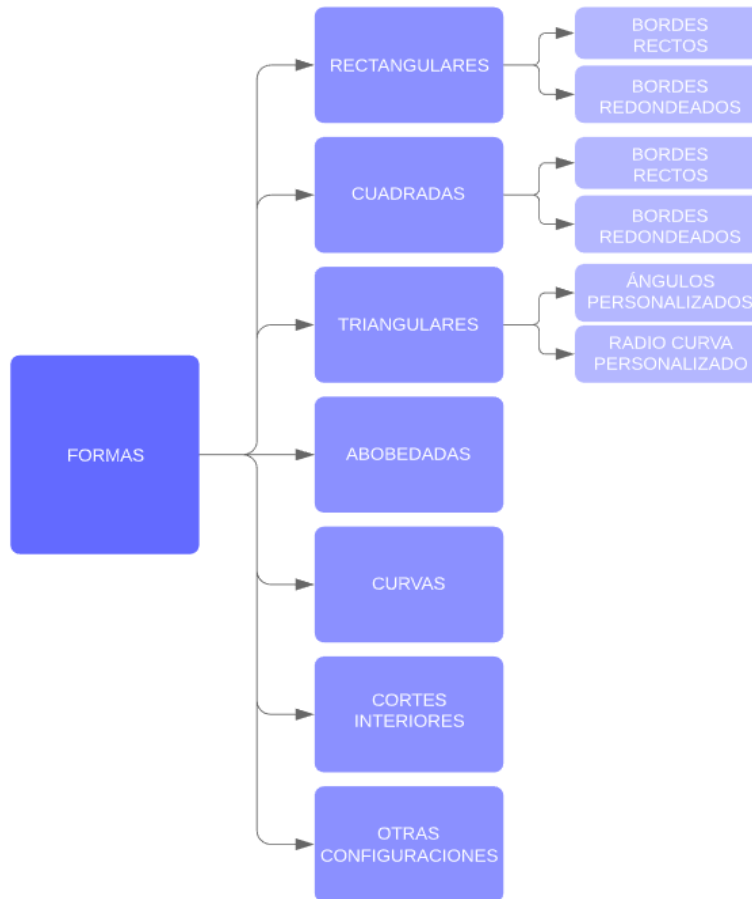


Gráfico 2: Formas compatibles con el material

Otra de las características a destacar, que aporta un toque de calidad y diseño al espacio que lo rodea, es la posibilidad de emplear vidrio tintado o polarizado en defecto del vidrio transparente, así como insertar el logo de una marca o cualquier tipo de silueta.



Figura 41: Panel PDLC con vidrio coloreado

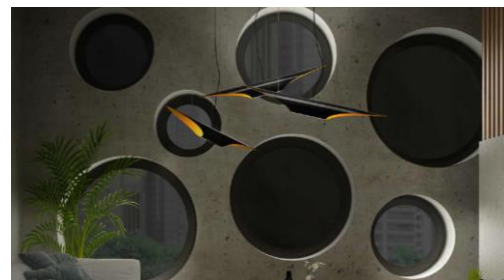


Figura 42: Panel PDLC con vidrio polarizado

3.12 CONTROL DEL PANEL

EL control del panel se puede efectuar de diferentes maneras, desde la más tradicional, como puede ser a través de un interruptor, a formas más novedosas como son el control del panel a través de una aplicación para Smartphones o Tablets donde se puede regular el nivel de transparencia o incluso el diseño del panel.

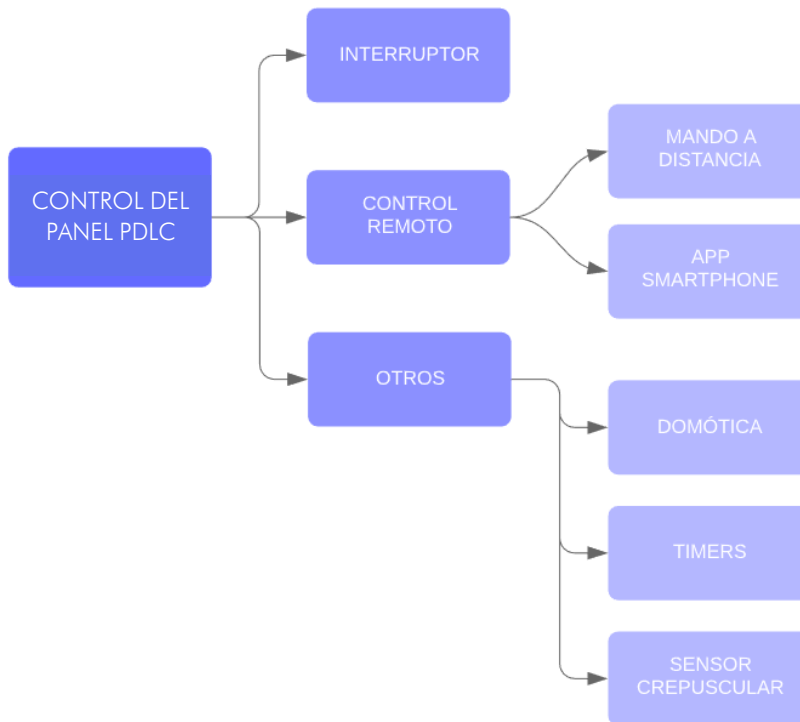


Gráfico 3: Control Panel PDLC.

3.12.1 INTERRUPTOR:

Interruptor de pared que da paso o interrumpe la corriente eléctrica, por lo tanto, hace que el panel se vuelva transparente en estado ON y opaco en estado OFF, en su variante puede tener varias posiciones que regulan el nivel de transparencia.



Figura 43: Interruptor clásico con varias posiciones para control de nivel de intensidad



Figura 44: Interruptor táctil con control de nivel de intensidad.

3.12.2 MANDO A DISTANCIA:

Dispositivo de control remoto que a través de pulsos infrarrojos controla el estado del panel, pudiendo encenderlo, apagarlo o controlar el nivel de transparencia del mismo.



Figura 45: Control remoto mediante mando a distancia – Estado transparente.



Figura 46: Control remoto mediante mando a distancia – Estado opaco.

3.12.3 APP MÓVIL:

Mediante un SmartPhone con conexión bluetooth se puede encender y apagar el panel, así como controlar el nivel de transparencia. Registrando las diferentes salas que contienen paneles PDLC se puede obtener un control total de los espacios en un solo dispositivo móvil.



Figura 47: Control remoto mediante APP

3.12.4 OTROS:

Actualmente se encuentran en el mercado otras propuestas que encajan en el control del panel de cristales líquidos dispersos en polímeros, mediante domótica, por ejemplo, podemos controlar desde cualquier lugar tanto el estado como el nivel de transparencia. Otro ejemplo puede ser la utilización de temporizadores o timers, pequeños aparatos que abren o cierran un circuito eléctrico de forma automática durante un tiempo determinado.^[30]

Existen sensores crepusculares ideados para dar continuidad a la corriente cuando la fotocélula asociada al circuito eléctrico detecta una bajada de luminosidad ambiente. Para el caso sería interesante la colocación de estos sensores automatizando el nivel de transparencia o el cambio de trama en el panel según el nivel de luminosidad ambiente.^[31]

