

DIGITALIZACIÓN RADIOGRÁFICA

- Introducción a la Digitalización.
- Densitometría y Sensitometría Radiográfica.
- Cámaras analógicas de captación.
- Concepto del Color. Técnicas colorimétricas.
- Imágenes mamográficas.
- Casos prácticos.

Autor: Josep Alfred Piera i Pelliçer

INTRODUCCIÓN A LA DIGITALIZACIÓN

Radiología Digital.

Todo dispositivo que permita obtener una imagen digitalizada a partir de una imagen analógica, es decir, susceptible de ser almacenada bajo la forma de un número que representa la posición de un punto de píxel, unidad de superficie elemental, y el nivel de gris medio de este píxel. Esta digitalización puede ser efectuada también mediante un procedimiento artesanal como por la metodología más sofisticada.

Un ejemplo anecdótico lo constituye el Premio Nobel Hounsfield, cuyos primeros trabajos fueron efectuados mediante cálculos manuales. Podría imaginarse en caso de la mamografía la colocación de una grilla muy fina colocada sobre la mamografía.

Asociada a esta grilla, un lupa o un microscopio sobre el cual, punto por punto se conserva el nivel de gris con una escala graduada comparativa que nos permitiría, por una parte, dar la referencia del punto con las coordenadas ortogonales clásicas representando el elemento de la grilla que sirve al recortado de la imagen y, por el otro, el valor del nivel de gris en comparación con la escala que se habría convenido utilizar. Se trataría ésta de una técnica de digitalización casi arcaica, pero posible; el almacenamiento se haría sobre un papel anotando punto por punto el valor del nivel de gris obtenido, o de otra manera, utilizando una memoria informática.

La radiografía analógica permite, por cierto, una imagen de calidad igualada por digitalización; por el contrario, no permite todas las modificaciones informáticas de la imagenología digitalizadas, permitiendo además la detección automática de opacidades, por una parte y, por la otra, la decisión en el despistaje de masas.

Digitalización indirecta y directa.

La diferencia fundamental entre ambas no reside en el procedimiento, sino en la ventaja de la rapidez de obtención. Se puede considerar que una técnica, cualquiera que sean los intermediarios analógicos, puede, en la actualidad, conducir a una digitalización. Calificarla como directa quiere decir en los hechos que los intermediarios mecánicos, electrónicos, físicos, en general, que permiten la obtención de esta imagen digitalizada, son lo suficientemente inmediatos tanto en el tiempo como en sus mecanismos.

Técnica de Digitalización Indirecta.

La primera de estas técnicas consiste en digitalizar la radiografía mediante una cámara CCD y obtener así coordenadas espaciales que se reparan sobre el plano de un film con los valores correspondientes a la intensidad de los niveles de grises de ese punto. Esto puede ser efectuado por una cámara, ya sea de tipo tradicional, o portadora de un tubo analizador, o de una cámara CCD cuya matriz y sistema óptico definirán a la vez el campo y la resolución. Por estas técnicas, la digitalización no permite una resolución mayor de 100 micrómetros, aproximadamente y, todavía más, esa resolución se tendrá sobre una pequeña parte de la radiografía.

Se pueden también utilizar escáneres constituidos por un sistema óptico que mide la imagen punto por punto permitiendo una resolución de 50 micrones a 100 micrómetros, y finalmente microdensitómetros, generalmente utilizados en astronomía, que permiten resoluciones superiores a la visión humana.

Las técnicas de digitalización indirecta estrictas tienen el inconveniente de lograr su adquisición sobre una imagen ya constituida, particularmente, en lo que se refiere a la resolución en contraste, asumir la influencia de las zonas de saturación de la imagen, por una parte y, por otra, la distorsión provocada por el comportamiento en el desarrollo y exposición del film.

Porvenir de las técnicas de digitalización.

Las resoluciones actuales rondan los 100 micrones sobre pequeñas superficies para las técnicas de digitalización directa y de 100 micrones en grandes superficies por técnicas de digitalización indirecta por pantallas fosforescentes o a partir de radiografías, pero hemos visto las limitaciones de estas técnicas donde las resoluciones pueden alcanzar 50 micrones.

El uso de los sistemas digitales no se ha generalizado hasta ahora en radiología debido fundamentalmente a que existen circunstancias, tales como la alta resolución espacial requerida para capturar el fino detalle de determinadas estructuras presentes en la imagen radiológica convencional y la alta tecnología necesaria para que los algoritmos de procesamiento precisen de menos tiempo computacional, que hacen que los sistemas resulten, en el momento actual, extremadamente caros.

La radiografía convencional es, en la actualidad, la única modalidad de imagen con capacidad pro-

bada para observar y detectar imágenes internas clínicamente ocultas.

Una de las principales ventajas de la utilización de sistemas radiográficos digitales consiste en la posibilidad de manipular la imagen mediante la aplicación de determinados algoritmos de procesado, contribuyendo por tanto, de una manera positiva al diagnóstico. Así, se utilizan técnicas de Procesado Digital de Imagen (PDI), tales como pseudocolor, ecualización del histograma, transformaciones no lineales en la escala de grises y filtros espaciales, para incrementar la habilidad del observador en apreciar información que puede no ser obvia debido al estrecho rango dinámico de información resultante de la imagen radiológica.

La técnica de PDI original, consistente en la combinación automática de diversos filtros espaciales y cuyo resultado final es la producción de un realce de bordes similar al producido analógicamente con la técnica xerorradiográfica.

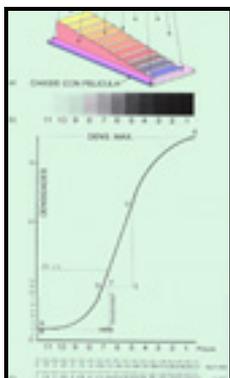
DENSITOMETRÍA Y SENSITOMETRÍA RADIOGRÁFICA

Características de la película.

El funcionamiento de la combinación de película-pantalla y de la química asociada al procesado de la película se describe mediante la curva característica densidad óptica de la película vs logaritmo de la exposición a la radiación. Dos métodos de producción de dicha curva característica son:

- Sensitometría óptica - usando un sensitómetro.
- Cuña escalonada de aluminio - usando un aparato de rayos X calibrado.

Con la técnica de rayos X se emplea una cuña escalonada de aluminio y las densidades de los escalones están relacionadas logaritmicamente con la transmisión de rayos X. En este caso, sólo es necesario representar el número de escalones en el eje de las x. Este método padece de los efectos de endurecimiento del haz dentro de la cuña escalonada.



La curva característica proporciona información relativa al diseño y fabricación de la película y pan-

tallas y a su interacción con la química de la procesadora. Esta puede especificarse evaluando los siguientes parámetros a partir de la curva:

- Base + velo

Densidad correspondiente a una exposición cero

- Velocidad

La exposición requerida para producir una densidad de aproximadamente 1,0 por encima del valor de base + velo

- Contraste o gamma

La diferencia de exposición entre dos puntos situados respectivamente en la parte superior e inferior de la parte lineal de la curva característica.

- Latitud o escala dinámica

El intervalo de exposiciones o densidades de la película para los cuales hay cambios de contraste.

- Hombro

La parte de la curva correspondiente a la zona de saturación.

- Pie

La parte de la curva donde comienza la zona lineal

Aspectos de la sensitometría de la película.

En la sensitometría óptica la diferencia de densidad entre dos escalones de la película una vez procesada se expresa mediante:

$$[D2 - D1]_{\text{película}} = \text{Gamma película} \times [D2 - D1]_{\text{filtro}}$$

en donde $[D2 - D1]_{\text{filtro}}$ es la diferencia de densidades de los filtros ópticos existentes en el interior del sensitómetro.

Usando la ecuación anterior, se puede calcular el número de escalones de densidad útiles que pueden ser empleados en las cuñas escalonadas ópticas que se usan con películas médicas. El intervalo útil de densidades (escala dinámica) de una película médica está comprendido entre 2,5 y 3,0, aproximadamente.

Una cuña escalonada de 20 escalones que abarcase exactamente el intervalo completo de densidades de la película médica debería tener una diferencia de densidad entre escalones de 0,125 a 0,15 o la escala dinámica dividida por el número de escalones. La diferencia de densidades de los filtros ópticos que se requiere para obtener esta diferencia de densidades en la película médica puede calcularse a través de la ecuación anterior considerando que la gamma de la película médica vale aproximadamente 3,0.

Se obtienen valores para la diferencia de densidades de los filtros que oscilan entre 0,04 y 0,05, que son diferencias muy pequeñas y difíciles de obtener exactamente y con reproducibilidad con los instrumentos del campo.

Las diferencias de densidad más realistas que pueden obtenerse rutinariamente en la construcción de filtros para cuñas escalonadas ópticas se encuentran en la región de 0,15 a 0,2.

Estas diferencias de densidad de los filtros producen diferencias de densidad entre escalones de 0,45 a 0,6 en la película médica, lo que significa que 10 escalones en la cuña son adecuados para cubrir la escala dinámica completa de densidades de la película médica necesaria para obtener su curva característica .

Negatoscopios.

El negatoscopio debe limpiarse por dentro y por fuera. Se verifica visualmente si hay desajustes en el brillo o en el color y se coloca un detector luminoso en contacto con el negatoscopio. Se mide el brillo en el centro y en cada esquina. No se precisa verificar la luminosidad perimetral porque la cámara discriminará la luz externa bien por exceso o por defecto.

CÁMARAS ANALÓGICAS DE CAPTACIÓN

Cámara.

La cámara es el elemento sensible dentro del CCTV. Se dividen en dos grandes bloques: cámaras de tubo (prácticamente en desuso) y cámaras de estado sólido (CCD).

La tecnología CCD presenta la ventaja de poder albergar un dispositivo de captación de imagen de estado sólido (sin tubo de vacío) y de muy pequeño tamaño. Esto se traduce en cámaras portátiles robustas y poco sensibles a los golpes y vibraciones, y en una notable reducción de su peso y tamaño, así como de las tareas de mantenimiento.

El dispositivo CCD es una superficie plana que consta de pequeñísimos elementos sensibles a la luz, los pixels, que convierten la señal luminosa en energía eléctrica. La carrera de los diversos fabricantes ha estado encaminada a conseguir el mayor número posible de pixels para garantizar la mejor resolución de la imagen, encontrándose en la actualidad sensores para blanco y negro y color de alta resolución superiores a los 400 000 pixels,

capaces de funcionar a niveles de iluminación de centésimas de lux.

