



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**SENSITOMETRIA Y PODER
RESOLUTIVO EN
FOTOMICROGRAFIA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGIA

P R E S E N T A :

PABLO RAFAEL ROBLES BARAJAS

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE DE 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE.

	pagina
Resumen	I
Presentación	1
Objetivos	7
Antecedentes	8
Nociones preliminares de la Fotomicrografía.	8
I. El objetivo del Microscopio.	8
II. Iluminación en el microscopio.	13
III. Equipo fotográfico.	15
IV. Filtros en Fotomicrografía.	20
V. El material fotosensible, blanco y negro.	22
VI. El revelado.	26
VII. Sensitometría.	34
Las Diatomeas	47
Preparacion del espécimen.	55
Material y Método	58
Resultados y Discusión	63
Conclusiones	71
Bibliografía	73
Apéndice A. Formulas reveladores.	77
Apéndice B. Tablas y gráficas.	79
Apéndice C. Esquema densitómetro.	119
Apéndice D. Fotografías.	120
Apéndice E. Información de películas.	124

RESUMEN.

En el presente trabajo se realizó una revisión de los principios básicos de Fotomicrografía y de Sensitometría. Se hicieron pruebas sensitométricas a las películas blanco y negro Plus-X Pan y Tri-X Pan procesadas con los reveladores HC-110, DK-50, D-11, D-76 y Microdol-X en distintas diluciones, tiempos de exposición y de revelado, estableciéndose sus índices de contraste, mediante las curvas características obtenidas, para su mejor uso en la Fotomicrografía.

Las fotomicrografías se obtuvieron mediante la adaptación de una cámara Nikon F3 de 35 mm. a un microscopio Ziess con estativo AC y óptica planapocromática, fotografiando una diatomea pennada del género Pleurosigma.

De igual forma, se plantea el diseño y construcción de un densitómetro para la medición de los valores densitométricos de las películas, con resultados positivos.

P R E S E N T A C I O N .

"La contribución básica de la fotografía, en la Ciencia, es la consecución de información que no puede ser obtenida de ninguna otra forma. Por lo que los esfuerzos de la Ciencia se concentran, casi por entero, en la transformación de fenómenos, de forma que puedan ser vistos y estudiados en tiempo y forma conveniente...." De ésta manera Arnold (1974), comienza la introducción de su libro, Fotografía Aplicada (Ed. Omega), y me he tomado la libertad de citarlo para darle un mayor sentido a la presentación de éste trabajo.

Desde mi entrada en el Laboratorio de Microcine, de la Facultad de Ciencias, me he encontrado con dos herramientas básicas y de uso cotidiano en la investigación de los seres vivos, como lo son la fotografía y la Microscopía.

Lo más interesante de este encuentro fué la posibilidad de utilizar estas dos herramientas a la vez, o sea la FOTOMICROGRAFIA.

Si bien mis primeras experiencias, en este campo, fueron un juego de aprendizaje, hoy me doy cuenta de que las posibilidades de la Fotomicrografía, como disciplina científica, son fundamentales en el quehacer científico de la Biología. Ahora me pongo a pensar en aquellos sabios naturalistas, que hasta fines del siglo XVI, se consagraron al estudio de las ciencias naturales y que tuvieron que atenerse, basicamente, al exclusivo testimonio de los sentidos para el registro de los resultados en sus investigaciones, sin contar, para hacerlas más precisas, de

auxiliar alguno.

Indudablemente, los antiguos microógrafos, tuvieron que desarrollar cualidades artísticas para poder reproducir, por medio del dibujo, los objetos que observaban. El microscopio simple, por poderoso que fuera, no podía presentarles, sus minúsculos sujetos de estudio, con todos sus pormenores, y era preciso que, a pesar de la atención que ponían a sus observaciones, algunas cosas pasaran inadvertidas o quedaran mal representadas; además, el trabajo de copiar los sujetos, fué, hasta cierta época, una tarea lenta y engorrosa por la posición que estaba obligado a tomar el observador (por la verticalidad de los microscopios), y por las constantes y repentinas transiciones a que era necesario exponer al sentido de la vista.

Actualmente, esta tarea es mucho más simple, si se utiliza un microscopio compuesto y una cámara clara, como las que diseñaron y utilizaron Wollaston, Soemmering y Amicci en el siglo pasado.

El día 8 de Febrero de 1869, el Ingeniero Don José Joaquín Arriaga presenta, ante la Sociedad Mexicana de Historia Natural, su ponencia intitulada "El microscopio y la Fotografía aplicados al estudio de las Ciencias Naturales" (Arriaga 1869), de donde transcribo lo siguiente: "He aquí lo que acerca de ésta importante aplicación de la fotografía a las ciencias naturales dice Arturo Chevalier: <La fotografía es el mejor medio para obtener hermosas reproducciones de objetos microscopicos. Las primeras pruebas de este género fueron hechas en 1840 por mi abuelo Vicente Chevalier>", según Arriaga estas

pruebas fueron presentadas ante la Academia de Ciencias de París en 1840 y fueron hechas sobre placas metálicas siguiendo el antiguo procedimiento de Daguerre.