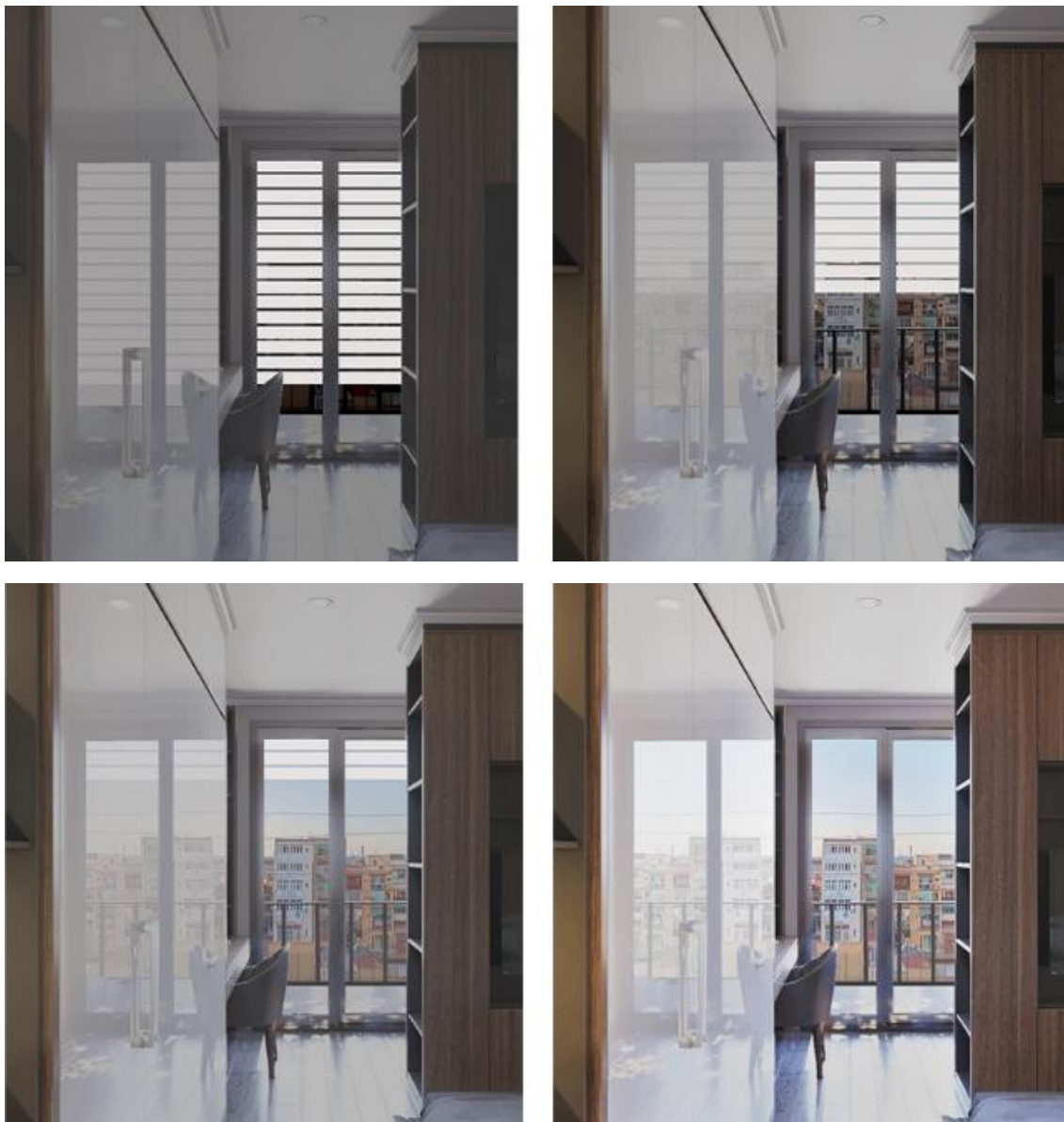


Figura 48: Proceso de funcionamiento panel PDLC con sensor crepuscular.

4. APLICACIONES:

A pesar de su corto recorrido ya que es un material relativamente nuevo tiene innumerables aplicaciones, muchas de estas aplicaciones se desarrollan bajo el ámbito arquitectónico. Usos que se pueden aplicar al sector residencial, comercial, hotelero, empresarial y sanitario entre otros.

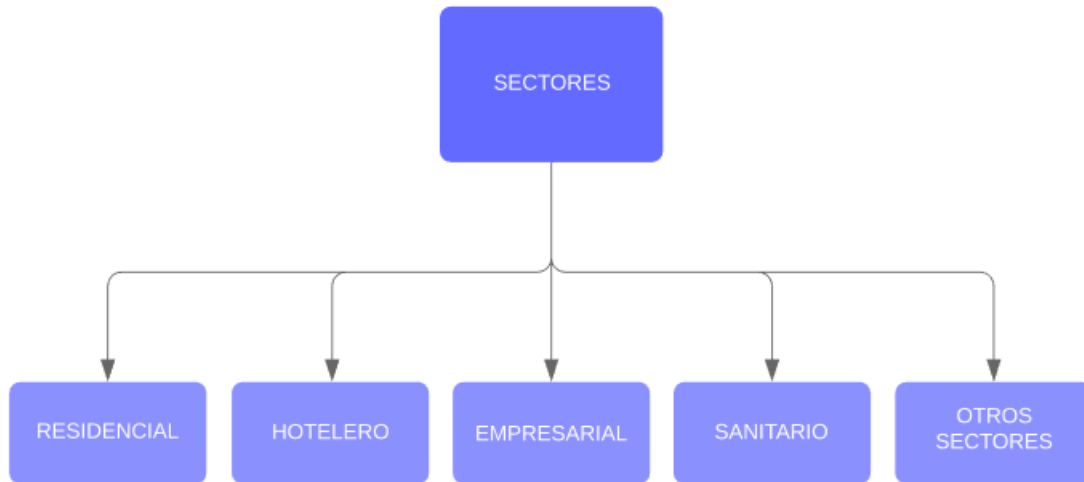


Gráfico 4: Aplicaciones de uso en sectores laborales.

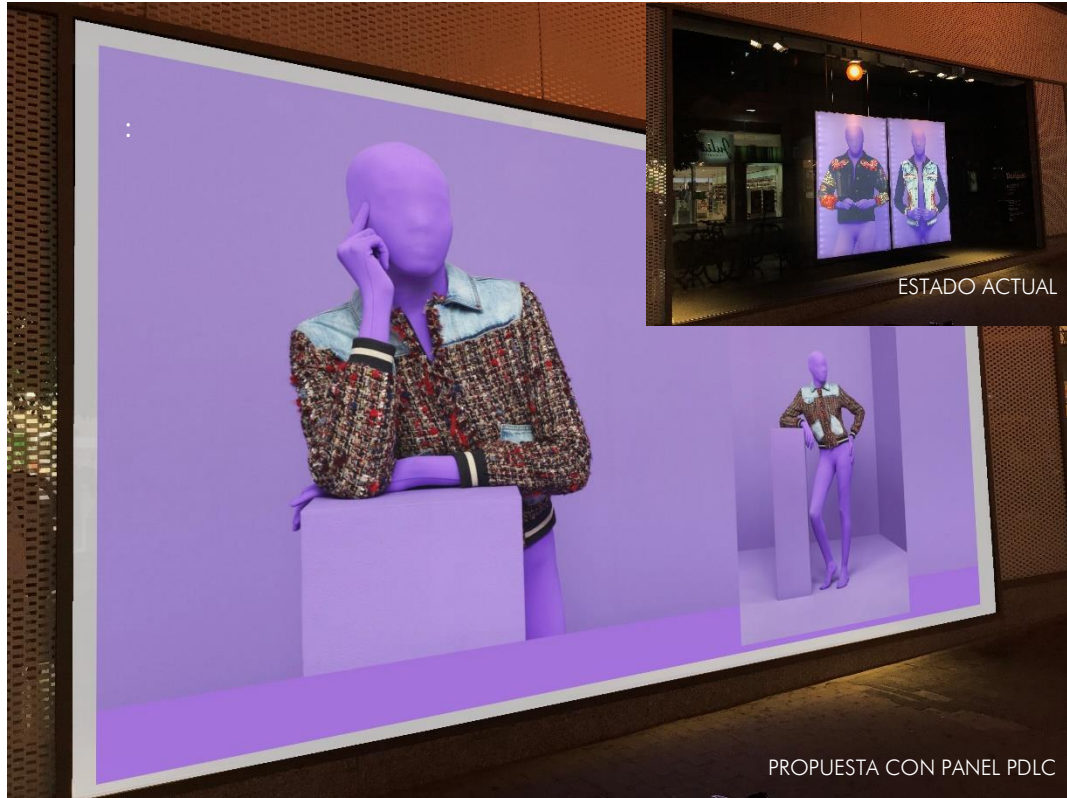


Figura 49: Propuesta escaparate con panel PDLC retroproyectado en Paseo Ruzafa, 26 - 46002 Valencia.

4.1 SECTOR RESIDENCIAL:

Para el sector residencial, el uso del PDLC favorece a la eliminación de elementos que filtran la luz al interior de la vivienda como pueden ser cortinas o persianas, su eliminación permite crear espacios continuos donde no encontramos elementos sobresalientes destinados a alojarlos, su utilización aporta un toque de diseño e innovación a la vivienda, un factor sorpresa que no pasará desapercibido. Además de un plus de eficiencia energética, que se traduce en ahorro en el consumo de electricidad.



Figura 50: Vivienda con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire - Estado transparente.



Figura 51: Vivienda con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire - Estado opaco.