Este parámetro difiere en gran medida al utilizar una tecnología en color o en blanco y negro. El motivo fundamental de esta diferencia viene dado porque, para componer una imagen en color, se tienen que realizar dos procesos de descomposición de la misma en una información más simple, que resulte entendible por un elemento captador que tiene capacidad de distinguir solo diferencias de nivel.

La sensibilidad se suele confundir a menudo con la iluminación mínima necesaria, ya que ambas magnitudes se miden en lux. Tampoco hay uniformidad de criterios a la hora de indicar la apertura máxima de la óptica, que suele oscilar entre f:1,2 y f:1,7 (cuanto menor sea el número más favorecido resultará el parámetro sensibilidad).

Se estudian dos tipos de resoluciones: la horizontal y la vertical. Su medida se realiza utilizando una imagen formada por líneas verticales y horizontales. La resolución horizontal se define como el número de líneas verticales blancas y negras que la cámara es capaz de distinguir a lo ancho de la imagen efectiva. Por otra parte se define la resolución vertical como el número de líneas horizontales blancas y negras que la cámara es capaz de distinguir en una altura efectiva de la imagen. En el caso de las cámaras CCD, la resolución estará limitada por el número de pixels que captan la imagen. En un sistema de 625 líneas, existen 585 líneas en toda la pantalla. Por tanto, la máxima resolución que puede alcanzar es de 585 líneas, suponiendo que cada barrido de línea coincida con una línea blanca o negra, lo que prácticamente es imposible. En cuanto a la resolución horizontal, el número de líneas depende del ancho de banda máximo de la señal que puede circular por los circuitos de la cámara.

Las resoluciones de una cámara solo pueden ser calculadas con exactitud si se utiliza el instrumento adecuado y no es válido realizarlas a través del monitor, ya que, en tal caso, estamos condicionando los resultados de la cámara a la definición propia del monitor. Como elemento imprescindible en la captación de imágenes, las ópticas juegan un papel fundamental. De hecho, son las encargadas de la elección del campo visual que la cámara ve. Las ópticas deben elegirse en función de las siguientes variables: ángulo de visión fijo, ángulo de visión variable, iris fijo e iris automático.

El ángulo de visión de las ópticas o la distancia focal por separado determinan si la visión de un determinado objeto será un primer plano o una imagen general del mismo. Las ópticas zoom tienen la

posibilidad de variar la distancia focal con lo que varían también el ángulo de visión. El resultado es el aumento de la capacidad visual de una cámara, puesto que se podrán observar tanto imágenes generales como primeros planos de los objetos.

Cuando las cámaras se montan sobre los negatoscopios y las radiografías sean del mismo tamaño, la iluminación suele ser siempre la misma, las ópticas pueden tener el iris fijo. Por el contrario cuando las variaciones de iluminación no puedan ser absorbidas por los sistemas variables de las cámaras es necesario que las ópticas regulen la entrada de luz mediante la variación del iris. Esto puede conseguirse tanto con ópticas de iris automático como galvanométrico.

La luminancia es una información relacionada con el brillo de la imagen, con las zonas claras y oscuras. La cromancia, por el contrario, es una información relativa al color de cada punto explorado. Con ello, la señal de luminancia proporciona la información necesaria a los monitores BN.

Nivel de Smear.

Es uno de los parámetros que nos indican la fiabilidad de una cámara o un monitor. Es una medida de la capacidad de rechazo de CCD al efecto smear (que se produce por desbordamiento del canal de transferencia de carga de este), cuando se enfoca un punto brillante muy intenso. Las condiciones de medida que debe cumplir el fabricante son: enfocando la imagen de una cartulina negra con una ventana en el centro y con un intenso foco de luz posterior, encuadrar la imagen para que se vea un fondo negro con una pequeña ventana brillante en el centro y abrir el diafragma hasta que aparezca una línea blanca vertical cruzando la pantalla (efecto smear).

Línea de Resolución.

La resolución horizontal es un valor que permite comparar la capacidad de una cámara para reproducir los detalles finos de una escena. En algunos casos, sólo se especifica el número de pixels horizontales del CCD. Sin embargo, no existe una fórmula exacta de conversión de pixels a líneas ya que, según la técnica de exploración empleada por el CCD y la precisión de los circuitos, podrá obtenerse mayor o menor resolución a igualdad de pixels por línea horizontal. Por tanto, el parámetro de comparación será siempre la resolución en líneas de TV.

El método y las condiciones de medida que el fabricante debe tener en cuenta para analizar la resolución serán los siguientes: enfocando la carta de resolución con la cámara de forma que se cubra

toda la pantalla, contamos cuantas líneas blancas y negras se pueden distinguir. Siempre se hace la medida en el centro de la pantalla para que no influyan las aberraciones del objetivo o los errores de foco de monitor.

Imagen.

Con el fin de poder recorrer todos los puntos de la imagen, es necesario que el haz se mueva por toda la superficie. Este movimiento se realiza de izquierda a derecha y de arriba abajo, con lo que se consigue una exploración secuencial de todos los elementos de cada línea y de todas las líneas ficticias. Al llegar al final, se vuelve de nuevo al principio para captar la imagen siguiente. Así pues, hemos descompuesto la imagen en líneas. Posteriormente, en el monitor, se generan las imágenes correspondientes en el tubo de rayos catódicos, siguiendo el proceso inverso. Es decir, obtendremos la imagen línea a línea.

La imagen creada línea a línea tiene que ser apreciada con continuidad por nuestros sentidos. Esto se consigue reduciendo el tiempo de formación de una imagen línea a línea que debe ser inferior al de persistencia de la imagen en nuestra retina (al menos cada décima de segundo). Si puede ser cada menos tiempo, menor será el efecto de parpadeo.

Ángulo.

Cuando hay que realizar la elección de una óptica, se parte, generalmente, del conocimiento del área que se ha de visionar y de la ubicación de la cámara respecto a ella. Es decir, del ángulo de visión horizontal y/o vertical o de las dimensiones o distancias.

Para obtener la óptica adecuada podemos recurrir a diferentes tipos de tablas gráficas y calculadores. Si se conoce la altura del objeto, la anchura se calcula multiplicando por $4/3 = 1,33$. Razón de aspecto de la pantalla. Inversamente, para conocer la altura, dada la anchura, se multiplicara por $3/4 = 0,75$.

Se puede calcular la distancia focal de la óptica en función de los ángulos de visión o de las dimensiones pero, lógicamente, pueden realizarse los cálculos inversos. Es decir, conocida la distancia focal, calcular el ángulo de visión o las magnitudes de la escena cuando ésta está a una determinada distancia.

CONCEPTO DEL COLOR. TÉCNICAS COLORIMÉTRICAS

Color, teoría del color.

Aún cuando se habla de los objetos como si tuviesen color, este en sentido estricto, no es una propiedad física de los objetos. Cuando la retina del ojo humano recibe energía de diversas longitudes de onda, la mente identifica esta sensación como color de un tono determinado. Lo que sí constituye una propiedad física de un objeto es la forma en que emite, refleja o transmite las diversas longitudes de onda de la gama que el ojo puede detectar, gama que conocemos como luz visible.

Por tanto, el color es un fenómeno combinado, físico y psicológico, producido por la compleja interacción de la luz, la forma en que afectan las longitudes de onda a determinados objetos, las superficies de estos y la respuesta del ojo humano. En realidad, la cuestión es más complicada, porque el ojo no solo puede identificar el color de cualquier longitud de onda de la luz aisladamente, sino también ver un color al ser estimulado por otras longitudes de onda, ninguna de las cuales coincide con la del color percibido. Este aspecto de la visión hace posible la fotografía en color.

Hay dos formas de conseguir que el ojo vea un color determinado:

- Una consiste en usar fuentes de luz separadas que producen una estimulación determinada de algunas longitudes de onda, y presentar estas al ojo en proporciones adecuadas para que produzcan en conjunto la sensación de color deseada. Las fuentes de luz coloreada producen este tipo de estímulo visual de color.
- La otra forma consiste en comenzar con toda la gama de longitudes de onda de la luz visible (luz blanca) e irle sustrayendo todas las que sean innecesarias, hasta dejar sólo las proporciones requeridas de las longitudes de onda que producen los estímulos. El color de los objetos que vemos, tanto por medio de luz transmitida como reflejada, es representativo de este segundo método.

Naturaleza de la luz.

La luz es una de las numerosas formas conocidas de energía radiante que se propaga en forma de ondas. Estas formas de energía viajan a una velocidad de 300.000 km/seg en el aire, pero difieren en longitud de onda y frecuencia. Longitud de onda es la distancia entre la cresta de una onda y la cresta de la siguiente, mientras que la frecuencia es el

numero de ondas que pasan por un punto dado en un segundo.

La frecuencia resulta mucho mas difícil de medir que la longitud de onda, la cual puede ser determinada con gran precisión. Por ello, cada radiación se suele identificar por su longitud de onda cuando se propaga en el aire.

Las distintas formas de energía radiante forman una serie continua de longitudes de onda, conocida como espectro electromagnético o espectro de energía. Uno de sus extremos está constituido por las ondas extremadamente cortas de los rayos gamma emitidos por ciertos materiales radiactivos, y en el otro se encuentran las ondas de radio, las mas largas de las cuales tienen varios kilómetros de longitud.

Hacia el centro del espectro electromagnético se encuentran las ondas de la luz, cuya gama visible esta entre las longitudes de onda de 400 y 700 nanómetros. Estas dos longitudes de onda no son los limites reales de la radiación visible, pero como el color es relativamente insensible en sus extremos, pueden tomarse como límites prácticos.

Luz blanca

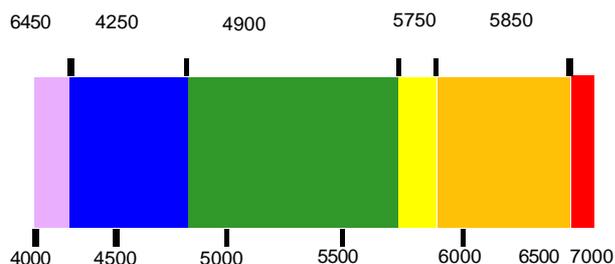
Quando todas las longitudes de onda entre 400 y 700 nm se presentan al ojo en proporciones aproximadamente iguales, se recibe la sensación de falta de color o luz blanca. No existe un criterio absoluto para establecer un patrón blanco, porque los procedimientos de observación visual humana se adaptan a condiciones cambiantes. Las modificaciones en la intensidad de la luz diurna según la hora y las condiciones atmosféricas son fácilmente apreciables, pero un hecho menos aparente es que la calidad de color de esa luz varía considerablemente, es decir, contiene diferentes proporciones de las diversas longitudes de onda. De modo similar, la luz de tungsteno parece blanca y tiende a ser considerada como tal; si embargo, para igual intensidad visual, contiene mucho menos azul y más rojo que la luz diurna. Esto resulta evidente cuando el ojo puede comparar directamente ambos tipos de luz. En una habitación iluminada principalmente con luz diurna, una lámpara de tungsteno; dará luz que veremos amarilla, porque nuestros ojos si están adaptados a la luz de día.

