

Francesc Casanellas

Chartered Engineer, Member IEE, Senior Member IEEE

C. Sant Ramon, 5

08591 Aiguafreda - Spain

☎ +34 93 844 2301 – 📠 +34 677 00 00 00

francesc@casanellas.com - www.casanellas.com

DISPLAYS DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD = Liquid Crystal Displays).

Principio de funcionamiento

El sistema de funcionamiento de estos displays se basa en la polarización de la luz, un fenómeno investigado a partir del 1808 y usado en instrumentos tales como polarímetros y sacarímetros. El rayo de luz es una onda electromagnética que oscila en multitud de direcciones diferentes. Un polarizador es un filtro que deja pasar la luz con las vibraciones predominantemente en un solo sentido. Si disponemos de dos polarizadores uno tras otro de modo que sus ángulos de filtrado formen 90° , no dejarán pasar ninguna luz, mientras que si están orientados en el mismo sentido, dejan pasar la luz polarizada en este sentido. Ver fig. 1.

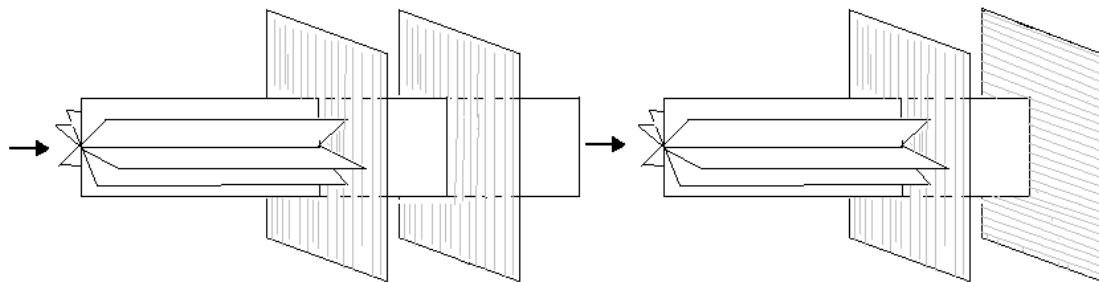


Fig. 1

En la figura, el polarizador de la izquierda recibe luz que vibra en todos los planos y sólo deja pasar la luz que oscila en el plano vertical. El segundo polarizador está orientado en el mismo sentido y deja pasar la luz polarizada. En cambio, en la figura de la derecha, el segundo polarizador está orientado en sentido horizontal y bloquea la luz polarizada por el primero.

Un polarizador absorbe la mitad de la energía luminosa que lo atraviesa. Éste es el motivo por el que los displays de cristal líquido tienen el fondo gris y no blanco. (Un LCD que se vea de un gris más oscuro que otro tendrá un polarizador mejor que el más claro).

Un precedente antiguo de los displays fue la célula de Kerr que data de 1875: en presencia de un campo eléctrico hay sustancias como el nitrobenzeno que hacen girar el plano de polarización de la luz. Si ponemos una célula de Kerr entre dos polarizadores cruzados, de entrada éstos no dejan pasar la luz, pero si aplicamos una tensión, el líquido gira el plano de vibración de la luz de manera que ésta ya no incidirá en el polarizador de salida a 90° y lo podrá atravesar. Aplicando o no tensión se puede hacer que la luz pase o no.

Así pues, a mediados del siglo pasado había las bases científicas suficientes para fabricar displays basados en la polarización de la luz, que hubieran sido muy gruesos y extraordinariamente caros. El problema principal para hacerlos a un precio razonable lo constituían los polarizadores. Éstos estaban hechos de un cristal mineral (espato de

Islandia, turmalina, cuarzo, etc.) cortado de un modo especial y pegado luego con bálsamo del Canadá: un polarizador (prisma de Nicol¹) era pequeño y muy caro, apto sólo para instrumentos de laboratorio.