Figura 52: Panel PDLC adherido a tragaluz efecto polarizado – Estado transparente



Figura 53: Panel PDLC adherido a tragaluz efecto polarizado – Estado opaco

4.2 SECTOR COMERCIAL:

En comercios la utilización del PDLC aporta numerosas ventajas, una de ellas es la posible eliminación de persianas exteriores, al poder utilizarse con vidrios de seguridad, el comercio ofrecerá una imagen más limpia y atractiva, junto a la retroproyección se potencia la marca a través de videos promocionales que pueden sustituir a la cartelería de un solo uso que se utiliza para promocionar cierto evento.



Figura 54: Tienda Movistar Av. del Cid, 1 - 46018 Valencia.



Figura 55: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección en uno de sus paños, el otro emplea un modelo cuya trama esta formada a partir de logo de la empresa.

Además, cabe la posibilidad de ocultar selectivamente al exterior ciertos puntos del expositor dándole mayor seguridad sin perder atractivo o diseño.



Figura 56: Escaparate joyería con panel PDLC adherido cara interior vidrio seguridad - Estado transparente



Figura 57: Escaparate joyería con panel PDLC adherido cara interior vidrio seguridad - Estado opaco



Figura 58: Tienda Zara Calle Colón, 11 - 46004 València.

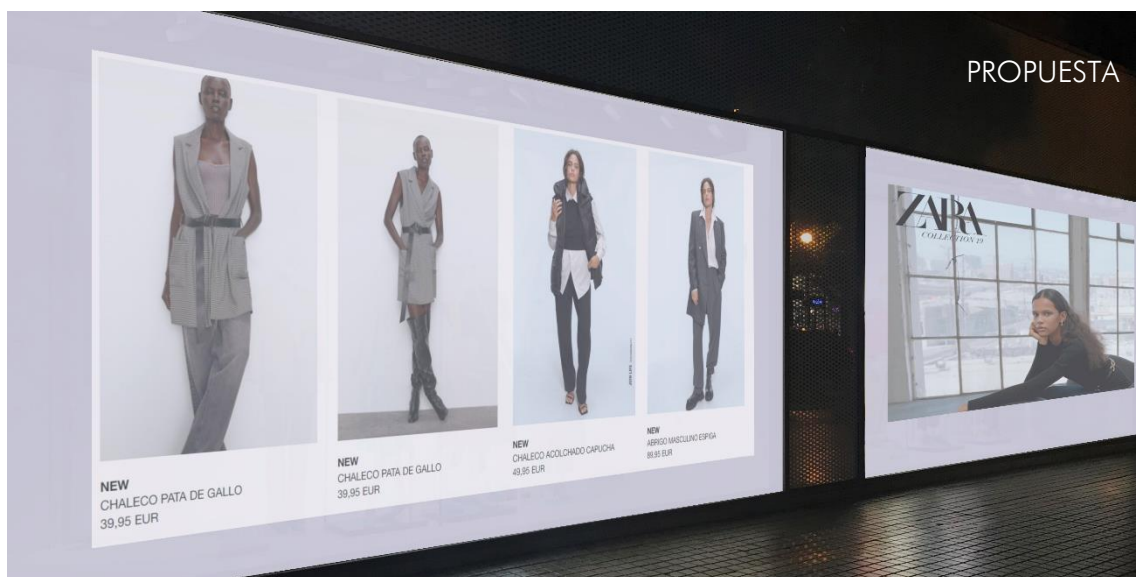


Figura 59: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección.

4.3 SECTOR HOTELERO:

También tiene espacio en el sector hotelero, su utilización a parte de los usos nombrados anteriormente que se pueden aplicar en halls de entrada y recepción, puede centrarse en la división de espacios dentro de las habitaciones, creando zonas diáfanas que en momentos puntuales se vuelven opacas para otorgar al usuario de intimidad como puede ser el uso del panel PDLC en mamparas de baño.



Figura 60: Habitación hotel con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.

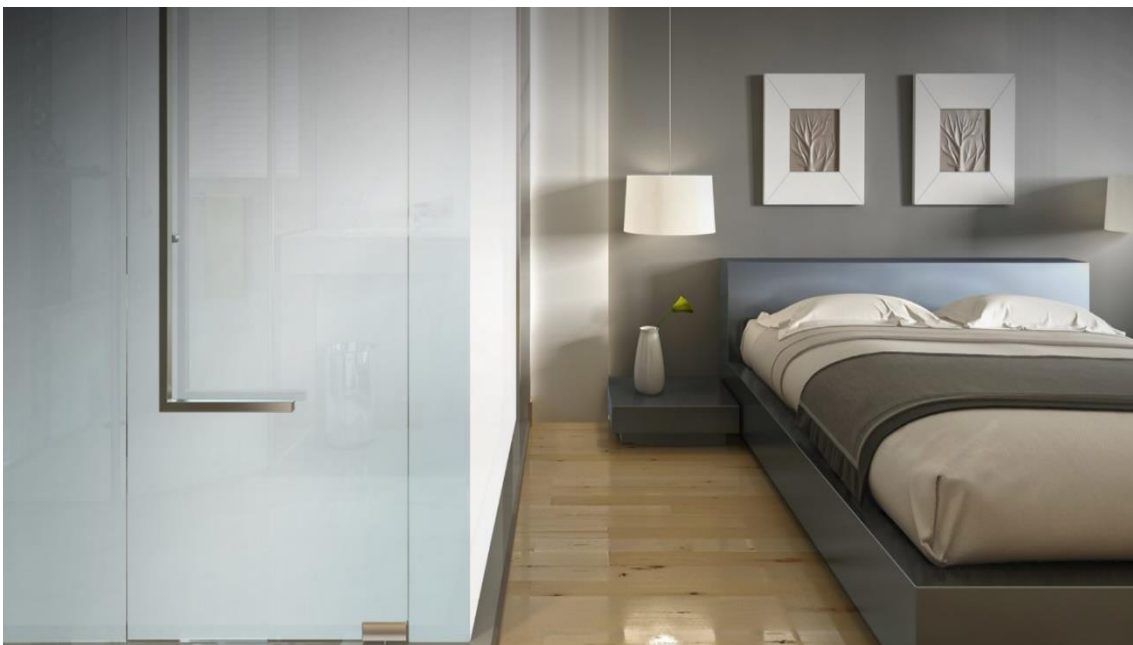


Figura 61: Habitación hotel con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.

4.4 SECTOR EMPRESARIAL:

Muy útil de cara al aprovechamiento de espacios en el ámbito empresarial, pues se crean espacios diáfanos que ofrecen luz natural y a los que en momentos puntuales se les brinda de cierta privacidad a través del uso de paneles PDLC en los vidrios que forman la sala, dándole así un toque moderno y vanguardista a la par que funcional.



Figura 62: Oficina con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.



Figura 63: Oficina con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.



Figura 64: Sala de reuniones con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.



Figura 65: Sala de reuniones con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.

4.5 OTROS SECTORES:

Además de lo visto anteriormente, podemos emplear paneles PDLC en muchos otros servicios del sector terciario. En el ámbito sanitario puede ser de gran utilidad, favoreciendo la higiene tan importante en estos espacios al eliminar elementos como persianas o cortinas que puedan acumular suciedad o bacterias. El uso en Museos o salas de exposición favorece a la conservación de las obras ya que absorbe los rayos UV e IR.



Figura 66: Clínica dental con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.



Figura 67: Clínica dental con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.

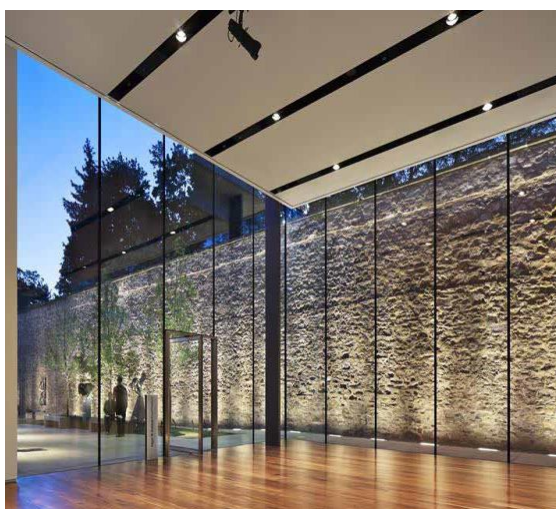


Figura 68: Museo con Paneles PDLC ensamblados en fabrica - Estado transparente.