El espectro

La luz blanca puede descomponerse en las longitudes de onda que la constituyen, con el fin de analizarla. Esa descomposición se produce de manera natural cuando la luz del sol, atravesando las superficies curvadas de las gotas de lluvia, forma el arco iris.

En el laboratorio, los análisis se efectúan haciendo pasar un haz estrecho de luz blanca a través de un prisma de vidrio y proyectando sobre una pantalla las bandas de luz resultantes, de diferentes colores, que constituyen el denominado espectro visible. Los colores principales que se distinguen en el espectro son: rojo, anaranjado, amarillo, verde, verde-azulado, azul y violeta.

Intervalos aproximados de color en el espectro visible I (Å)



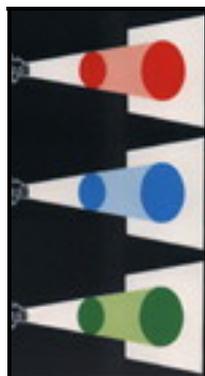
Al observar un espectro, se hace patente su naturaleza continua, el color cambia gradualmente, a medida que las longitudes de onda varían y se distinguen muchos más colores. Los colores de un espectro real son físicamente los más puros posibles, porque no están afectados por mezclas de luces de otras longitudes de onda: las bandas más anchas son la roja, la verde y la azul.

Filtros

Con un filtro rojo situado en un haz de luz que procede del prisma, entre este y la pantalla, el azul, el verde-azulado, el verde y la mayor parte del amarillo del espectro desaparecen, pasando sólo la longitud de onda correspondiente al rojo. La razón que el filtro se vea rojo es simplemente que elimina de la luz blanca todas las radiaciones, excepto las que dan lugar a la sensación de rojo.

Un filtro verde se ve de este color porque transmite hacia la pantalla o hacia el ojo sólo la parte central del espectro, que es la predominantemente verde, lo mismo que el filtro azul transmite sólo la región predominantemente azul del espectro.

En el espectro sin filtros, las bandas del rojo, del verde y del azul aparecen más anchas porque los tres grupos de terminaciones nerviosas del ojo sensibles al color, lo son más a las longitudes de onda correspondientes a aquellas. Por esta razón se han



empleado los filtros rojo, verde y azul para demostrar la teoría sustractiva del color.

Visión del color

Contrariamente a lo que sucede en un receptor de radio, que puede sintonizar una determinada longitud de onda, el ojo humano no tiene sistema de sintonía, sino que responde de modo simultáneo a toda la radiación incluida en el espectro visible, con independencia de su longitud de onda. Por otra parte, el ojo sólo distingue una longitud de onda si se le presenta aislada. Por ejemplo, el ojo identifica un determinado verde cuando lo ve separado del resto de los componentes de la luz blanca, pero es incapaz de aislarlo de esta última. Aunque el ojo no analiza las diversas mezclas de longitudes de onda que ve en colores separados, puede combinar ciertas longitudes de onda que estimulan la sensación de un color complejo.

Casi todos los colores pueden conseguirse con combinaciones adecuadas de luces de color rojo, verde y azul, que se conocen como colores primarios o fundamentales. Los factores de respuesta en la visión humana del color están directamente relacionados con estos tres colores. Esta relación puede describirse de la siguiente forma:

Los elementos de la retina sensibles a la luz están conectados al cerebro a través de una complicada red nerviosa que forma tres sistemas:

- uno responde a la luz roja.
- otro a la verde.
- el tercero a la luz azul.

Cuando solo se estimula un sistema, se tiene la sensación de ver un solo color primario puro. Cuando se estimulan simultáneamente dos de estos sistemas, resulta una sensación de color compuesto. Por ejemplo, proporciones iguales de estímulo a los sistemas rojo y azul producirán la sensación de color magenta; en cambio, estímulos desiguales de los sistemas producirán la gama entera de colores: el color visto depende de los sistemas que hayan sido estimulados y de las proporciones respectivas.

Cuando los tres sistemas reciben estímulos iguales, el cerebro interpreta la sensación como color neutro. Cuando este estímulo equilibrado es brillante, se ve en blanco, cuando es moderado, se ve gris, y cuando es de poco brillo, aparece un gris muy oscuro o negro.

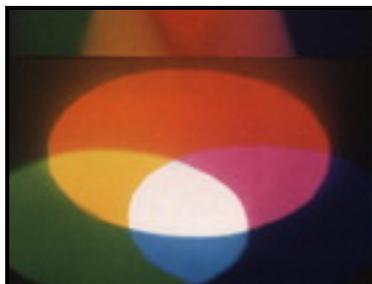
Síntesis aditiva del color.

Cuando los tres haces de luz están superpuestos, el efecto resultante es el blanco, porque los tres sistemas receptores del ojo han sido estimulados por igual. Por consiguiente, para cualquier fin práctico, la luz blanca puede ser considerada como una mezcla de las luces roja, verde y azul en proporciones casi iguales.

Que el verde-azulado se forma cuando el verde y el azul se superponen no es sorprendente, ni tampoco lo es la formación del magenta por una mezcla de luces azul y roja. En ambos casos, es fácil descubrir la contribución hecha por cada uno de los colores primarios al color resultante. Pero el que una mezcla de luces roja y verde de amarillo sí que sorprende, a primera vista. Este fenómeno resulta más fácil de comprender recordando que este amarillo no es el que se ve en el espectro, en una estrecha banda de longitudes de onda entre límites aproximados de 575 y 590 nm. Aquí, una banda ancha incluye prácticamente todas las longitudes de onda de la luz, con excepción de las de la región azul del espectro. El factor esencial en la visión del amarillo es un estímulo visual de los receptores sensibles al rojo y al verde, cualesquiera que sean sus longitudes de onda, ya que sus respuestas son aproximadamente iguales.

Síntesis sustractiva del color.

Un filtro cian transmite luces azul y verde, pero absorbe la roja; por tanto, sustrae el rojo primario de la luz blanca. De igual forma un filtro magenta, que transmite luces azul y roja, sustrae verde de la luz blanca, y un filtro amarillo, que transmite luces verde y roja, sustrae azul de la luz blanca.



Relaciones color-luz.

Los seis colores individuales de un círculo cromático que representa el espectro de luz visible (rojo, verde, azul, cian, magenta y amarillo) son simples puntos en la banda continuamente cambiante de la luz. Los colores aditivos primarios (rojo, verde y azul), mezclados todos en cantidades aproximadamente iguales, como sucede con tres proyectores, enfocados a una pantalla, producirán luz blanca. Los colores sustractivos primarios, añadidos en cantidades aproximadamente iguales, como suce-



dería con tres filtros interpuestos en un solo haz de luz blanca, absorberán todo el color y producirán negro o intensidades diversas de gris, es decir, densidad neutra.

Cada color primario del círculo cromático espectral se compone de cantidades iguales de sus colores adyacentes y es complementario del color en posición diametralmente opuesta. Las mezclas de colores complementarios forman también densidades neutras.

Producción del color.

Radiación (emisión). Los objetos pueden convertirse en fuentes de luz de color. Pueden producir energía visible cuando se calientan, cuando son estimulados por corriente eléctrica. (Como la bombilla de tungsteno). O debido a la acción química como la fosforescencia.

Absorción. Los colores de la mayoría de los objetos iluminados con luz blanca se deben al hecho de que no absorben la misma cantidad de luz de cada longitud de onda.

Dispersión.

El color azul del cielo se debe a la dispersión de la luz por la atmósfera. Las variaciones en la densidad de los gases atmosféricos actúan dispersando la luz de las longitudes de onda más cortas, del extremo azul del espectro, en una proporción mayor que las longitudes de onda más largas, del extremo rojo del espectro. Cuando el aire está polvoriento o contiene gotitas de agua o cristales de hielo, las partículas dispersan más luz de las longitudes de onda más largas. Por este motivo el cielo se ve más azul cuanto más claro sea el día, y más neutro cuanto menos claro.

Si en la atmósfera no hubiese nada que dispersara la luz, el cielo se vería negro y las estrellas serían visibles a cualquier hora del día o de la noche. En el exterior de la atmósfera terrestre el cielo se ve siempre negro.

La dispersión de la luz por la atmósfera causa también el aspecto rojizo del Sol al amanecer y en el ocaso. Cuando el Sol está alto en el firmamento, los rayos pasan a través de la atmósfera sin una absorción notable de luz azul mediante dispersión. Por la mañana temprano o por la tarde, los rayos del sol llegan a la superficie de la Tierra tangencialmente, por lo que deben atravesar un espesor de atmósfera muy superior.

Según el ángulo de los rayos y el tamaño de las

partículas presentes en la atmósfera. La luz de las distintas longitudes de onda es dispersada y el Sol aparece amarillo, anaranjado o, a veces, rojo oscuro.

En un día soleado, las montañas distantes tienen un tono azul brumoso, con poco detalle, porque la luz azul que resulta de la dispersión por la atmósfera se superpone a la luz que el observador percibe de las propias montañas; por tanto, cualquier objeto distante en el horizonte se ve a través de un velo de bruma azul que afecta notablemente a su aspecto.

Otros colores de la Naturaleza se deben a la misma causa. Por ejemplo, las plumas azules no suelen contener pigmento azul, sino pequeñas partículas suspendidas dentro de una redícula traslúcida, que dispersan la luz azul en mayor medida que la luz de otras longitudes de onda.

Además, el color puede ser obtenido por diferencias en el poder de refracción de un medio transparente para luz de diferentes longitudes de onda. El arco iris y el espectro formado por un prisma constituyen ejemplos típicos.

Los destellos de color en un diamante tallado y pulido, iluminado por una fuente de luz concentrada, se deben también a la dispersión.

Interferencia.

El color puede ser producido también por interferencia de ondas de luz en películas delgadas.

Constituyen ejemplos típicos de este método una pompa de jabón o una película de aceite flotando en el agua. La luz reflejada por la superficie superior de dicha película experimenta una inversión de fase, mientras que la luz reflejada por la superficie inferior no sufre este tipo de cambio. Con películas muy delgadas en comparación con la longitud de onda de la luz, los dos rayos reflejados interfieren entre sí y hacen que la película aparezca muy oscura. Si las películas son algo más gruesas, las ondas de algunas longitudes interfieren, mientras que otras se refuerzan entre sí, dando lugar a colores que varían con el espesor.