El descubrimiento de polarizadores orgánicos por Land en 1934 permitió el desarrollo de polarizadores en láminas². La primera aplicación para el gran público la constituyeron los filtros antirreflejos para gafas y fotografía: están basados en el hecho de que la luz reflejada en muchas sustancias como el cielo, el agua, etc, se polariza en más o menos grado (según el ángulo de reflexión) y por tanto se pueden atenuar los reflejos intercalando un polarizador con el ángulo apropiado.

El otro avance que ha permitido la fabricación masiva de los displays son los cristales líquidos orgánicos, desarrollados hacia 1970.

El cristal líquido

Un cristal líquido es un líquido que mantiene una estructura cristalina, es decir, que mantiene las moléculas ordenadas en direcciones determinadas. Los cristales líquidos usados más usados en los displays son los que tienen una estructura *nemática* están formados por moléculas orgánicas alargadas que tienden a orientarse en la misma dirección (fig. 2). En la presencia de un campo eléctrico, las moléculas se orientan en dirección al campo.

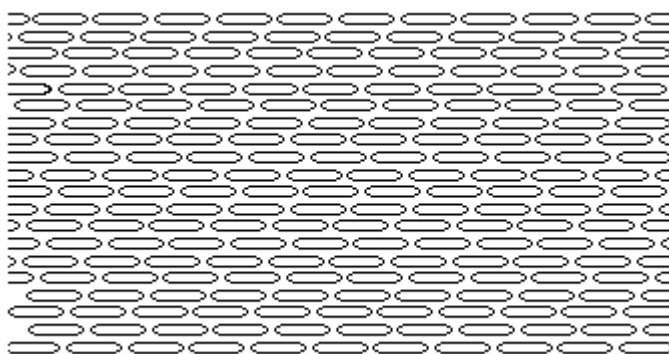


Fig. 2

Sin embargo, la estructura uniforme no se mantiene en todo un volumen ya que las moléculas pierden su orientación inicial con la distancia. El aspecto de un cristal líquido en una botella es opaco y lechoso debido a la dispersión de la luz causada por la falta de orientación uniforme en todo el volumen. Si el cristal líquido tuviera todas las moléculas orientadas en el mismo sentido en todo el volumen, sería transparente. Al hablar de la construcción del display se verá como se obtiene esta orientación uniforme.

Los cristales líquidos tienen un margen muy pequeño de temperatura de trabajo. Al aumentar la temperatura, el líquido pierde la estructura cristalina y entra en la fase isotrópica, es decir se convierte en un líquido normal. Al bajar la temperatura se congela, normalmente entre 15 y 35°C. La diferencia entre los dos temperaturas es muy pequeña, de unos 15 a 30° en productos corrientes.

Al mezclar dos cristales líquidos diferentes, el margen de temperaturas se incrementa mucho. En la práctica, el cristal líquido usado en un display puede tener 6 o

¹ Tanto Nicol como Kerr eran físicos escoceses.

² Se usaba una suspensión de agujas cristalinas de sulfato de iodoquinina que se orientaban mediante circulación del líquido mientras se efectuaba el secado. Actualmente también se fabrican orientando las moléculas, por ejemplo de alcohol polivinílico, por tensión mecánica. De hecho estos sistemas producen una lámina birrefringente, con dos componentes polarizadas a 90°, pero una de las componentes se absorbe internamente, para lo cual, en el caso del segundo sistema citado, se colorea la lámina con yodo.

8 cristales líquidos diferentes mezclados, además de aditivos diversos. Se trata de una química extraordinariamente complicada.

Construcción del display de cristal líquido (fig.3)

Dos cristales planos están un frente a otro, separados por una distancia muy pequeña, que suele ser de 5 a 10 micras. En las placas de cristal hay impresos unos electrodos, en la forma de los segmentos que se deban ver, hechos en un material conductor eléctrico pero transparente (óxido de estaño-indio). El conexionado entre las dos placas se hace con adhesivo epoxy conductor. La separación entre las placas se mantiene con bolitas de plástico o hilos microscópicos de vidrio.