Figura 69: Museo con Paneles PDLC ensamblados en fabrica - Estado opaco.

El sector automovilístico también puede ser un gran favorecido, aplicando paneles PDLC a las ventanillas traseras del vehículo podríamos obtener un efecto de “lunas tintadas” a nuestro placer, pudiendo ofrecer la misma función en el techo solar dándole el nivel de transparencia deseado a través de la consola central del vehículo.



Figura 70: Propuesta de control del panel PDLC a través de la pantalla táctil del vehículo.



Figura 71: Interior del vehículo, techo solar Estado transparente.



Figura 72: Interior del vehículo, techo solar Estado opaco.

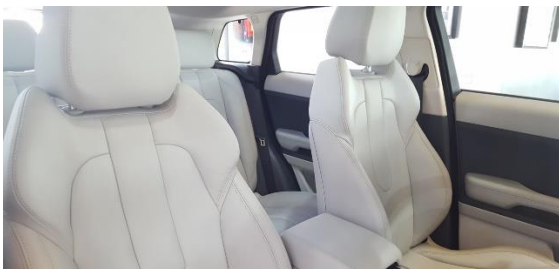


Figura 73: Interior del vehículo, ventanillas traseras Estado transparente.



Figura 74: Interior del vehículo, ventanillas traseras Estado opaco.



Figura 75: Exterior del vehículo, ventanillas traseras Estado transparente.



Figura 76: Interior del vehículo, ventanillas traseras Estado opaco.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A UN MATERIAL MÁS TRADICIONAL:

Ya que el panel formado por cristales líquidos dispersos en polímeros es un material que está comenzando a dar sus primeros pasos en el ámbito arquitectónico se procede a comparar el material con aquellos que anteriormente más se aproximan al uso al cual está destinado, con el fin de obtener una serie de ventajas y desventajas respecto a aquellos materiales más tradicionales.

Como se menciona anteriormente una de las funciones principales en el ámbito residencial es la eliminación de elementos que filtran la luz al interior de la vivienda, en la actualidad uno de los elementos que hace dicha función es la persiana. Así mismo la función principal del panel en el ámbito empresarial es el de dotar de cierta privacidad. Hasta el momento dicha función es asignada a los vinilos adheridos al vidrio existente.

La persiana es originaria de Persia y se emplea en la arquitectura europea desde hace más de 3 siglos. Se pueden encontrar multitud de diseños de persianas, con diferente materialidad, dimensiones y acabados por un precio asequible. Una de las principales ventajas con respecto al panel PDLC es el coste ya que se pueden encontrar persianas a precios muy económicos dependiendo del material de fabricación pudiendo ser madera, PVC, aluminio entre otros. Además, para el correcto funcionamiento del panel hace falta necesariamente una corriente eléctrica que regule su nivel de transparencia al contrario que para una persiana que se puede manipular de manera mecánica. En cuanto al aprovechamiento de los espacios la persiana necesariamente debe de tener un cajón donde se recoja al ser plegada problema que no presenta el panel PDLC que además de eliminar ese espacio residual no acumula polvo ni bacterias, un punto importante a tener en cuenta es el ahorro energético siendo mucho más eficiente el panel PDLC que además al evitar el paso de rayos UV e IR los materiales del interior se acaban deteriorando de menor manera. A la hora de realizar el mantenimiento en el panel PDLC es más rápido y sencillo al tratarse de un conjunto de láminas que van sobre un vidrio.^[32]

El vinilo de PVC tiene una historia que se remonta a poco más de un siglo y a día de hoy es uno de los plásticos más vendidos en todo el mundo añadiéndole productos químicos se genera una capa autoadhesiva con lo cual podemos adherirlo a la gran mayoría de superficies comparándolo en este caso con el vidrio como material de superficie. La principal baza del vinilo con respecto al panel PDLC es su precio, mucho más asequible realizando la misma función de dotar de privacidad a un entorno acristalado. El vinilo no está dotado de las propiedades del panel por lo tanto no puede volverse transparente de manera reversible, se destaca que el panel tiene una media de vida útil de unos 10 años, en buenas condiciones el vinilo superaría con creces esa media de vida útil. Ambos materiales presentan un excelente mantenimiento.^[33]

6. PROPUESTAS:

Se proponen 4 posibles aplicaciones de utilización con el fin de mostrar una idea aproximada de la estética final del producto. Las dos primeras ubicadas en la Universidad Politécnica de Valencia.

6.1 PROPUESTA 1: CABINAS DE ESTUDIO EN GRUPO, BIBLIOTECA GENERAL DE LA UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.

Se propone el uso de paneles PDLC en las cabinas de estudio en grupo de la Planta número 3 de la Biblioteca General de la UPV. Se colocarán paneles de tipo adherido a los vidrios que forman las cabinas con el fin de aportar un mayor nivel de privacidad y evitar así posibles distracciones por el continuo movimiento del exterior ya que se encuentran cerca de las escaleras de acceso. Estos paneles se accionarán desde el interior mediante regulador de intensidad.

Diseño logo UPV:



Figura 77: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior para cabinas de estudio biblioteca general UPV – Estado opaco.



Figura 78: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV
Estado transparente.



Figura 79: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV
Nivel de transparencia: 20%.



Figura 80: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV
Nivel de transparencia: 60%.



Figura 81: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV
Nivel de transparencia: 90%.

Diseño trama de puntos:



Figura 82: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV
Estado transparente.



Figura 83: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV
Estado opaco.

6.2 PROPUESTA 2: SALA DE EXPOSICIONES ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA, UPV.

En este caso, se plantean paneles PDLC adheridos al vidrio existente en la sala de exposiciones de la escuela técnica superior de arquitectura de la UPV. Se retro proyectaran sobre el panel anuncios sobre futuras exposiciones o relacionados con la escuela sustituyendo a la proyección actual sobre el muro exterior. Dicho panel aportara privacidad, evadiendo del exterior y focalizando al observador en lo importante, la exposición. A la hora de efectuar un cambio en el programa de exposiciones, la sala se mostrará opaca ocultando al exterior el proceso de colocación de obras o proyectos. Su utilización favorece a la conservación de los elementos interiores. El control del panel será remoto a través de un mando a distancia.



Figura 84: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección. Sala de exposiciones Escuela técnica superior de Arquitectura UPV – Estado opaco.



Figura 85: Sala exposiciones – Estado transparente



Figura 86: Sala exposiciones – Estado opaco.



Figura 87: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección. Sala de exposiciones Escuela técnica superior de Arquitectura UPV – Estado opaco.



Figura 88: Sala exposiciones – Estado transparente



Figura 89: Sala de exposiciones – Estado opaco

Las dos propuestas anteriores están ubicadas en el campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia. Sirviendo la primera para un uso enfocado al interior y la segunda para un uso exterior, de igual modo a continuación se describen 2 propuestas fuera del entorno universitario con las siguientes características.

6.3 PROPUESTA 3: SALA REUNIONES + DESPACHO, ESTUDIO DE ARQUITECTURA GRUPO VALUE. PLAZA DEL AYUNTAMIENTO 19, VALENCIA.

Con el fin de aportar mayor privacidad en la sala de reuniones y en el despacho del estudio de arquitectura Grupo Value, se propone la utilización de paneles PDLC adheridos a los paños de vidrio que forman las salas, el diseño elegido se presenta bajo una trama de líneas horizontales cuyo control se podrá realizar tanto a través de un interruptor táctil con regulador de intensidad como con la utilización de una APP para smartphones desde la cual se podrá apagar, encender y seleccionar el nivel de intensidad.



Figura 90: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio templado, diseño: franjas horizontales. Sala de reuniones estudio de arquitectura Grupo Value – Estado opaco.