La luz reflejada aparece de diversos colores, aunque la película esté iluminada con luz blanca y no contenga materiales con distinta capacidad de absorción.

El color que se aprecia en la luz reflejada por los objetivos recubiertos es también debido a un fenómeno de interferencia, que disminuye la cantidad de luz reflejada y aumenta la transmitida.

Fluorescencia.

Las moléculas de los materiales fluorescentes absorben energía de una longitud de onda y la reemiten con una longitud mayor. El mismo principio se utiliza en los materiales coloreados con fines de señalización, que pueden ser vistos desde distancias considerables a causa de su intensa coloración, producida por tintes fluorescentes.

Estos tintes se usan en la industria textil, porque amplían considerablemente la gama de colores que puede obtenerse en los tejidos terminados. Los tintes fluorescentes blancos que se utilizan en los papeles fotográficos hacen ver estos más blancos cuando se observan con luz blanca y radiación ultravioleta.

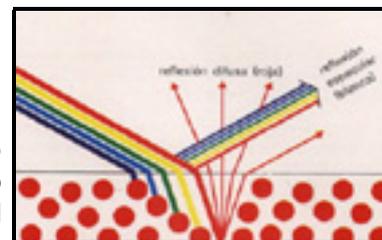
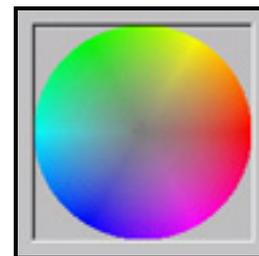
Reflectancia y transmitancia espectrales.

En el laboratorio, el color de cualquier superficie (con excepción de las fluorescentes puede clasificarse en términos de su reflectancia para cada longitud de onda del espectro visible. El instrumento que se usa para efectuar estas determinaciones se llama

espectrofotómetro. Esencialmente, consiste en un sistema óptico en el que la luz proveniente de una lámpara se dispersa en un espectro por medio de un

prisma. En cada ocasión, una banda estrecha de longitudes de onda se refleja de tal manera, que la mitad del haz de luz coloreada incide sobre la muestra examinada, y la otra mitad sobre una superficie blanca que sirve de patrón. En el espectrofotómetro de registro automático, una célula fotoeléctrica mide las intensidades relativas de las dos mitades del haz, después que han sido reflejadas por ambas

superficies. Como se mide la reflectancia comparativa de la muestra, el instrumento dibuja un gráfico continuo, longitud de onda por longitud de onda.



En las determinaciones espectrofotométricas de las reflectancias, la fuente luminosa debe emitir luz de todas las longitudes de onda a las que se van a efectuar las mediciones. Esta exigencia es obvia, puesto que si sobre la muestra no incidiera luz de una determinada longitud de onda, la célula fotoeléctrica del instrumento no podría medir la reflec-

tancia relativa de la muestra y de la superficie patrón a esa longitud.

Puesto que las características de la visión humana no intervienen en la determinación de una curva espectrofotométrica, esta puede ser considerada como una dimensión puramente física. Dos muestras que tengan idénticas curvas pueden coincidir en su apariencia bajo cualquier tipo de observación: pero en el caso de muestras reflectantes es necesario, además, que la textura de la superficie sea la misma.

Si dos muestras coinciden en apariencia bajo condiciones similares de observación, no puede presumirse que sus curvas espectrofotométricas sean idénticas. Este enunciado se deduce del hecho de que los colores se pueden obtener sin combinar la distribución de energía en cada longitud de onda.

Efecto de la fuente de iluminación y las condiciones de observación.

Puesto que las fuentes de iluminación presentan distinta distribución de la energía a través del espectro, esa distribución variara, según aquellas, después de su reflexión en una determinada muestra. En otras palabras, variara el estímulo físico que llega al ojo, y la sensación visual producida al observar la muestra dependerá del carácter de la iluminación.

Este efecto no es tan pronunciado como podría esperarse, debido al fenómeno visual conocido como constancia aproximada del color. De todas formas, la variación de aspecto será notable en las superficies muy selectivas respecto a la absorción de diferentes longitudes de onda, es decir, en las superficies que muestran picos y depresiones pronunciados en sus curvas de reflectancia espectral.

También resulta evidente con fuentes de luz que tengan curvas de distribución de la energía de carácter similar.

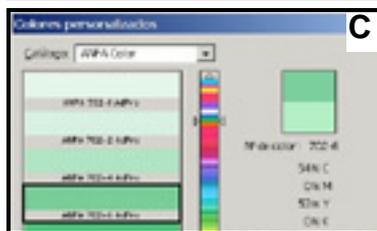
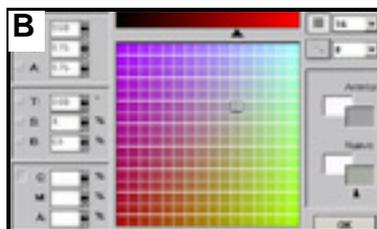
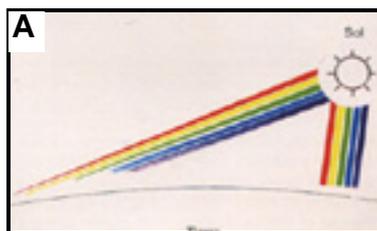
Ciertos tipos de lámparas fluorescentes producen mas luz de ciertas longitudes de ondas que de otras de modo que ejercen una notable influencia en los colores aparentes de los objetos. De la misma forma, el aspecto de los tintes fluorescentes tiende a cambiar según la variación de la iluminación que reciben. Al utilizarse cada vez mas los tintes fluorescentes en la industria textil, no es raro encontrar tejidos que cambian su color mucho mas que otros objetos.

Al juzgar visualmente un color, influye también el entorno. No es posible establecer la relación entre las características físicas de una superficie y la sensación visual que produce, a menos que las

condiciones de observación hayan sido cuidadosamente especificadas.

El color como sensación.

Resulta técnicamente impreciso atribuir color a un objeto: hay que asignárselo sólo a la luz reflejada por éste o a la sensación visual resultante de ella. De todas formas, es conveniente, e incluso constituye una necesidad practica, asignar colores a las superficies reflectantes vistas con iluminaciones usuales, como son la luz diurna o la de tungsteno. Esto se refiere a la capacidad de una superficie para modificar el color de la luz que incide sobre ella. Hay que recordar que un objeto no tiene un solo color característico, porque su apariencia se ve afectada por un cierto numero de factores, el mas importante de los cuales lo constituyen la calidad y la intensidad de la iluminación.



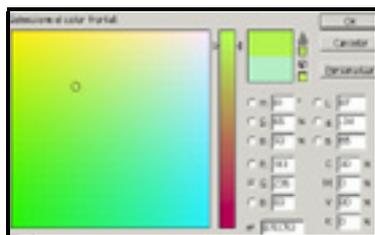
En la imagen A podemos ver el color elegido, queda reflejado el porcentaje que tiene de cada color primario. En la imagen B, podemos elegir un color personalizado y en la parte derecha nos indicará el porcentaje de cada color primario y en la parte inferior del color elegido el número correspondiente dentro de la tabla calorimétrica. La imagen C nos indica que el color elegido quedará indicado en los iconos de la derecha

Se puede decir, por ejemplo, que un objeto es rojo. Esto indica el matiz o tono del objeto (si es rojo, amarillo o púrpura). Pero esa descripción es inadecuada. En un esfuerzo por lograr mayor precisión, podría decirse que el objeto es rojo claro o rojo oscuro, lo que describe la brillantez del color.

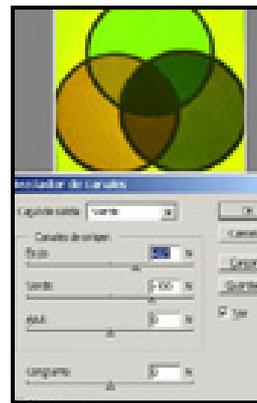
Esta característica de un color es independiente del tono: dos colores pueden tener el mismo tono y diferente brillantez. Se puede decir también que un objeto es de un color rojo apagado o de un rojo vivo. Esto describe la saturación, considerada como la medición del grado en que dicho color se aparta de un gris neutro de la misma brillantez.

Así, cualquier percepción del color tiene tres características, cada una de las cuales puede variar independientemente de las otras dos. En terminología psicológica, la palabra correcta es atributos, porque describen sensaciones y no el objeto visto ni los estímulos físicos que llegan al ojo.

Como existe cierta dificultad en la detección de las diferencias de tono, frecuentemente se producen confusiones al juzgar las diferencias de brillantez y saturación; no se puede decidir si dos colores difieren solo en brillantez o si es también distinta su saturación. Este hecho afecta a nuestra evaluación sobre la fidelidad de reproducción del color. Por ejemplo, un cielo azul excesivamente intenso



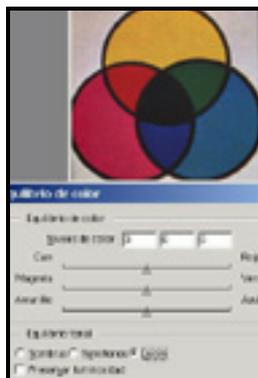
puede dar la impresión de que la saturación es alta, cuando la dificultad real es que se trata de brillantez baja.



Cuando a un objeto determinado añadimos mayor porcentaje de un determinado color veremos que el resultado puede apenas notarse o cambiar casi por completo la imagen. Los programas informáticos de imágenes nos permiten sustraer y añadir determinados colores o tonos o brillo, en nuestro caso, para resaltar algo en la imagen que consideramos

pueda ser de interés. De la misma forma podemos mezclar y negativizar la colorimetría de una imagen y observar lo que en condiciones originales nos hubiera pasado desapercibido. Esto mismo es aplicable a las imágenes en blanco y negro, convertidas a color, aunque permanezcan en pantalla como blanco y negro.

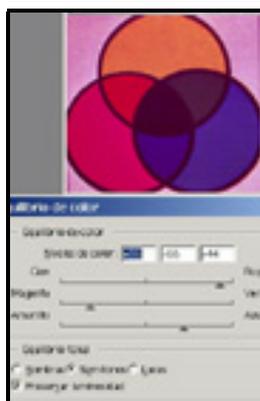
En la radiografía es de suma utilidad el poder añadir riqueza de grises, que como es sabido los tonos de grises son representativos de las distintas densidades que configuran la imagen radiológica.