Los electrodos se recubren con un plástico aislante muy delgado (menos de una micra). Este plástico sufre un tratamiento para que las moléculas del cristal líquido que recibirá se orienten en la misma dirección. Este tratamiento es la parte más esotérica de la construcción del display. Suele consistir en un frotado con fieltro, papel o cepillo, que crea microsurcos a lo largo del los cuales tienden a orientarse las moléculas. Además, una pequeña inclinación en sentido perpendicular a la superficie permite la orientación de las moléculas en el buen sentido de los dos posibles ($\pm 180^\circ$).

Una vez cortados los cristales individualmente de una placa mayor, se llenan con el líquido y se sella la abertura de llenado.

Por fuera de los cristales se pegan las láminas polarizadoras autoadhesivas. Si el display es de reflexión, se coloca detrás de todo una capa reflectante. Si son translúcidos ("transflective") se coloca una lámina translúcida.

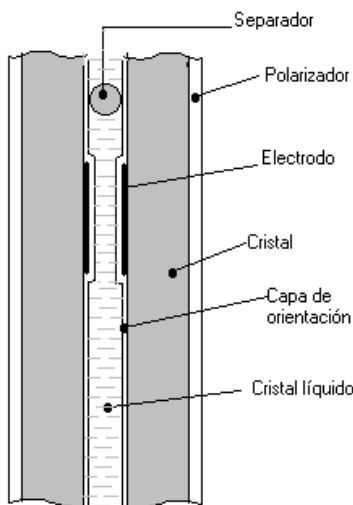


Fig. 3

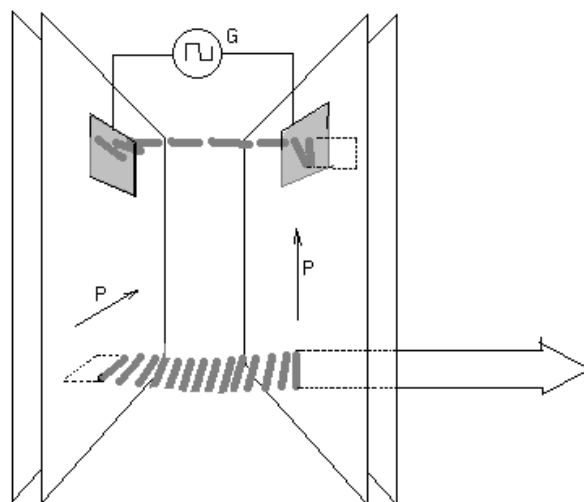


Fig. 4

Los dos cristales se colocan con el sentido de orientación (microsurcos) cruzados a 90° . Entonces, como se ve en la parte baja de la figura 4, las moléculas se tuercen ("twist") entre una placa y la otra. Una propiedad de los cristales líquidos es que el plano de polarización de la luz gira con el sentido de las moléculas. Suponiendo que el primer polarizador está orientado en el sentido de las moléculas del líquido, la luz sale del segundo cristal con el plano de polarización girado 90° respecto a como sale del primer polarizador. Si el segundo polarizador se coloca girado a 90° respecto al primero, pasa la luz (display positivo) y si se coloca en el mismo sentido, no pasa (display negativo). En la figura 4 los polarizadores siguen el mismo sentido que las películas de orientación, por lo que están cruzados. Si no fuera porque la luz gira 90° a causa del

crystal líquido retorcido ("twisted"), la luz no pasaría, pero el giro del plano de polarización permite que la luz pase.

Si se aplica tensión entre los electrodos, como se muestra en la parte de arriba de la figura 4, las moléculas se orientan en el sentido del campo, es decir perpendiculares a las placas y dejan de girar el plano de polarización de la luz. Por tanto en el caso del display positivo (polarizadores cruzados), no pasa la luz donde hay electrodos y en el caso del display negativo (polarizadores paralelos), pasa la luz donde hay electrodos. En el caso de la figura 4, donde hay los electrodos se verían de color negro.

Esto se refiere a los displays TN (Twisted Nematic = Nemáticos Torcidos). En los displays STN (Super Twist Nematic) el giro de las moléculas (y del plano de polarización) es de 180 a 240°. Si bien tienen mejor contraste y ángulo de visión, su margen de temperatura de trabajo es inferior.