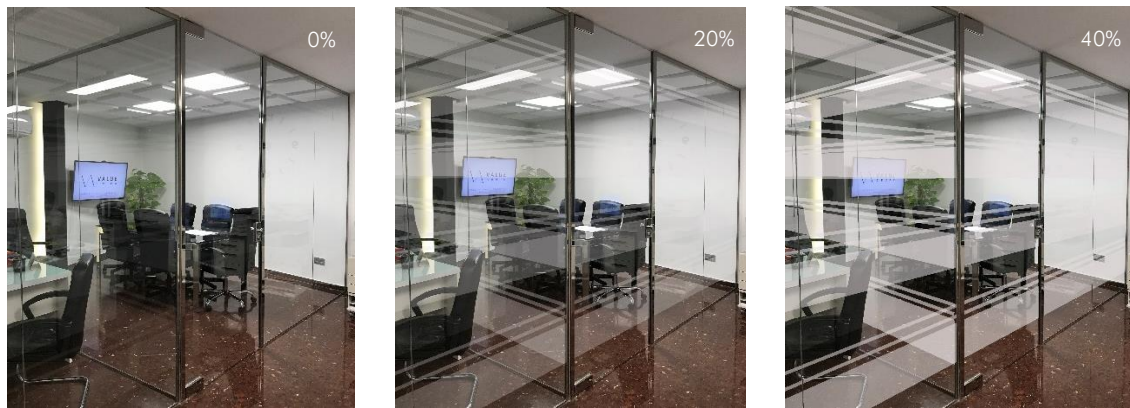


Figura 91: Sala de reuniones – Nivel de transparencia 0% - 20% - 40%



Figura 92: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio templado, diseño: Logo Grupo Value. Sala de reuniones estudio de arquitectura Grupo Value – Estado opaco.



Figura 93: Sala de reuniones – Estado transparente.

6.4 PROPUESTA 4: ESCAPARATE PHONE HOUSE CALLE SAN VICENTE MÁRTIR, 102, 46007 VALENCIA. // ESCAPARATE GAME CALLE SAN VICENTE MÁRTIR, 104, 46007 VALENCIA.

Con el objetivo de potenciar las ventas y dotar al interior de privacidad en horas no laborables se propone como solución de mejora la colocación del Panel PDLC adherido a la cara interior del vidrio existente. La utilización del panel ofrece una imagen más limpia, moderna y atractiva para el viandante con una mayor posibilidad de captar su atención, la retroproyección abarca más superficie que la actual pantalla y presenta grandes ventajas respecto a la cartelería tradicional, pudiendo proyectar en cualquier momento, anuncios o videos promocionales.



Figura 94: Tienda PHONE HOUSE, Calle San Vicente Mártir, 102, 46007 Valencia.



Figura 95: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección.



Figura 96: Tienda GAME
Calle San Vicente Mártir, 104, 46007 Valencia.



Figura 97: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección.

7. PRESUPUESTO:

Con el fin de entender en términos financieros que supone la utilización de este panel PDLC y una vez comprobado el precio de las principales empresas del sector que ofrecen un producto similar, siendo la media aproximada de 450€ m² para el conjunto formado por vidrio-panel-vidrio. Sin incluir precio de instalación ni IVA. Y 300€ m² para el panel adherido sobre vidrio existente. Sin incluir precio de instalación ni IVA.

Se elabora un presupuesto para la propuesta 3: Sala reuniones + Despacho, Estudio de Arquitectura - Grupo Value. Plaza del Ayuntamiento 19, Valencia.

En el primero de los casos se propone la colocación del panel PDLC adherido tan solo a los vidrios que forman la sala de reuniones:

Presupuesto parcial para Panel PDLC adherido a Sala de Reuniones

N.º	Ud	Descripción	Uds.	Área	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
1.1	Ud	Interruptor unipolar (1P), gama básica, intensidad asignada 10 AX, tensión asignada 250 V, con tecla simple, de color blanco y marco embellecedor para un elemento, de color blanco, empotrado. Totalmente montado, conexionado y probado. en perfectas condiciones de acabado y uso.	1				1,00	
		Interruptor unipolar.					1,00	1,00
		Total Ud:				1,00	15,56	15,56€
1.2	Ud	Receptor Transmisor Bluetooth 5.0, Baja latencia aptXHD inalámbrico. Totalmente montado, conexionado y probado. en perfectas condiciones de acabado y uso.	1				1,00	
		Receptor Transmisor Bluetooth					1,00	1,00
		Total Ud:				1,00	77,81	77,81€
1.3	M ²	Panel PDLC ensamblado a alta presión y temperatura creando un conjunto único y compacto formado por lámina transparente autoadhesiva PVB, lámina transparente conductora ITO-PET. Matriz Polimérica de Cristal Líquido, Lámina transparente conductora ITO-PET, lámina transparente protectora PVB. Incluso fijado sobre vidrio existente, incluido cortes del panel. Instalación de transformador para corriente alterna de 48 - 60 V. Totalmente montado, conexionado y probado. en perfectas condiciones de acabado y uso.	5		1,03	2,43	12,51	
		Panel PDLC adherido vidrio existente						
		Panel PDLC adherido puerta vidrio existente	1		1,00	2,43	2,43	
							14,94	14,94
		Total m²:				14,94	286,75	4.284,05€
Total presupuesto parcial para Panel PDLC adherido a Sala de Reuniones:								4.377,42€

En el siguiente caso se propone el presupuesto para todos los vidrios que se encuentran en el estudio, es decir para la sala de reuniones y el despacho.

Presupuesto parcial para Panel PDLC adherido a Sala de Reuniones + Despacho.

N.º	Ud	Descripción	Medición				Precio	Importe
2.1	Ud	Interruptor unipolar (1P), gama básica, intensidad asignada 10 AX, tensión asignada 250 V, con tecla simple, de color blanco y marco embellecedor para un elemento, de color blanco, empotrado. Totalmente montado, conexionado y probado. en perfectas condiciones de acabado y uso.						
			Uds.	Área	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Interruptor unipolar.	1				1,00	
							1,00	1,00
		Total Ud:			1,00		15,56	15,56€
2.2	Ud	Receptor Transmisor Bluetooth 5.0, Baja latencia aptXHD inalámbrico. Totalmente montado, conexionado y probado. en perfectas condiciones de acabado y uso.						
			Uds.	Área	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Receptor Transmisor Bluetooth	1				1,00	
							1,00	1,00
		Total, Ud:			1,00		77,81	77,81€
2.3	M²	Panel PDLC ensamblado a alta presión y temperatura creando un conjunto único y compacto formado por lámina transparente autoadhesiva PVB, lámina transparente conductora ITO-PET. Matriz Polimérica de Cristal Líquido, Lámina transparente conductora ITO-PET, lámina transparente protectora PVB. Incluso fijado sobre vidrio existente, incluido cortes del panel. Instalación de transformador para corriente alterna de 48 - 60 V. Totalmente montado, conexionado y probado. en perfectas condiciones de acabado y uso.						
			Uds.	Área	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Panel PDLC adherido vidrio existente	7		1,03	2,43	17,52	
		Panel PDLC adherido puerta vidrio existente	2		1,00	2,43	4,86	
							22,38	22,38
		Total m²:			22,38		286,75	6.417,47€
Total presupuesto parcial para Panel PDLC adherido a Sala de Reuniones + Despacho.								6.510,84€

8. VIABILIDAD – ANÁLISIS FODA:

A continuación, se proponen una serie de puntos aclarativos que determinarán uno de los factores más importantes del producto, La viabilidad.

Una vez vista la estructura, las propiedades, la puesta en obra del material, varias propuestas de ejecución y un presupuesto aproximado. Mediante un análisis FODA se determinarán las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del Panel PDLC como producto final.^[34]

OPORTUNIDADES:
- Desarrollo de un producto que permite controlar el nivel de privacidad de una estancia al instante de manera reversible.
- Posibilidad de retroproyectar imágenes o videos de la marca.
- Posibilidad de interactuar sobre el vidrio de manera táctil
- Valido para su utilización en un gran número de sectores de trabajo

FORTALEZAS:
- Imagen moderna, limpia y llamativa
- Producto de avanzada tecnología
- Compatibilidad total con vidrio existente
- Amplia variedad de diseños del producto
- Mejora sustancial en el ahorro energético
- Mayor aprovechamiento de espacios
- Bajo consumo energético
- Amplia variedad de elementos de control del producto
- Elimina espacios residuales de almacenaje de persianas
- Mejora las condiciones higiénicas del lugar

DEBILIDADES:
- Poco conocimiento sobre el producto
- Elevado precio del producto
- Reciente incursión en el mercado

AMENAZAS:
- Competencia de productos sustitutivos a un coste menor
- Nuevos competidores

Como vemos en el análisis anterior el panel PDLC aporta numerosas ventajas en forma de fortalezas, las oportunidades que ofrece como material son amplias y abarca un gran número de sectores, todo parece indicar que puede llegar a convertirse en un producto referente a la par que revolucionario dentro del sector siempre y cuando supere una de las grandes pegas que a día de hoy presenta este material, su elevado coste.