Si la reproducción del cielo se compara a través de un filtro azul, la saturación relativamente baja resulta evidente. La confusión entre saturación y brillantez se tipifica por la frecuencia con que en la conversación diaria se usa la palabra brillo para describir un color muy saturado.

Constancia del color.

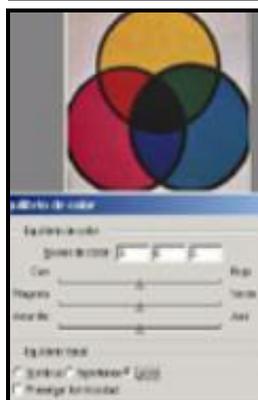
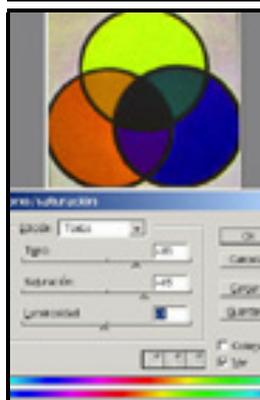
La memoria del color de objetos bien conocidos hace que sea visto igual bajo una amplia variedad de condiciones de iluminación, incluso cuando el color de la luz que llega al ojo proveniente de un objeto cambie dentro de una gama amplia. Este efecto de memoria en el sistema visual constituye la constancia de color.



Sistemas de especificación del color

Términos como cereza, fresa, rosa oscuro, rosado, escarlata, bermellón, carmín y otros sirven para describir diversos rojos. Pero el significado de cada uno de estos términos es subjetivo. La necesidad de establecer un término medio preciso para la descripción de los colores es imperativa cuando las circunstancias no permiten efectuar comparaciones de manera directa.

Existen dos sistemas principales para la especificación y denominación de los colores que satisfacen la mayoría de las necesidades:

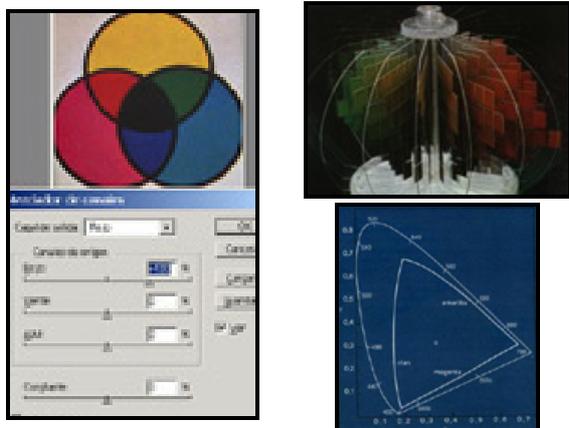


Sistema Munsell.

Esencialmente este sistema se basa en una disposición ordenada en un sólido tridimensional de todos los colores que pueden ser representados por muestras preparadas partiendo de pigmentos estables.

Los diversos tonos están colocados horizontalmente alrededor de un círculo, de tal forma que aparezcan aproximadamente equidistantes a un observador normal. El círculo está dividido en 10 tonos principales, rojo, amarillo, verde, azul y púrpura y los intermedios

Cada uno de estos 10 tonos o matices principales es el número 10 de una serie de 10. Por tanto, el círculo completo de colores está constituido por 100 tonos, 40 de los cuales se han publicado en las tablas de Munsell (Munsell Book of Color). Extendiéndose verticalmente por el centro del círculo de tonos está la escala de reflectancias, que se denominan valores en el sistema Munsell. Numerado con el 10 en la parte superior de la escala de valores, se encuentra el blanco teóricamente perfecto (100 % de reflectancia): numerado con el 0, en la parte inferior, está el negro técnicamente perfecto (0 % de reflectancia)



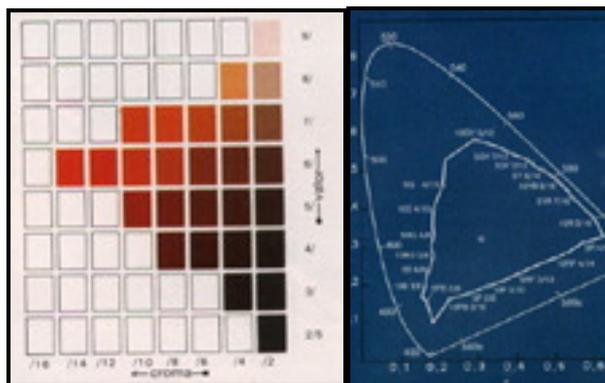
En el espacio intermedio hay nueve valores representados por muestras reales. Estos valores aparecen aproximadamente equidistantes en cuanto a brillantez bajo la iluminación especificada. Desde el punto de vista puramente fotográfico interesa especialmente la escala de valores. Podría pensarse que el punto medio de la escala debería tener reflectancia del 50 %, es decir, que debería reflejar la mitad de la luz que incide sobre él. Sin embargo el ojo tiende a ver variaciones uniformes de tono, no para diferencias iguales de Reflectancia (por ejemplo, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, etc., en donde hay una diferencia o aumento constante del 10 %), sino para proporciones iguales de reflectancia (es decir 10 % 20 % 40% 80 %, etc., donde la relación de cada reflectancia respecto a la anterior es 2). En niveles bajos de iluminación, la

relación entre los valores oscuros debe ser mayor que entre los valores claros, con objeto de que aparezcan iguales.

El gris que impresiona el ojo con una intensidad equidistante entre el blanco y el negro tiene una reflectancia del 18 %, aproximadamente. Hacia fuera de la escala de valores, que constituye el núcleo central del sólido de color, están los valores de saturación, llamados croma en el sistema Munsell. Aquí, de nuevo los valores aparecen aproximadamente equidistantes a un observador normal. Las cantidades van desde el 0, que corresponde a un gris neutro, hasta números del orden de 16, dependiendo del grado de saturación alcanzable con un tono determinado y con un cierto nivel de valor. A causa de las variaciones en la saturación alcanzable con tono y valor, el sólido de color no es simétrico. Por ejemplo, el croma más alto del rojo es 14, mientras el del azul verde (opuesto al rojo) es solamente 6. El amarillo alcanza un croma máximo de 12, con un valor de 8. El púrpura azul, opuesto al amarillo, alcanza el mismo croma, pero con valor 3. El sistema Munsell tiene la ventaja sobre los demás de que, si se encuentra un nuevo pigmento que permita producir muestras de mayor saturación, no hay dificultad en añadirlos en su lugar adecuado del sólido de color.

Sistema CIE.

Este sistema ha sido adoptado en todo el mundo como patrón y sigue las recomendaciones de la Comisión Internacional de la Iluminación. Por una parte, especifica los colores en términos de magnitudes de cada uno de los tres primarios necesarios para formar una mezcla idéntica a la muestra. Las



curvas de la mezcla de color para el observador tipo indican las cantidades de cada uno de los tres primarios que se necesitan para producir cada longitud de onda del espectro.

Otra aportación esencial del sistema CIE es la normalización en unas cuantas fuentes de iluminación, tales como la luz diurna y la de tungsteno. Las distribuciones espectrales de energía de las fuentes

luminosas estándares han sido determinadas con precisión y pueden ser reproducidas con métodos bien definidos.

Una vez fijados el observador y una fuente de iluminación estándar, sólo se necesita la curva espectrofotométrica de una muestra para calcular su especificación de color. Como el sistema se basa en datos aceptados internacionalmente, la especificación no depende de las características visuales de un individuo.

El diagrama de cromaticidad del sistema CIE es de particular interés porque forma como un mapa de todos los tonos y saturaciones posibles. La relación de una muestra dada con cualquiera de los colores se visualiza aquí fácilmente.

El perfil en herradura representa las posiciones de los colores que tienen la máxima saturación posible: son los colores puros del espectro. El área coloreada representa los límites de saturación posibles con su conjunto de tintas modernas de impresión. Cerca del centro del área coloreada está el punto iluminante para la luz diurna, es decir, la posición de cualquier punto gris neutro iluminado por luz natural. Como el color se percibe como si tuviera tres dimensiones (tono, brillantez y saturación) un diagrama de cromaticidad bidimensional no puede describir completamente un determinado color. En realidad, proporciona indicaciones de tono y saturación respecto a otras muestras.

El tono está indicado por la dirección de una recta trazada desde el punto iluminante o neutro a la posición de la muestra. Si esta línea se extiende hasta cortar a la curva que representa los colores espectrales, el tono puede ser descrito en términos de longitud de onda en la intersección de ambas líneas. Esta especificación se conoce como longitud de onda dominante.

La recta de la parte inferior de la herradura representa los magentas y púrpuras de máxima saturación. Puesto que estos colores no están en el espectro, sus tonos se expresan en términos de las longitudes de onda de luz verde, de las que son complementarios.

A medida que nos apartamos del punto neutro hacia los colores del espectro, la saturación aumenta, es decir, los colores van siendo más puros. Si la distancia entre el punto neutro y el punto de muestra se divide por la longitud total desde el punto neutro hasta la línea del espectro, se obtiene la medida de la pureza: se denomina pureza de excitación y se expresa en porcentaje

Un color del espectro es 100 % puro, mientras que para el blanco, el gris y el negro la pureza es 0.

Para poder especificar totalmente el color es necesario incluir también la brillantez de la muestra que se expresa en términos de reflectancia luminosa o transmitancia luminosa.

La palabra luminosa indica que valor toma en cuenta la calidad del color de la fuente de luz y las características de respuesta visual del observador tipo.

La reflectancia (o transmitancia) luminosa es la media ponderada de las reflectancias (o transmitancias) espectrales de la muestra. La función de ponderación es el producto de la distribución espectral de la fuente de iluminación por la sensibilidad espectral del observador tipo. La sensibilidad espectral del observador tipo que se llama función de luminosidad, ha sido normalizada internacionalmente y toma parte del sistema CIE.

Los valores de la reflectancia y de la transmitancia luminosas varían entre el 0 y el 100 %. Para cada muestra el valor se anota al lado del punto que corresponde a la misma en el diagrama de cromaticidad. Por tanto dos muestras que difieren solamente en reflectancia (transmitancia) estarán representadas en el mismo punto del diagrama y se distinguirán por las cifras escritas a su lado.