Y continua Arriaga, citando a A. Chevalier "< En el año de 1863 di a conocer a dicha Academia de Ciencias, la aplicación de la imágenes aumentadas a las piezas de Anatomía. He presentado como prueba del buen éxito de ésta aplicación una mano disecada de 0.5 m. de largo, y un corte mediano, del cuerpo humano, del tamaño natural. Las nuevas investigaciones que hago con este objeto, haran ver que estas grandes fotografías pueden ser muy útiles para los cursos públicos, los museos...., remplazando a las litografías y a los grabados, cuyo precio es elevado.>"

Continua Arriaga, "Desde que Vicente Chevalier presentó al mundo científico esta nueva aplicación de la fotografía, los constructores de microscopios se han empeñado en perfeccionarla combinando los aparatos micrográficos y fotográficos para llegar, como han llegado, a la creación de un nuevo instrumento, digno de figurar entre las manos de los hombres amantes de las Ciencias. El microscopio fotográfico es ya una realidad, y la invención de éste nuevo aparato debe formar época en los anales de la Física y de la Historia Natural."

Si en estos tiempos modernos presentamos, ante un grupo de alumnos de Biología "un corte mediano, del cuerpo humano, del tamaño natural", en una fotografía de tales características, el interes se centraría, con mucha razón, en el sujeto mismo y no sobre la técnica fotográfica empleada, y es que esta vigente hablar de "un mundo lleno de imágenes", por lo que no nos sorprende que se pueda

fotografiar casi todo.

Esto se debe al gran alcance de la fotografía, en el sentido técnico-científico, predicción hecha por José Arriaga, en 1869 en México. La verdad sea dicha, son contados los científicos que no emplean la fotografía, de una forma u otra, y la microscopía, como herramientas de trabajo cuando se pretende ser veraz al obtener y manejar la información.

Si bien la mayoría de nosotros ha hecho alguna vez fotografía y o microscopía, pocos hemos tenido la oportunidad de realizar una fotomicrografía, y esto se debe, creo, a dos causas principales; la primera es el gran desarrollo que han tenido, por vías diferentes, tanto la fotografía como la microscopía, de tal manera que han llegado a un nivel de calidad, sofisticación y automatización que los equipos resultan ser demasiado caros o aveces hay que tomar cursos para manejar esa automatización; la segunda causa, un tanto consecuencia de la primera, es la falta de información y o creer que es algo demasiado caro o difícil de lograr, cuando con los mismos microscopio utilizados, tanto en los laboratorios de investigación y de docencia, a los que se les puede adaptar casi cualquier cámara fotográfica, es posible realizar una buena fotomicrografía. Por otro lado algunos ejemplos de equipos diseñados para fotomicrografía, de gran calidad, son el Axiomat de la casa Ziess, y el Univar de la casa Reichert.

Un requisito indispensable de la Fotomicrografía es su calidad, y esta calidad va a estar dada por su nitidez fotográfica. Al microscopio le exigimos que nos proporcione

una imagen rica en información, y al material fotográfico, una copia fiel de dicha imagen. Debe haber, por lo tanto, un apropiado manejo de el equipo y un buen procesado de el material fotográfico.

En cualquier trabajo de calibración, de un material fotográfico, es necesario la utilización de un sujeto que reúna características adecuadas a los fines de las pruebas a las que se sometera el material. Es por esto que se ha hecho la elección de una diatomea, como sujeto a fotografiar, por la fineza y constancia de sus ornamentaciones, características por las que frecuentemente se utilizan para medir la resolución de los microscopios (Bold 1980).

Si se desea optimizar los resultados de una fotografía, para que esta sea un fiel reflejo de la imagen vista a través del microscopio, es necesario hacer una buena elección de la película y que, durante el procesado de la misma, hagamos uso de la Sensitometría, que es una herramienta que nos permite conocer el comportamiento de una película ante su exposición a la luz y durante el revelado.

De igual forma existen películas y reveladores especialmente diseñados para la fotomicrografía y o para la microfotografía (término que se utiliza para designar a la fotografía de pequeño formato o "microfilm"), tal es el caso de las películas "Microfilm" de la casa Burroughs, "Duplo" de la casa Gevaert, "Microneg" de la casa Ilford, "Micro-file" y "Photomicrograph" de la casa Kodak; emulsiones que se caracterizan por tener una gran resolución y alta sensibilidad, características difíciles

de tener en una misma película. Con respecto a los reveladores, la casa Kodak tiene dos productos propios para la Fotomicrografía que son: el D-41 Photomicrograph, para bajo y mediano contraste, y el D-42 Photomicrograph, para alto contraste.