El precio prohibitivo que presenta en la actualidad este novedoso panel es su principal debilidad no siendo asumible dicha cantidad económica por la pequeña y media empresa, a lo que se le suma el bajo coste de los productos sustitutivos, como pueden ser vinilos o persianas tradicionales.

9. CONCLUSIONES:

A lo largo de este trabajo de final de grado se ha tratado de analizar, proponer y concluir sobre un nuevo material revolucionario en el ámbito arquitectónico, un material formado a partir de láminas, finas películas transparentes que son capaces de alterar sus propiedades ópticas de forma reversible para ofrecer al usuario el nivel de transparencia deseado sobre un vidrio.

Material cuya base la forman partículas desordenadas de cristales líquidos dispersos a través de una malla polimérica, partículas que metafóricamente se alinean las unas con las otras de manera ordenada a consecuencia de una corriente eléctrica, como soldados que caminan al unisonó en un desfile militar.

Se detallan propiedades del material que hacen pensar que es válido para la tendencia actual de mercado ya que es eficiente energéticamente y mejora las condiciones del lugar en el que va a ser colocado tanto en invierno como en verano. El panel PDLC es apto para un gran número de aplicaciones en el ámbito arquitectónico y su puesta en obra se realiza de forma sencilla de la misma manera que se colocaría un vinilo sobre un vidrio o montaríamos unas mamparas divisorias en unas oficinas, con el ligero añadido del cableado hasta un transformador tradicional.

En una sociedad como la actual, donde la mayoría de los dispositivos electrónicos se pueden manejar de manera remota, este material no iba a ser una excepción, pudiendo controlarse a gusto del usuario el nivel de transparencia o incluso la trama cargando a través de una aplicación móvil el diseño que posteriormente aparece estampado sobre el vidrio.

A simple vista y enfocando el proyecto de manera optimista el panel PDLC presenta grandes ventajas, fortalezas que sugieren una posible revolución del sector y de cómo concebir los espacios y su iluminación, pero uno de los pilares fundamentales para el éxito de un nuevo producto y su asentamiento en el mercado está relacionado con el precio, y el precio ofrecido a día de hoy está fuera del alcance de la pequeña y mediana empresa y más habiendo productos sustitutivos a bajo coste en relación con el coste actual del producto.

Bajo una perspectiva de futuro las sensaciones son positivas ya que, en cuanto a dicha desventaja, el precio, existe un amplio margen de mejora, el mercado es reacio a quedarse estancado e innova de manera constante y en mayor frecuencia en el apartado tecnológico, productos exclusivos de alta tecnología devalúan su precio a lo largo de pocos meses o años. La marca Philips por ejemplo comercializo el primer televisor con pantalla plana en el año 1997 con un precio de 15.000 euros. Tan solo 10 años después era posible encontrar un televisor con las mismas dimensiones, de mejor calidad y diseño por un precio 30 veces inferior, es decir, menos de 500 euros.^[35]

Por lo tanto, es posible que el precio actual del panel PDLC superior a 500 euros por metro cuadrado se vea reducido quien sabe si 2, 3 o incluso 5 veces. En un periodo aproximado entre 5 y 10 años.

10. REFERENCIAS:

10.1 BIBLIOGRAFÍA DOCUMENTAL:

INTRODUCCIÓN:

[1] Cómo la ciencia transformó al mundo en 100 años y por qué debemos involucrarnos, según el Nobel Venki Ramakrishnan. (2017, octubre)

Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41762804>

Consulta: 2019, abril.

[2] 6 innovaciones que han revolucionado el sector de la Arquitectura. (2018, diciembre). *Structuralia*.

Recuperado de: <https://blog.structuralia.com/6-innovaciones-que-han-revolucionado-el-sector-de-la-arquitectura>

Consulta: 2019, abril.

[3] Casas impresas en 3D en tan solo 12 horas. (2019, agosto). *3Dnatives*.

Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/casas-impresas-en-3d-en-12-horas-150820192/>

Consulta: 2019, abril.

[4] Vidrios (Cerramientos). (2015, junio) *Construmática*

Recuperado de: [https://www.construmatica.com/construpedia/Vidrios_\(Cerramientos\)](https://www.construmatica.com/construpedia/Vidrios_(Cerramientos))

Consulta: 2019, abril.

{1} S. Amstock, J (1999) *Manual del VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN*. Mexico: MCGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE MEXICO (pág. 11)

POLIMEROS:

[5] Los polímeros y su historia. (2018, enero)

Recuperado de: <https://tecnologiadelospolimeros.wordpress.com/2017/06/04/seminario-de-actualizacion-profesional-en-ciencia-y-tecnologia/>

Consulta: 2019, mayo

[6] Introducción y breve historia sobre los polímeros. (2010, noviembre)

Recuperado de: <http://polimeros456.blogspot.com/2010/11/introduccion-y-breve-historia-sobre-los.html>

Consulta: 2019, mayo

[7] Introducción y breve historia sobre los polímeros. (2010, noviembre)

Recuperado de: <http://polimeros456.blogspot.com/2010/11/introduccion-y-breve-historia-sobre-los.html>

Consulta: 2019, mayo

[8] NYLON (2005, agosto)

Recuperado de: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/nylon>

Consulta: 2019, mayo

[9] Evolución histórica de los polímeros (2011, mayo)

Recuperado de: <https://tecnopolimeros.blogspot.com/2011/05/evolucion-historica-de-los-polimeros.html>

Consulta: 2019, mayo

{2} Areizaga, J.; Cortazar, M.; Elorza, J. y Iruin, J. (2002) *Polímeros*. Madrid: Síntesis, D.L. (pág. 14)

{3} Areizaga, J.; Cortazar, M.; Elorza, J. y Iruin, J. (2002) *Polímeros*. Madrid: Síntesis, D.L. (pág. 15-16)

CRISTAL LÍQUIDO:

[10] Cristales ¿líquidos? (2013, abril)

Recuperado de: http://www.cienciorama.unam.mx/o/pdf/448_cienciorama.pdf

Consulta: 2019, julio

[11] ¿Qué son los cristales líquidos? (2009, enero)

Recuperado de: <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/27572-Que-son-los-cristales-liquidos.html>

Consulta: 2019, julio

[12] ¿Qué son los cristales líquidos? (2009, enero)

Recuperado de: <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/27572-Que-son-los-cristales-liquidos.html>

Consulta: 2019, julio

DEFINICIÓN:

[13] Láminas solares: qué son, para qué sirven y sus ventajas. (2014, noviembre)

Recuperado de: <https://www.grupoprosol.es/blog/laminas-solares-que-son-para-que-sirven-ventajas/>

Consulta: 2019, julio

HISTORIA:

[14] GENERATION OF GREATNESS. The Idea of a University in an Age of Science. (2017, febrero)

Recuperado de: <https://web.archive.org/web/20071203012323/http://www.swiss.csail.mit.edu/~hal/misc/generation-of-greatness.html>

Consulta: 2019, julio

[15] Cristales Líquidos Dispersos en Polímeros (PDLC) obtenidos mediante separación de fases inducida por reacción química. (2014, marzo)

Recuperado de: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/71>

Consulta: 2019, agosto

ESTRUCTURA:

[16] Tema 13: Vidrio y productos de vidrio. (2017, agosto)

Recuperado de: https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121896/documenta/T13_VIDRIOS.pdf

Consulta: 2019, agosto

[17] ¿CÓMO FUNCIONA? (2019, marzo)

Recuperado de: <https://www.dreamglassgroup.com/es/our-technology/>

Consulta: 2019, agosto

FUNCIONAMIENTO:

[18] Diseño y fabricación basados en cristal líquido polimérico. (2012, mayo)

Recuperado de: http://oa.upm.es/14653/1/CARLOS_CARRASCO_VELA.pdf

Consulta: 2019, septiembre

PROPIEDADES:

[19] Preguntas frecuentes (2018, septiembre)

Recuperado de: <http://vidriosinteligentes.net/preguntas-frecuentes/>

Consulta: 2019, septiembre

[20] DREAMGLASS® IR SHIELD (2019, enero)

Recuperado de: <https://www.dreamglassgroup.com/es/product/dreamglass-ir-shield/>

Consulta: 2019, septiembre

[21] DREAMGLASS® BLACK OUT (2019, enero)

Recuperado de: <https://www.dreamglassgroup.com/es/product/black-out/>

Consulta: 2019, septiembre

[22] SGG PRIVA-LITE (2017, noviembre)