Temperatura de trabajo:

A partir de la temperatura de trabajo superior, el display (si es positivo) se vuelve negro y ello no es debido a que ennegrezca el líquido, al contrario, éste pierde su estructura cristalina (nemática), queda completamente transparente, deja de girar el plano de polarización de la luz y por tanto la luz no pasa por los polarizadores que están cruzados. El display se recupera si la temperatura desciende de nuevo, mientras no se sobrepase la temperatura de almacenaje, lo que dañaría el polarizador.

Las temperatura mínima de trabajo de los displays TN suele ser de -10° a -30° . Las temperatura superior de los displays más baratos suele ser de 60° o 70° . Para aplicaciones industriales y automoción se usan displays de 80° y 85° , y algunos fabricantes alcanzan los 90° e incluso los 105° . Las temperaturas de almacenaje suelen tener unos 10°C de diferencia respecto a los límites de trabajo..

LCD coloreados

Hay tres métodos básicos para obtener LCDs coloreados.

El sistema más sencillo consiste en colocar filtros de colores por detrás del display. Esto permite colorear lo que sería el fondo claro, pero las zonas negras permanezcan negras. Como los colores se aplican por serigrafía, es un sistema barato y que permite varios colores.

El problema de que las zonas negras no cambien de color hay que solucionarlo con un diseño adecuado, basado en el uso extensivo del display en negativo, es decir que lo que no interesa queda en negro y los segmentos de interés (en color) son transparentes.

Si entre dos polarizadores se coloca una sustancia que gire el plano de luz en grado diferente según el color, esta longitud de onda se verá favorecida o desfavorecida, según la posición de los polarizadores y se verá un color o su complementario. Basta colocar entre dos polarizadores láminas de mica, plástico que haya sufrido deformaciones (por efecto de la extrusión, por ejemplo), incluso papel de celofán arrugado, para observar el efecto. (Reciben el nombre de láminas retardadoras). Pueden obtenerse dos colores distintos con cada lámina, complementarios entre sí, según la posición de los polarizadores. El propio plástico del polarizador puede estar tratado para producir este efecto y de este modo se habla de polarizadores coloreados. Quede claro que estos polarizadores cuando están solos no tienen color propio, son grises. Puede jugarse con los dos polarizadores para conseguir segmentos de un color sobre fondo de otro color, por ejemplo segmentos rojos sobre fondo verde.

Este sistema se usa para corregir el color verdoso de los displays STN. Sin embargo, el color no suele ser muy intenso y si se desean varios colores deben el

montarse de láminas diferentes recortadas con la forma del área coloreada, lo que resulta caro.

El tercer método consiste en el uso de luz de iluminación trasera coloreada: evidentemente sólo se puede cambiar el color de fondo y cuando hay poca luz ambiente.

Ángulo de visión

La figura 5 muestra un gráfico del ángulo de visión de un display TN típico. Normalmente se define como ángulo de visión aquel a partir del cual el contraste baja a la mitad. La dirección preferente es hacia las "6h". Simplemente invirtiendo el display se puede conseguir que el ángulo preferente esté en las "12 h". Girándolo en posiciones intermedias se consiguen otras reparticiones del ángulo de visión en sentido vertical., pero hay un problema que hay que tener en cuenta: si se gira un display a 90° de la orientación normal, la luz que sale del display está polarizada horizontalmente y entonces el display se ve totalmente negro si se observa con unas gafas antirreflejos "Polaroid".

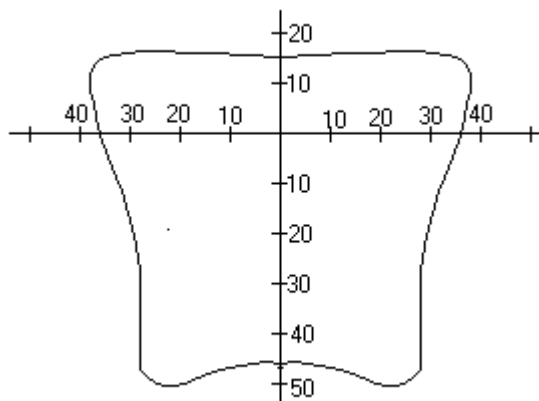


Fig. 5

Métodos de iluminación

Modo reflexivo: La parte de atrás se recubre con un reflector, tal como film de aluminio. Indicado para imágenes positivas que no deban verse en la oscuridad.