Puesto que el color se define en términos físicos y psicológicos el sistema CIE es un método psicofísico para la clasificación del color. Por tanto no expresará siempre exactamente nuestro concepto del color mental (psicológico)

Por ejemplo los colores que se hallan en la recta que une el punto neutro con la línea que representa los colores del espectro no aparecerán necesariamente con el mismo tono. Sin embargo el sistema CIE es válido en cuanto que proporciona un patrón científico para la medición del color. Sus términos descriptivos (longitud de onda dominante, pureza de excitación y reflectancia o transmitancia luminosas, u otra magnitud fotométrica adecuada) son psicofísicamente contrapartidas de tono, saturación y brillo.

Puesto que las luminancias correspondientes a esta gama cromática no son las mismas en las diferentes partes de los diagramas, no cabe esperar de una película de color que produzca una reproducción exacta de los colores a todos los niveles de luminancia. Obviamente, no se puede pretender que una película origine reproducciones de color exactas que caigan fuera de su gama posible, como es el caso de los colores espectrales saturados.

El aspecto de un arco iris puede ser reproducido aproximadamente en una fotografía de color sólo

porque la mayor parte de los colores están menos saturados que los de un espectro puro. Algunos son debidos a mezclas de bandas anchas de longitudes de onda mas que a bandas estrechas presentadas en solitario, y todos los colores están desaturados por la luz celeste circundante.

DIGITALIZACIÓN MAMOGRÁFICA INDIRECTA

Introducción

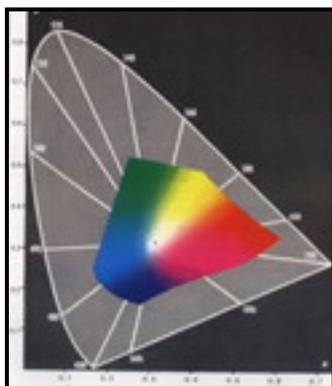
La digitalización radiológica consiste en un dispositivo que permite obtener una imagen digitalizada a partir de una imagen analógica. Es decir, que ésta es susceptible de ser almacenada bajo la forma de un número que representa la posición de un punto de píxel, unidad de superficie elemental.

La técnica de digitalización indirecta consiste en digitalizar una radiografía, en nuestro caso mamografías, mediante una cámara CCD y obtener así coordenadas espaciales que se reparan sobre el plano de una radiografía con los valores correspondientes a la intensidad de los niveles de grises en este punto.

La cámara CCD dispone de matriz y sistema óptico que definirán a la vez el campo y la resolución. Por estas técnicas se consigue una digitalización máxima entre 50 y 100 micrones.

El sistema permite mejorar la percepción y utilidad de la imagen radiológica, especialmente si se asocia la simple digitalización al tratamiento de la imagen con una serie de métodos que permiten valorar, realzar y poner en evidencia grados de densidad no perceptibles habitualmente por el ojo observador. Podemos citar como algunos de ellos:

- Posibilidad de obtención de un zoom electrónico mediante la interpolación de diferentes valores y visualización de los mismos bajo forma de imagen numérica sobre una pantalla disponiendo de un dispositivo electrónico para lograr el agrandamiento o magnificación.



- Modificación de los histogramas; es decir, de las curvas de extensión de contraste e intensidad luminosa sobre la pantalla.

- Ampliar considerablemente la escala de grises de los que dispone la sensitometría

de la radiografía (máximo 21) hasta 250 tonos diferentes por el sistema digital. La diferencia de tonalidad en esta escala de grises es inapreciable por el ojo humano. Puede ser convertido un tono o un número de ellos a un color y resaltar esa densidad del resto de la radiografía.

- Realzar los entornos

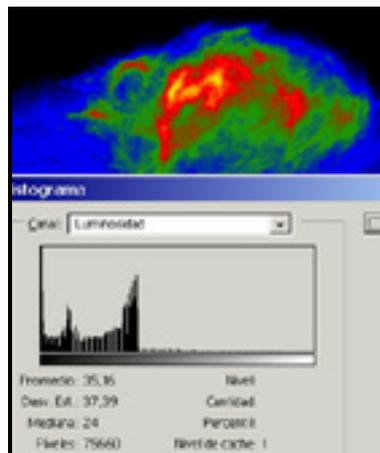
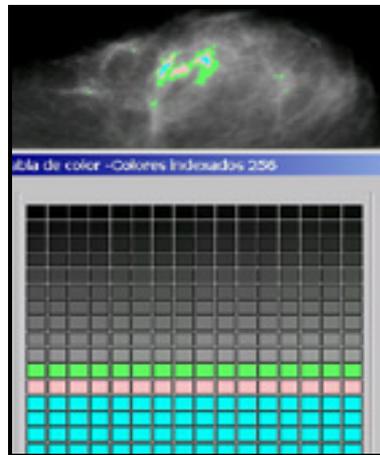
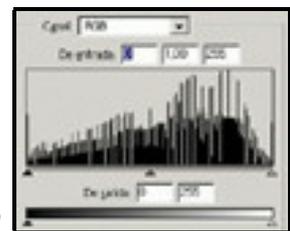
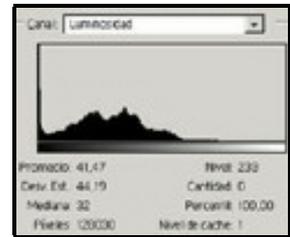
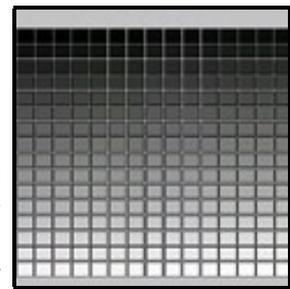
- Detección automática de opacidades y microdensidades

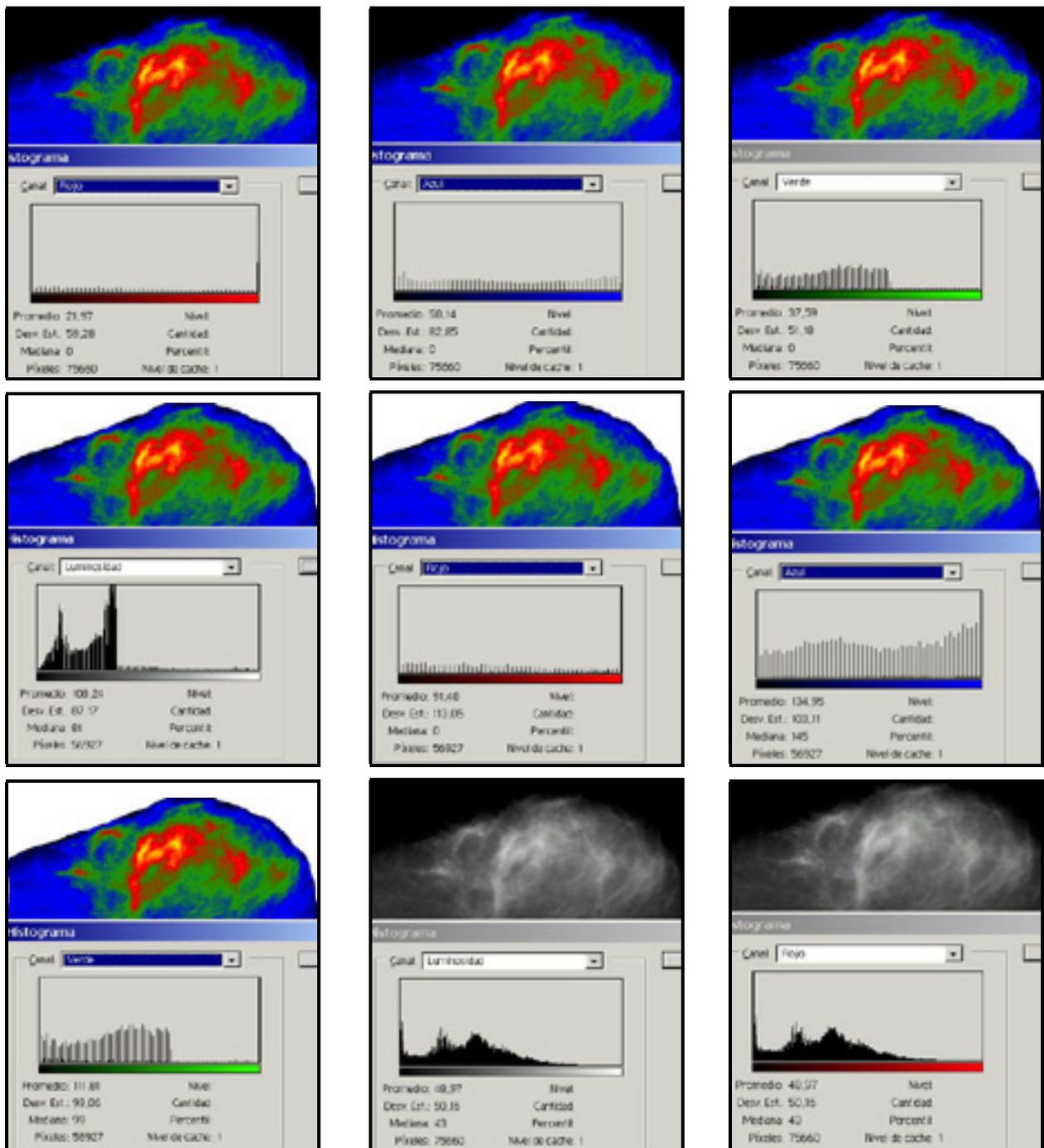
- Estudio de opacidades por escala densitométrica mediante paleta de colores.

Al dividir la radiografía en 256 densidades, las que superan el rango marcado por nosotros de 163, quedan coloreadas.

- Estudio selectivo de densidades

Histogramas de los canales, modo RGB. La misma mamografía. Distintas opciones





Podemos destacar como **ventajas generales** el considerar:

- El almacenamiento de imágenes.
- La posibilidad de transmisión de las mismas por vía telefónica.
- La utilidad con fines docentes.

- Estudio de grado de densidad de las microopacidades.
- Estudio de la forma de las mismas.
- Estudio de las microopacidades de diámetro inferior a 0.1 mm.

Objetivos

Basándose en los medios que ofrece la digitalización indirecta y utilizando las posibilidades de realce y mejora de las densidades que ofrecen diversos programas se ha intentado conseguir una mejoría de las imágenes micro radiológicas y valo-

Como **ventajas específicas** aplicadas fundamentalmente al diagnóstico:

rar las posibilidades de ganancia en probabilidad diagnóstica que ofrece la digitalización combinada con las posibilidades citadas.

Material y métodos.