Recuperado de: <https://es.saint-gobain-building-glass.com/es/sgg-privu-lite>

Consulta: 2019, septiembre

[23] Su guía de compra de proyectores en Proyector24 (2019, febrero)

Recuperado de: <https://www.proyector24.es/es/guia-compra-proyectores-2017>

Consulta: 2019, septiembre

[24] DISPLAY Skin «Multitouch» (2015, enero)

Recuperado de: <https://www.macroservice.es/display-skin-multitouch/>

Consulta: 2019, septiembre

[25] Transformador (2003, noviembre)

Recuperado de: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Transformador>

Consulta: 2019, septiembre

[26] Óxido de indio y estaño (2017, enero)

Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_indio_y_esta%C3%B1o

Consulta: 2019, septiembre

[27] ¿Qué es el PVB y por qué se usa en los vidrios? (2018, mayo)

Recuperado de: <http://vidrioscristalestemplados.com/que-es-el-pvb-y-por-que-se-usa-en-los-vidrios/>

Consulta: 2019, septiembre

INSTALACIÓN:

[28] Láminas de EPDM (2019, febrero)

Recuperado de: <https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=LaminasSinteticasEPDM&lng=1&site=1>

Consulta: 2019, septiembre

MANTENIMIENTO:

[29] Mantenimiento (2019, enero)

Recuperado de: https://www.dreamglassgroup.com/es/wpcontent/uploads/sites/7/2018/04/DGG.Mantenimiento.ES_.pdf

Consulta: 2019, septiembre

CONTROL DEL PANEL:

[30] Usos del timer eléctrico (2018, febrero)

Recuperado de: <https://www.efectoled.com/blog/timer-electrico-usos/>

Consulta: 2019, septiembre

[31] ¿Cómo conseguir que la luz se encienda sola cuando la luz solar se acabe? (2017, julio)

Recuperado de: <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Seguridad-y-Dom%C3%B3tica/C%C3%B3mo-conseguir-que-la-luz-se-encienda-sola-cuando-la-luz-solar/ta-p/99406>

Consulta: 2019, septiembre

VENTAJAS Y DESVENTAJAS RESPECTO A UN MATERIAL MAS TRADICIONAL:

[32] Historia de la Persiana (2015, mayo)

Recuperado de: <https://persianasvalencia.es/historia-de-la-persiana/>

Consulta: 2019, octubre

[33] EL ORIGEN DEL VINILO (2016, octubre)

Recuperado de: <http://www.plotypint.com/el-origen-del-vinilo/>

Consulta:

VIABILIDAD – ANÁLISIS FODA

[34] FODA: Matriz o Análisis FODA (2016, diciembre)

Recuperado de: <https://www.analisisfoda.com/>

Consulta: 2019, octubre

CONCLUSIONES

[35] Philips Flat TV: el primer televisor con pantalla plana (2015, abril)

Recuperado de: <https://computerhoy.com/video/philips-flat-tv-primer-televisor-pantalla-plana-27009>

Consulta: 2019, octubre

10.2 BIBLIOGRAFÍA GRÁFICA:

- Figura 1: Casa de hormigón impresa en 3D.

Fuente: <https://www.autodesk.com/redshift/es/casa-impresa-hormigon/>

- Figura 2: Infografía 3D realizada a partir de la imagen de un dron.

Fuente: <https://www.domingoloro.com/3d-infografia/coste-de-infografia-3d>

- Figura 3: Proceso de elaboración del vidrio en la antigüedad.

Fuente: <https://vitrex.com.ar/2016/02/25/el-envase-de-vidrio-una-historia-hecha-a-fuego-y-arena/>

- Figura 4: Cambio de estado transparente a estado opaco de una sala de reuniones.

Fuente: <https://tintdepot.com/product/smart-film-electrochromic-film-switchable-glass/>

- Figura 5: Representación de una estructura polimérica.

Fuente: <https://www.burrosabio.com/polimero-definicion-y-concepto/>

- Figura 6: Cuerda de nylon.

Fuente: <https://concepto.de/nylon/>

- Figura 7: Dispositivos que utilizan cristal líquido en sus pantallas.

Fuente: <https://www.diariojuridico.com/colombia-fecha-de-caducidad-para-dispositivos-electronicos/>

- Figura 8: Apariencia del cristal líquido I.

Fuente: https://www.wikiwand.com/es/Cristal_l%C3%ADquido

- Figura 9: Apariencia del cristal líquido II.

Fuente: <https://www.f3nws.com/news/watch-this-trippy-footage-of-liquid-crystals-under-a-microscope-8f6adcb9>

- Figura 10: Alineación de partículas de cristal líquido al aplicarse una corriente eléctrica.

Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/our-technology/>

- Figura 11: Desorden de partículas de cristal líquido al no haber corriente eléctrica aplicada.

Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/our-technology/>

- Figura 12: Ejemplo de malla polimérica con cristales líquidos dispersos en estado transparente y estado opaco.

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/104/htm/sec_6.htm

- Figura 13: Representación conceptual del conjunto elementos que forman un panel PDLC ensamblado en fabrica.

Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/our-technology/>

- Figura 14: Representación esquemática del conjunto elementos que forman un panel PDLC adherido a un vidrio existente.

Fuente: Elaboración propia

- Figura 15: Ilustración del principio de funcionamiento de un PDLC electro-óptico

Fuente: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/71>

- Figura 16: Ejemplo de uso para un estudio de arquitectura. (ESTADO TRANSPARENTE)

Fuente: <https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2019-03/Español-Brochure-PrivaLite-12p-A4%20ESP%203.pdf>

- Figura 17: Ejemplo de uso para un estudio de arquitectura. (ESTADO OPACO)

Fuente: <https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2019-03/Español-Brochure-PrivaLite-12p-A4%20ESP%203.pdf>

- Figura 18: Representación gráfica del funcionamiento de la retroproyección

Fuente: Elaboración propia

- Figura 19: Ejemplo de panel PDLC adherido a vidrio existente con retroproyección

Fuente: <https://www.electropolis.es/blog/laminas-auto-adhesivas-para-proyeccion/>

- Figura 20: Lámina táctil de vinilo transparente.

Fuente: <https://www.macroservice.es/displax-skin-multitouch/>

- Figura 21: Prueba de uso de panel PDLC con lámina táctil sobre vidrio retroproyectado

Fuente: Captura de pantalla Seg 28", 32", 44"
https://www.youtube.com/watch?time_continue=19&v=Q1sMEff_9WU

- Figura 22: Componentes necesarios para la instalación de un panel PDLC ensamblado en fabrica.
Fuente: <https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2019-03/Español-Brochure-PrivaLite-12p-A4%20ESP%203.pdf>
- Figura 23: Colocación Panel PDLC adherido sobre vidrio existente.
Fuente: <http://ca.iwittesmartpdlcfilm.com/smart-film/pdlc-smart-film/pdlc-switchable-smart-film.html>
- Figura 24: Panel PDLC para adherir sobre vidrio existente.
Fuente: <https://www.amazon.es/HOHO-Pel%C3%ADcula-electr%C3%B3nica-Inteligente-conmutable/dp/B07KPCTVYT>
- Figura 25: Embalaje panel PDLC para adherir sobre vidrio existente.
Fuente: <http://ca.iwittesmartpdlcfilm.com/smart-film/pdlc-smart-film/pdlc-switchable-smart-film.html>
- Figura 26: Vivienda unifamiliar con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire - Estado transparente.
Fuente: https://www.minimal-windows.com/fileadmin/Uploads/Bilder/7_Downloads/KEL_Imageprospekt_mw_03-2018.pdf
- Figura 27: Vivienda unifamiliar con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire - Estado opaco.
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
https://www.minimalwindows.com/fileadmin/Uploads/Bilder/7_Downloads/KEL_Imageprospekt_mw_03-2018.pdf
- Figura 28: Detalle constructivo
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
https://www.minimalwindows.com/fileadmin/Uploads/Bilder/7_Downloads/KEL_Imageprospekt_mw_03-2018.pdf
- Figura 29: Sección constructivo
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
https://www.minimalwindows.com/fileadmin/Uploads/Bilder/7_Downloads/KEL_Imageprospekt_mw_03-2018.pdf
- Figura 30: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 1.
Fuente: Captura pantalla (32'') <https://www.youtube.com/watch?v=rvlvEENjyTU>
- Figura 31: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 2.
Fuente: Captura pantalla (43'') <https://www.youtube.com/watch?v=rvlvEENjyTU>
- Figura 32: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 3.
Fuente: Captura pantalla (1'05'') <https://www.youtube.com/watch?v=rvlvEENjyTU>
- Figura 33: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 4.
Fuente: Captura pantalla (1'11'') <https://www.youtube.com/watch?v=rvlvEENjyTU>