Modo transmisivo: El display se ilumina por detrás. Adecuado para imágenes en negativo. Puede proyectarse la imagen.

Modo "transflectivo": Una combinación de los dos modos anteriores. Se un reflector translúcido e iluminación trasera cuando hay oscuridad.

Antirreflejos

La parte anterior puede recubrirse con un film con tratamiento antirreflejos.

Conexionado

Hay tres métodos principales:

- Pines: con paso entre 1.27 y 2.54 mm. El pin está fijado con adhesivo conductor al cristal y luego lleva un recubrimiento de resina epoxy. El contacto puede ser sensible al choque térmico. Es el sistema más caro.
- Elastómetro: goma conductora a bandas, también conocida como cintas zebra. Es muy económico pero precisa de superficies de union muy limpias y para garantizar un buen

contacto a largo plazo, la superficie de contacto del circuito impreso debería de estar dorada, lo que ya no lo hace un sistema tan económico. Permite pasos de conexión muy pequeños (0.5 mm).

- Banda flexible: Un circuito de bandas conductoras sobre plástico flexible. Es un sistema bastante económico y que permite que el display esté a cualquier distancia del circuito electrónico, sin que le afecte la vibración. Precisa de máquinas de soldar especiales.

Alimentación

Para evitar fenómenos de electrólisis que los deterioran, los displays de cristal líquido deben alimentarse con corriente alterna. La tensión de alimentación debe ser bastante precisa para mantener un buen contraste y ángulo de visión.

En displays de muchos segmentos, lo normal es usar la técnica de *multiplexado* que permite reducir mucho la cantidad de conexiones al display. En vez de usar un simple electrodo común en un lado y los segmentos en otro, el electrodo común se subdivide en varios, por ejemplo 4, y en el caso del ejemplo hay 4 segmentos que tienen la misma conexión: según que común se conecte se encenderá uno u otro segmento. Un display que precise de 80 segmentos, por ejemplo, precisaría de 80 conexiones + 1 para el electrodo común, es decir de 81 conexiones. Con un multiplexado de 4 comunes, el número de conexiones pasa a 20 segmentos + 4 comunes = 24. La electrónica del display es evidentemente mucho más complicada en el caso del multiplexado y suelen usarse circuitos especiales, a veces incluidos en el microcontrolador.

Últimos desarrollos: LCD reflectantes.

El cristal líquido colestérico se llama así porque se empezó partiendo del colesterol animal para fabricarlo.

En estado inicial, sin tensión, el display es transparente y es display se ve oscuro gracias al fondo negro. Se aplica una tensión de 30 a 40 V que orienta las moléculas (estado homeotrópico) y se suprime esta tensión de golpe: las moléculas siguen orientadas pero se "arrugan" en forma helicoidal (estado planar). En cristal refleja la luz de un color determinado, según sea el grado de torsión. Aquí radica una gran ventaja de este display: como refleja un color pero es transparente a los otros, los "pixels" pueden estar situados uno bajo el otro, en vez de uno al lado del otro, con lo que, a igual tecnología, se puede aumentar 3 veces la resolución de un display TN. Se colocan 3 láminas de display superpuestas, una para cada color rojo, verde y azul.

Los displays en color normales usados en ordenadores precisan de iluminación posterior, ya que los filtros de color reducen el brillo.

Una gran ventaja del display reflectante es que no lleva filtros y por tanto se ve bien sin iluminación posterior: al contrario, cuanto más luz mejor se ve.

El contraste es mejor que 20:1 es decir, el mismo que una impresión a laser. El tiempo de respuesta, de momento, es inferior a los LCDs convencionales (30-100 ms contra 20 ms). El índice de reflexión es del 40% contra el 80% de un buen papel o el 50% del papel de periódico.