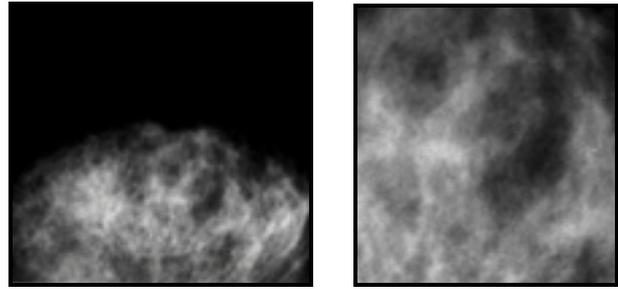
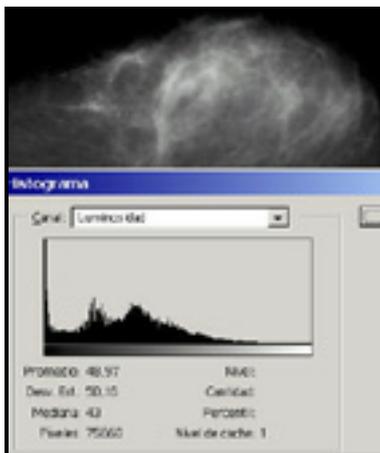
- Negatoscopio de un cuerpo con regulador de intensidad de luz por medio de reóstato acoplado.
- Cámara de vídeo Panasonic BP-500. Autoiris WV LA 4510.
- Sensor de imagen CCD tipo IT
- Pixels: 390.000
- Resolución horizontal de 500 líneas
- Sensibilidad de iluminación mínima 0,08 lux.
- Relación señal ruido: 46 dB
- Monitor de televisión marca Sony de 9 pulgadas
- Ordenador personal PC Pentium de 120 Mb de memoria RAM.
- Tarjeta de adquisición marca Intel de 640 x 460 pixels.
- Programa de adquisición incorporado en la tarjeta.

Tratamiento de imagen por medio de los programas.

- Adobe Photoshop 5.5
- Entorno gráfico Windows 2000

Magnificación de la imagen.

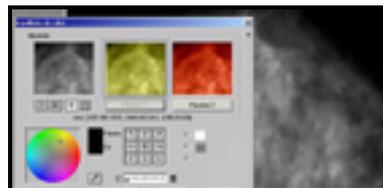
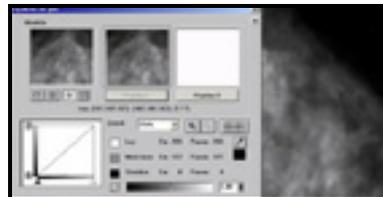
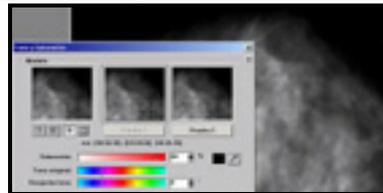
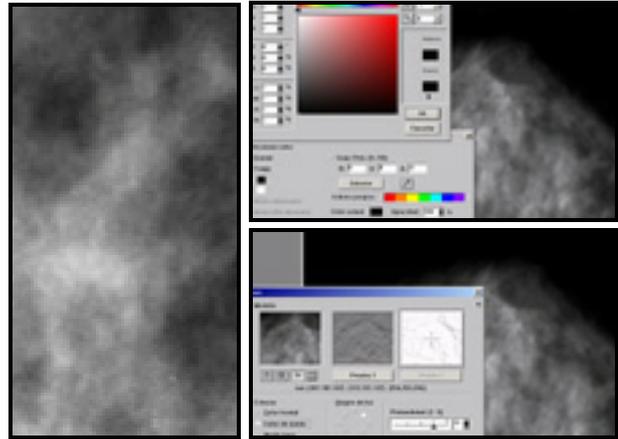
Se ha utilizado una cámara Panasonic con objetivo autoiris Wv-LA 4510 de 4.5 mm 1:1.0, en el que se consiguen aumentos de 15x sin pérdida de fiabilidad de la imagen. Este aumento puede, al pasar al



sistema digital, ser incrementado, sin pérdida de fiabilidad, teniendo en cuenta que los aumentos en el sistema digital serán múltiplos de los conseguidos en el sistema analógico. Pudiendo en ocasiones conseguir un total de 60x aumentos, sin pixelar apenas la imagen.

Inversión de la imagen

Se pueden realizar con variantes de grises o bien, utilizando la paleta de colores. Consiguiendo mejorar la calidad de la imagen original.



Potenciación de contrastes

El realce del contraste es un proceso en el que las diferencias entre los niveles de grises son amplificadas de forma que el observador pueda diferen-

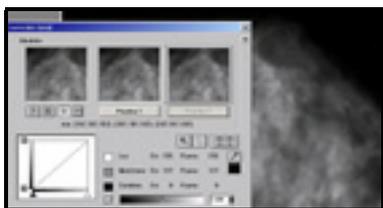
ciarlos más fácilmente. Usualmente los sistemas de procesamiento de imágenes incluyen algunas operaciones que permiten reasignar el nivel gris de cada píxel para aumentar el contraste.

Los métodos para realizar el contraste con una imagen dependen de la diferencia de intensidad entre los píxeles. En caso de una imagen radiográfica, que suele poseer un amplio rango de gradientes, se puede usar un umbral variable o también cambiar el entorno de los píxeles.

También se obtiene mediante la utilización exclusiva de uno a tres canales de color. Cuando la imagen gris se convierte a RGB, esta presenta la posibilidad de dividir sus tonos grises en tres canales, presentando, según las tonalidad de la imagen, mejor contraste en el canal rojo, en el azul o en el verde. No puede establecerse de antemano como óptimo un determinado canal, sino que su elección dependerá de la formación de contrastes previos a la imagen. Resulta extraordinariamente útil en el estudio de las microopacidades especialmente en las de pequeño tamaño y escasa densidad.

Efecto relieve

Permite valorar con mayor fiabilidad las diferencias de densidad. Asociado al estudio selectivo de



zonas densas, permite obtener notables efectos con elevada valoración visual de las alteraciones de densidad. Si además se asocia a estudio con diversas posibilidades de coloración se consiguen imágenes de impresionante selectividad.

Estudio individualizado de densidades

A partir de una paleta de gradación de densidad que va de 0 a 256 se pueden estudiar selectivamente las densidades de zonas de hasta 0.05 mm de grosor. Ello permite establecer un mapa de densidades comparadas, lo que resulta extremadamente útil para calibrar, por ejemplo, la heterodensidad de un núcleo de microdensidad o de contraste en un insecto.

Aplicaciones prácticas.

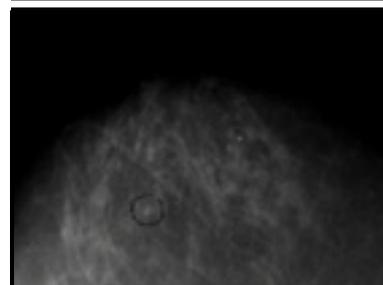
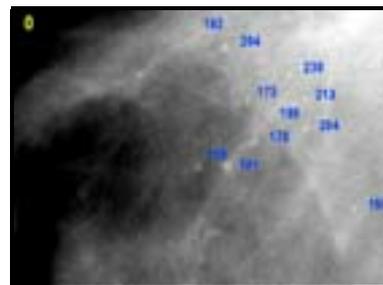
Visualización de microdensidades invisibles en el estudio radiográfico habitual con la lupa. Mejoría del estudio de forma de las microdensidades.

Estudio selectivo del grado de consistencia de cada micro calcificación. Mejoría en la expresión de cualquier tipo de densidades. Posibilidad de estudio automático de densidades circunscritas

Resultados.

Magnificación de la imagen

La magnificación de la imagen se ha realizado prácticamente en la totalidad de los casos estudiados. El paso de la digitalización permite fácilmente la amplificación. Pero sobre todo se ha buscado selectivamente



las zonas a estudiar y han sido digitalizadas con un gran aumento de las mismas, aumento favorecido por el uso de la cámara citada anteriormente.

A partir de los 40x, salvo casos aislados, son demasiados ostensibles los píxeles y la imagen pierde precisión. Las imágenes proporcionada por los procesos benignos ganan, evidentemente, en aparatosidad y belleza con estudios a aumentos altos, pero estos no son determinantes para mejorar los diagnósticos y sí únicamente para conseguir imágenes muy expresivas, útiles sobre todo con fines docentes.

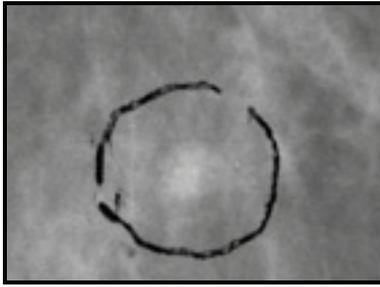
Al aumentar la imagen se pierde más precisión, pero la definición podemos recuperarla con la combinación de diversas técnicas, como son el estudio selectivo de densidades, el estudio de relieve y la elección de coloración adecuada.

Inversión de imágenes

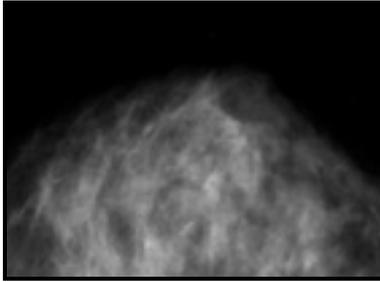
La inversión de imágenes va dada por el programa utilizado. El cambio en blanco y negro nos permite obtener un negativo de la radiografía, viéndose las densidades en color negro. Ocasionalmente se mejora con ello la visualización de la imagen.

Pero es, en el estudio con colores es donde la inversión consigue los mejores resultados. Habitualmente se utiliza combinada con otros métodos, como el refuerzo de bordes. En esta forma si se aplica el color azul y luego se realiza la inversión se obtiene un tono castaño que parece ser idóneo para el estudio de estructuras glandulares.

Como el estudio con colores ofrece muchas posibilidades de mejorar la calidad de las imágenes, el efecto de inversión duplica exactamente el número de opciones. Y en general puede decirse que cuando peores son los resultados con un color, mejores son los efectos logrados por su inversión y a la inversa.



cuando peores son los resultados con un color, mejores son los efectos logrados por su inversión y a la inversa.