- Figura 34: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 5.
Fuente: Captura pantalla (1'47'') <https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 35: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 6.
Fuente: Captura pantalla (1'59'') <https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 36: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 7.
Fuente: Captura pantalla (3'00'') <https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 37: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 8.
Fuente: Captura pantalla (3'17'') <https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 38: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Paso 9.
Fuente: Captura pantalla (3'27'') <https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 39: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Acabado final: Estado transparente.
Fuente: Captura pantalla (4'25'') + posterior edición con Photoshop
<https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 40: Puesta en obra del panel PDLC ensamblado en fabrica – Acabado final: Estado opaco.
Fuente: Captura pantalla (4'27'') + posterior edición con Photoshop
<https://www.youtube.com/watch?v=rVlVEENjyTU>
- Figura 41: Panel PDLC con vidrio coloreado.
Fuente: <https://www.smarttint.com/img/about/2.jpg>
- Figura 42: Panel PDLC con vidrio polarizado.
Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/product/black-out/>
- Figura 43: Interruptor clásico con varias posiciones para control de nivel de intensidad.
Fuente: Captura de pantalla seg <https://www.youtube.com/watch?v=zZ17vNaRX8g>
- Figura 44: Interruptor táctil con control de nivel de intensidad.
Fuente: <https://www.amazon.es/Interruptor-regulador-pantalla-cristal-templado/dp/B077WZLVBB?th=1>
- Figura 45: Control remoto mediante mando a distancia – Estado transparente.
Fuente: Captura de pantalla (Seg. 56'') <https://www.youtube.com/watch?v=U6mkiH154m8>
- Figura 46: Control remoto mediante mando a distancia – Estado opaco.
Fuente: Captura de pantalla (Seg. 59'') + posterior edición con Photoshop
<https://www.youtube.com/watch?v=U6mkiH154m8>
- Figura 47: Control remoto mediante APP.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 48: Proceso de funcionamiento panel PDLC con sensor crepuscular.
Fuente: Elaboración propia (Renderizado + Montaje con Photoshop)

- Figura 49: Propuesta escaparate con panel PDLC retroproyectado en Paseo Ruzafa, 26 - 46002 Valencia.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 50: Vivienda con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire - Estado transparente.
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
<https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/residential/>
- Figura 51: Vivienda con Paneles PDLC adheridos a vidrio en el interior de cámara de aire - Estado opaco.
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
<https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/residential/>
- Figura 52: Panel PDLC adherido a tragaluz efecto polarizado – Estado transparente
Fuente: https://casaydiseno.com/tragaluz-interior.html?image_id=229989
- Figura 53: Panel PDLC adherido a tragaluz efecto polarizado – Estado opaco
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen https://casaydiseno.com/tragaluz-interior.html?image_id=229989
- Figura 54: Tienda Movistar Av. del Cid, 1 - 46018 Valencia.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía)
- Figura 55: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección en uno de sus paños, el otro emplea un modelo cuya trama está formada a partir de logo de la empresa.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 56: Escaparate joyería con panel PDLC adherido cara interior vidrio seguridad - Estado transparente.
Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/retail/>
- Figura 57: Escaparate joyería con panel PDLC adherido cara interior vidrio seguridad - Estado opaco.
Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/retail/>
- Figura 58: Tienda Zara Calle Colón, 11 - 46004 València.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía)
- Figura 59: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 60: Habitación hotel con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
<https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/hospitality/>

- Figura 61: Habitación hotel con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen -
<https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/hospitality/>

- Figura 62: Oficina con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
<https://www.dreamglassgroup.com/es/product/super-clear/>

- Figura 63: Oficina con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaca.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
<https://www.dreamglassgroup.com/es/product/super-clear/>

- Figura 64: Sala de reuniones con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.

Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/corporate/>

- Figura 65: Sala de reuniones con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.

Fuente: <https://www.dreamglassgroup.com/es/sector/corporate/>

- Figura 66: Clínica dental con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado transparente.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen <http://www.ylab.es/index.php/arquitectos-barcelona-interioristas/30-architecture/diseno-corporativo-es/84-922-clinica-dental-barcelona.html>

- Figura 67: Clínica dental con Paneles PDLC ensamblados en fabrica 5+5mm - Estado opaco.

Fuente: <http://www.ylab.es/index.php/arquitectos-barcelona-interioristas/30-architecture/diseno-corporativo-es/84-922-clinica-dental-barcelona.html>

- Figura 68: Museo con Paneles PDLC ensamblados en fabrica - Estado transparente.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen
https://www.iluminacion.net/noticias/iluminacion_natural_y_led_para_un_gran_museo.asp?ID_Articulo=348

- Figura 69: Museo con Paneles PDLC ensamblados en fabrica - Estado opaco.

Fuente: https://www.iluminacion.net/noticias/iluminacion_natural_y_led_para_un_gran_museo.asp?ID_Articulo=348

- Figura 70: Propuesta de control del panel PDLC a través de la pantalla táctil del vehículo.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>

- Figura 71: Interior del vehículo, techo solar - Estado transparente.

Fuente: <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>

- Figura 72: Interior del vehículo, techo solar - Estado opaco.

Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>

- Figura 73: Interior del vehículo, ventanillas traseras - Estado transparente.
Fuente: <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>
- Figura 74: Interior del vehículo, ventanillas traseras - Estado opaco.
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>
- Figura 75: Exterior del vehículo, ventanillas traseras - Estado transparente.
Fuente: <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>
- Figura 76: Exterior del vehículo, ventanillas traseras - Estado opaco.
Fuente: Edición con Photoshop sobre imagen <https://www.factory-motor.com/veh%C3%ADculo/land-rover-range-rover-evoque-sd4/>
- Figura 77: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior para cabinas de estudio biblioteca general UPV – Estado opaco.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 78: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV - Estado transparente.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía)
- Figura 79: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV - Nivel de transparencia: 20%.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 80: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV - Nivel de transparencia: 60%.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 81: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV - Nivel de transparencia: 90%.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 82: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV - Estado transparente.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía)
- Figura 83: Cabina de estudio biblioteca general de la UPV - Estado opaco.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 84: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección. Sala de exposiciones Escuela técnica superior de Arquitectura UPV – Estado opaco.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 85: Sala exposiciones – Estado transparente.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía)
- Figura 86: Sala exposiciones – Estado opaco.
Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)
- Figura 87: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección. Sala de exposiciones Escuela técnica superior de Arquitectura UPV – Estado opaco.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Figura 88: Sala exposiciones – Estado transparente.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía)

- Figura 89: Sala exposiciones – Estado opaco.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Figura 90: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio templado, diseño: franjas horizontales. Sala de reuniones estudio de arquitectura Grupo Value – Estado opaco.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Figura 91: Sala de reuniones – Nivel de transparencia 0% - 20% - 40%

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Figura 92: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio templado, diseño: Logo Grupo Value. Sala de reuniones estudio de arquitectura Grupo Value – Estado opaco.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Figura 93: Sala de reuniones – Estado transparente.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía)

- Figura 94: Tienda PHONE HOUSE, Calle San Vicente Mártir, 102, 46007 Valencia.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía)

- Figura 95: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Figura 96: Tienda GAME. Calle San Vicente Mártir, 104, 46007 Valencia.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía)

- Figura 97: Propuesta de paneles PDLC adheridos a cara interior de vidrio exterior con retroproyección.

Fuente: Elaboración propia (Fotografía + Montaje con Photoshop)

- Gráfico 1: Compatibilidad lámina PDLC.

Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 2: Formas compatibles con el material

Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 3: Control Panel PDLC.

Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 4: Aplicaciones de uso en sectores laborales.

Fuente: Elaboración propia

10.3 SOFTWARE EMPLEADO:

- Edición de textos: Microsoft Word 2016
- Edición fotográfica: Adobe Photoshop CC versión 20.0.0
- Edición de gráficos: <https://www.lucidchart.com> - © 2019 Lucid Software Inc.
- Mediciones y Presupuestos: Arquímedes - 2016.o