Para aplicaciones en automoción, el problema radica en la iluminación nocturna.

Resumen de tipos de LCD comunes

<i>Siglas</i>	<i>Nombre completo</i>	<i>Temp. trabajo</i>	<i>Temp. almac.</i>	<i>Contraste</i>	<i>Múltiple-xado máx.</i>	<i>Coste</i>	<i>Observaciones</i>
TN	Twisted Nematic	-30 a +85 °C	-40 a +90 °C	Muy bueno 1/50	1/8	Bajo	Rotación TN:90°
HTN	Twisted Nematic	“	“	“	1/16	Bajo	Rotación > 90°
STN	Super-Twisted Nematic	-30 a +85 °C	-40 a +90 °C	Bueno	1/240	Medio	Negro azulado Blanco amarillento
FSTN	Film STN		“	Muy bueno 1/30	1/240	Medio	STN con film de retardo corrector del color.
DSTN	Double STN	“	“	Muy bueno Hasta 1/90	1/240	Muy alto	Célula LCD de compensación
DSTN+ITO heater		-40 a +85 °C	“	“	“	Alto	DSTN con pistas calefactoras transparentes
ESTN	Enhanced STN	-30 a +85 °C	“	Muy bueno	1/80	Alto	Para displays en negativo
ISTN	Intelligent STN	“	“	Muy bueno	1/240	Bastante alto	STN con film de retardo tipo LCD sólido (Twistar), para compensar la temperatura.

Tecnologías competidoras

Citemos tecnologías que podrían ser usadas en instrumentación:

El Gyricon de Xerox. Se trata de pequeñas bolitas de plástico (100 µm) la mitad negras y la otra mitad blancas que pueden girar en una cavidad llena de aceite. Las esferas se someten a un campo eléctrico (50-150 V) y se orientan en dirección a éste, de modo que se puede poner la cara blanca o negra en la superficie frontal. El contraste es parecido al de un periódico. El substrato puede ser flexible. La imagen permanece muchas horas una vez se ha eliminado el campo eléctrico. Tiempo de respuesta: unos 80 ms.

La tinta electrónica de E Ink, está basada en la electroforesis, la migración de partículas de una solución coloidal sometida a un campo eléctrico. El líquido está teñido de oscuro. En presencia de un campo eléctrico (90 V), las partículas blancas van hacia el electrodo positivo. Si el electrodo positivo corresponde a la cara visible, ésta se ve

blanca, si corresponde a la cara trasera, se ve el líquido oscuro. El problema con las tintas coloidales es que tienden a hacer grumos con el tiempo. E Ink solucionó el problema usando microcápsulas de un diámetro de 300 μm a 30 μm . También se han probado sistemas de líquido claro con partículas blancas y negras (unas van hacia el electrodo positivo y las otras hacia el negativo). Puede conseguirse mayor resolución que con el Gyricon y también permite displays flexibles. El contraste es cercano a 10:1 y el tiempo de respuesta es del orden de los 100 ms.

Los LEDs orgánicos, PLED (Cambridge) y **OLEDs** (Kodak). LEDs fabricados en material plástico semiconductor (que les valió el Premio Nobel a los investigadores de Cambridge University). En vez de ser puntuales como los LEDs, se pueden fabricar en láminas. Se parecen al film electroluminescente pero con mucho mayor brillo (actualmente 100 cd/m^2) y con alimentación en corriente continua de baja tensión. A la larga se espera que sustituyan a la mayoría de tecnologías.

Pero el desarrollo ha sido más lento de lo esperado. El principal problema es la duración, principalmente a temperaturas elevadas. Actualmente (1/2 2003) la duración hasta medio brillo va de unas 7000 horas para el amarillo a unas 2000 horas para el azul. La temperatura máxima es de 70°C, pero a esta temperatura la vida útil se reduce muchísimo. Es posible ya usar OLEDs para ciertas aplicaciones pero no para automoción, pero el precio actual es demasiado elevado.