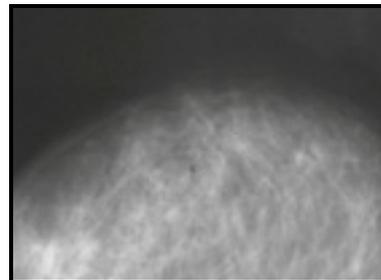
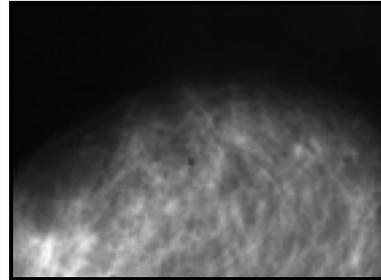
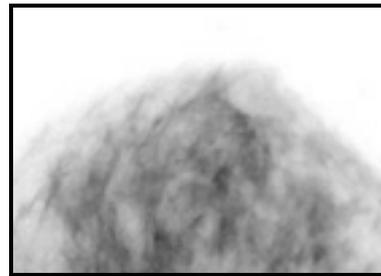
Otra posibilidad de inversión de imagen viene dada con la utilización de un solo canal de color, con lo que se consigue mejorar la nitidez. Si la imagen conseguida de gris la convertimos

en RGB y es sometida a un proceso de inversión, pudiendo, ocasionalmente, mejorarse las posibilidades de definición, permitiendo percibir densidades de un diámetro 10 veces menor que las observadas con lupa de aumento.

Potenciación de contraste

Permite valorar mucho las densidades y obtener de ellas el máximo partido. Es especialmente útil en el estudio de calcificaciones y en el de los carcinomas de un tamaño inferior a 1 cm. No obstante aunque permite mejorar mucho la calidad de una radiografía, hay que tener precaución de no perder imágenes útiles y valorar otras por el uso indiscriminado y exagerado de las posibilidades del método. La utilizamos siempre con mucho cuidado y no buscamos exagerar la potenciación, salvo casos en que pueda estar indicado por determinados motivos.

La radiografía de la izquierda es la original, las siguientes se contrastan por defecto y por exceso.



Refuerzo de bordes

Se obtiene una imagen que usando el color azul resulta parecida a la que se obtenía antiguamente con los estudios xerográficos. Es muy útil para valorar la estructura glandular mamaria, permitiendo visualizar densidades que pasaban inadvertidas para el ojo humano. Las mejores imágenes se obtienen con el color azul y con su inversión, que da color castaño. Otra posibilidad de buenas imágenes se consigue con la imagen invertida del verde, que da una coloración carmín que permite valorar determinadas estructuras.

Efecto relieve

Utilizando aisladamente permite observar las diferentes densidades con aspecto de relieve, obteniendo imágenes de apariencia tridimensional. Permite valorar calcificaciones de pequeño tamaño, especialmente si son de densidad elevada. También es un método indirecto para calibrar diferencias de densidad entre dos zonas o formaciones. La mayor eficacia se obtiene por la combinación del método con otros, especialmente en el estudio individualizado de densidades, con paleta de colores y con la selección de un solo canal de color, previa conversión de la imagen a RGB. Las imágenes que se consiguen en el estudio de las calcificaciones son impresionantes por su veracidad, se destaca la perfecta visualización de la forma irregular del depósito cálcico.

Estudio individualizado de densidades

Al permitir distinguir entre distintas densidades, tanto con paleta de grises, como con paleta de color, nos ofrece una posibilidad hasta ahora no realizada de estudio de las diferentes densidades con una base matemática. El uso de la escala de 256 tonos de grises permite, con la ayuda del puntero electrónico de precisión, averiguar exactamente el grado de densidad de un punto determinado de la radiografía. Ello permite establecer un mapa numérico de densidades que a su vez puede complementarse con un estudio selectivo de relieve y color, aportando una base numérica a una impresión subjetiva obtenida de la contemplación de la radiografía.

Discusión.

La primera consecuencia obtenida del estudio de los resultados es que la imagen radiológica es mejorada prácticamente en todos los casos, lo que automáticamente supone una mejoría en las posibilidades diagnósticas, de mayor o menor importancia en función de cada caso.

Ello es un hecho claramente establecido y la mejoría de la imagen va dada fundamentalmente por las posibilidades del material utilizado.

La cámara citada en el apartado material es capaz de lograr una resolución extraordinaria lo que unido a la tarjeta digitalizadora utilizada permite aumentos de tamaño de alta calidad sin pérdida apreciable de la precisión de imagen. Por ello se puede llegar con la magnificación hasta la barrera que opone la visualización de los pixels. No obstante, aún creemos que la imagen sería susceptible de mejorar si se usara una tarjeta con un grado de definición mayor.

La segunda es la opción de utilizar una serie de procedimientos técnicos de estudio de los diferentes grados de densidad que permita perfeccionar las posibilidades visuales del ojo humano. Con ello se consiguen una imágenes mejoradas hasta un grado muy elevado, lo que permite la obtención de 2 posibilidades diferentes:

- Por una parte la mejoría de las imágenes permite usarlas con mucha mayor precisión para fines docentes.

- Por otra, es susceptible de mejorar las posibilidades del diagnóstico, lo que, si en toda la radiología tiene un interés extraordinario, este interés es máximo en la micro radiología por los problemas que plantea el escaso margen, tanto de densidades como de dimensiones. La mejoría en el diagnóstico se pone de manifiesto en el estudio de las micro-

densidades, de los objetos de pequeño tamaño igual o inferior a 1 mm y de los cultivos bacteriológicos.

La magnificación de imágenes permite estudiar con detalle el contorno de los objetos de pequeño tamaño, Habitualmente basta utilizar un aumento entre 5 y 10 x y es muy útil el asociar este aumento con métodos que permitan estudiar mejor los perfiles como son el efecto relieve y, sobre todo, el estudio selectivo de densidades. Con la asociación de los tres se consiguen imágenes que proporcionan una gran seguridad objetiva.

Al nivel del estudio de microdensidades el método resulta extraordinariamente útil ya que existe una barrera de visualización de las microdensidades que impide reconocerlas si su diámetro es inferior a 0.1 mm . Así se pueden distinguir grupos de ellas que pasarían inadvertidas en los exámenes ordinarios.

La magnificación puede mejorarse con métodos complementarios, como son el estudio de un solo canal al ser convertidas a RGB, el efecto relieve y la inversión de la imagen. Facilita también el diagnóstico el estudio selectivo del grado de densidad de cada micro densidad, muy interesante para poder afirmar o no la heteroconsistencia de las densidades de una forma más objetiva que con la simple apreciación visual.

El paso de las imágenes a RGB permite el estudio con canal de color independiente, obteniéndose una imagen en gris de características distintas según el canal seleccionado. Siempre hay 1 de los 3 que mejora la calidad de la imagen original y que puede utilizarse para mejorar la calidad y precisión de la misma. Aplicado a una imagen magnificada permite mejorar el estudio de las calcificaciones.

La inversión de las imágenes puede ser utilizado aisladamente o combinado con todas las posibilidades selectivas, lo que duplica el número de opciones a valorar. Habitualmente, la inversión simple permite mejorar la calidad de la radiografía, pudiendo visualizarse zonas poco claras en la placa normal. Es una técnica a utilizar en primer lugar en todas las radiografías, debido a que en gran parte de ellas se obtiene mejoría apreciable en la calidad y no hay posibilidad de alteración involuntaria de la imagen.

La potenciación de contrastes es un método muy útil, pero hay que manejar cuidadosamente, pues puede falsear los resultados. Puede forzarse hasta puntos exagerados, permitiendo dejar sólo las placas con 2 colores: blanco y negro. Debe utilizarse como complemento de otros métodos ya que perfecciona y realza los resultados. En ocasiones es

útil usado aisladamente, como en el caso de la valoración de calcificaciones de muy pequeño tamaño que se hacen más ostensibles con el sistema, lo que puede permitir realizar mejor el estudio individualizado de densidades.

El refuerzo de bordes también tiene utilidad en masas muy densas, es las que permite apreciar mejor los detalles estructurales. Si se le añade el uso de color azul su parecido en las antiguas xerografías es asombroso y la imagen se percibe todavía mejor que con la paleta de grises. Todavía mejora con la inversión del azul, dando un tono ocre que permite una visualización detallada de finas estructuras.

El efecto relieve transforma las diferencias de densidad en imágenes con aspecto de relieve. Se consiguen extraordinarios efectos es realizando el estudio selectivo de zonas en las que se aplica el relieve a partir de una determinada densidad a la vez que se asocia con magnificación de imagen y con estudios en color específicos. Los resultados de esta asociación de métodos son impresionantes a nivel de exactitud, precisión y belleza de las imágenes y permite ver con extraordinaria precisión los contornos de las formaciones radiografiadas.

El estudio selectivo de densidades es probablemente, tras la magnificación el método más importante de que disponemos. Asociado, como hemos dicho, con el efecto relieve y con paleta selectiva de colores consigue impresionantes imágenes. Pero su mayor utilidad es permitir con el selector de densidades determinar el grado de opacidad de un punto de diámetro inferior a 0,2 décimas de milímetro. Pero este diámetro es el de la imagen más magnificada, y como logramos ampliaciones de 40x, por ejemplo resulta que una micro calcificación de 0.1 mm presenta en la pantalla del ordenador un diámetro de 4 mm. El puntero del selector de densidades puede incluso estudiar variaciones de densidad dentro de la misma. Gracias al sistema puede establecer un mapa de densidades que permite estudiar si la formación objeto de estudio presenta densidades homogéneas o, por el contrario, es heterodensa.

Es fundamental para el estudio de las variaciones de densidades de las microdensidades. Al seleccionar individualmente las formaciones densas se establece un nivel de opacidad a partir del cual se realiza la selección; ello permite aplicar a cada calcificación el efecto relieve y el estudio de color, consiguiéndose una precisión no alcanzada jamás hasta la fecha en ningún estudio micro radiológico.

Finalmente cabe indicarse que el sistema en sí para digitalización indirecta no resulta oneroso. Incluso puede decirse que es extraordinariamente

ecocómico en relación con los precios habituales de los actuales sistemas de radiología digital.

Conclusiones.

- Mejoría global de todas las imágenes radiográficas.
- Mejoría de la diferenciación entre microdensidades iso y heterodensas.
- Mejoría del estudio del grado de densidad de las microdensidades.
- Estudio del número de microdensidades por unidad de superficie.
- Estudio de microdensidades no visibles.

Resumen.

Presenta este trabajo en la red, aportando la experiencia de una serie de estudios sobre las posibilidades de considerable mejora diagnóstica sobre las radiografías mediante digitalización indirecta combinada con el uso de programas informáticos que permite una mayor valoración de las densidades en el estudio micro radiológico. Se describen las distintas técnicas que permiten mejorar la imagen digitalizada: magnificación, inversión, potenciación de contrastes, refuerzo de bordes, efecto relieve y estudio individualizado de densidades, especialmente aplicado a determinar la forma y consistencia de las microdensidades .

IMÁGENES MAMOGRÁFICAS