Se cree que no habrá producción en serie hasta mediados del 2005.

Biografía resumida de Edwind Land

Nace el 7 de mayo de 1909 en Bridgeport, Connecticut. Los abuelos eran judíos emigrados de Rusia huyendo de los 'pogroms' de 1881.

En 1927 deja los estudios en Harvard para dedicarse a inventar un polarizador plano con la principal idea de aplicación de evitar el deslumbramiento de los faros de los automóviles. Se trataba de poner polarizadores orientados a 45° de la vertical en los faros y en el parabrisas. La luz de los automóviles que vinieran en sentido contrario estaría polarizada a 90° y quedaría atenuada. Su padre le prestó el apoyo económico.

En 1928 emplea a un químico orgánico para que lo ayudara. Trabajaron intensamente en la cocina de los padres de Land. Consiguieron la orientación de microcristales con campos eléctricos y luego magnéticos, lo que era ya un paso para el polarizador plano. Los cristales usados eran Herapathita, inventados por Herapath y un estudiante en 1852: usaban orina de perros a los que se había dado quinina, añadiendo yodo.

En 1929 vuelve a Harvard para estudiar física. Se casa. Combina los estudios con las investigaciones.

En 1932 presenta en Harvard el polarizador en que la orientación de los cristales se consigue por extrusión. Monta su propia empresa que luego se llamará Polaroid.

En 1934 firma un contrato con Kodak para filtros polarizados para cámaras de fotografía y en 1935, firma un contrato con American Optical para polarizadores para gafas de sol.

En 1938 inventa el polarizador sin cristales: una lámina de alcohol polivinílico extruida (film K) que sigue siendo la técnica actual.

En 1940 publica un trabajo sobre fotografía en relieve.

Los fabricantes de automóviles deciden no equiparlos con el sistema antideslumbramiento: precisa un 70% más de potencia lumínica, hay el problema del tiempo en el que convivieran los dos tipos de automóviles, se están construyendo autopistas y no ven ventaja económica para ellos.

En 1944 empieza sus primeros experimentos con la **fotografía instantánea**. En febrero de 1947 hay la primera demostración en New York.

La primera cámara Polaroid 95 sale al mercado en 1948, con film en color sepia.

En 1957 se producen las primeras pruebas positivas de fotografía instantánea en color, un proceso complicadísimo.

En 1958 trabaja en un programa secreto de un satélite de seguimiento del avión espía U2.

En 1963 aparece el film en color Polarcolor que Polaroid subcontrata a Kodak.

En 1969 Polaroid licencia a Kodak que empieza a vender su film para fotos instantáneas en 1975.

Por los años 70 empieza el uso del film polarizado en los LCDs. Una aplicación que alcanzaría cantidades enormes en los 90.

En 1972 empiezan las ventas de la revolucionaria cámara SX-70. Kodak decide fabricar su propia película instantánea.

En 1976 Kodak empieza las ventas de su película instantánea en color. Polaroid demanda a Kodak por infracción de patentes.

En 1977 muestra Polavision, un sistema de cine instantáneo, elegante técnicamente pero comercialmente inviable.

En 1982 el tribunal da la razón a Polaroid. Kodak debe abandonar la fotografía instantánea y pagar una indemnización de 900 millones de \$ en 1991.

En este año, las ventas de cámaras 'instant' habían bajado a una fracción de las cantidades de 1977 y 1978, a causa, principalmente, del auge de las tiendas de revelado rápido.

Land dimite como presidente de Polaroid. Se dedica a investigar la percepción del color.

A pesar de la perspectiva pesimista, Polaroid invierte cada año 100 millones de \$ (5 % de las ventas) en investigación.

1 de marzo de 1991: Land muere.

Actualmente, las ventas de fotografía instantánea siguen bajando en picado, heridas de muerte por la fotografía digital. Polaroid ha ido a la bancarrota. En cambio, los films polarizadores hechos con la técnica original de Land, se usan por centenares de millones en pantallas de LCD de teléfonos móviles, PCs, calculadoras, relojes digitales, etc.