Sin embargo, estos productos fotográficos no son de fácil acceso en el mercado del país, dada esta condición, es motivo del presente trabajo, hacer una revisión de los principios básicos de la fotomicrografía y un estudio sensitométrico de la películas blanco y negro, y de los reveladores más comerciales, existentes en el mercado nacional, para evaluar sus posibilidades al adecuarlos a la Fotomicrografía.

OBJETIVOS.

Optimizar el uso de las películas comerciales blanco y negro, que se encuentran en el mercado nacional, para su mejor uso en Fotomicrografía mediante:

- 1.- La aplicación de la Sensitometría a los trabajos de Fotomicrografía.
- 2.- El análisis de las características de los productos fotográficos comerciales (películas y reveladores) para su posible uso en fotomicrografía.
- 3.- La modificación los índices de contraste de las películas comerciales.

ANTECEDENTES.

NOCIONES PRELIMINARES DE LA FOTOMICROGRAFIA.

I. EL OBJETIVO DEL MICROSCOPIO.

De los tres elementos ópticos fundamentales del microscopio: el ocular, el objetivo y el condensador; el segundo es, con mucho, el más importante. Es indudable que la calidad de un microscopio viene dada, esencialmente, por la que tenga el objetivo del mismo, puesto que este es el que produce la primer imagen aumentada del objeto y la calidad de esta imagen poco se puede mejorar por la acción de los demás elementos.

Es importante considerar las siguientes características que tienen los objetivos del microscopio.

I.1 DISTANCIA FOCAL Y DISTANCIA DE TRABAJO.

Estos dos terminos a menudo se confunden, la distancia de trabajo o "distancia entre un objeto enfocado y la lente frontal del objetivo" (Michel, 1957), es mucho mas importante, en la práctica, que la distancia focal.

La distancia que media entre el centro del sistema óptico y el foco, es la distancia focal.

La distancia de trabajo es siempre mucho menor que la distancia focal, esto es muy importante, por que puede dar lugar a diversos problemas de enfoque, sobre todo cuando se usan objetivos de distancia focal igual o menor de 4 mm., en donde tenemos distancias de trabajo de 1 mm. o menos, lo cual dificulta el enfoque y, si el cubreobjetos es muy grueso, las lentes frontales del objetivo entran en contacto con éste, antes de haber logrado el enfoque y, en el peor de los casos, se pueden estropear, tanto el objetivo como la preparación.

I.2. EL AUMENTO DEL OBJETIVO.

Uno de los fines más importantes de los objetivos es el de formar una imagen aumentada del sujeto. Existen muchas maneras de expresar este aumento, por lo cual conviene conocer las mas usadas.

I.2.1. AUMENTO NOMINAL Y LONGITUD DEL TUBO.

El aumento nominal es el que viene grabado sobre el cuerpo del objetivo, por ejemplo, 40 X; pero con este aumento va asociada una longitud del tubo del microscopio o distancia mecanica de trabajo que es "la distancia entre el objetivo y el ocular", de tal manera, que el aumento nominal solo es verdadero a una longitud del tubo determinada, que suele ser la indicada por el fabricante, que ha seleccionado la longitud óptima del tubo, para las características del objetivo. El dato que corresponde a la longitud del tubo suele estar indicado en la misma montura del objetivo, ó en la tabla de aumentos del microscopio. Si un objetivo se usa con una longitud de tubo mayor o menor que la indicada, el aumento nominal queda incrementado o disminuido por la razón entre la nueva longitud del tubo y la adecuada.

En todos los microscopios ingleses y americanos la longitud del tubo es de 160 mm., y los demas microscopios europeos, rusos y japoneses tienen una longitud del tubo de 170 mm., en general.

Es norma general en los trabajos de investigación y en todas las obras de microscopía, expresar el aumento nominal siempre incluyendo la longitud del tubo.

I.2.2. AUMENTO TOTAL.

Es el aumento que se obtiene al observar a través del

ocular. Para calcularlo basta multiplicar el aumento nominal por el del ocular. Por ejemplo un objetivo de 40 X. y un ocular de 10 X. producen un aumento total de 400 X.

I.2.3. AUMENTO UTIL.

Conociendo que el poder de separación angular del ojo es de $2'$, lo que corresponde a una distancia de 0.15 mm. entre dos puntos, observados a 250 mm., se puede establecer que el ocular debe aumentar la imagen del objetivo de tal manera que dos detalles del sujeto aparezcan al menos separados por este valor (Langeron 1978).

Sin embargo, el objetivo también posee un poder de resolución que esta determinado, en gran medida, por su apertura numérica, por lo tanto, existen límites en la cantidad de veces que puede ser ampliada la imagen del objetivo por el ocular.

Algunos autores, como Casartelli (1976), sugieren que en los objetivos de tipo acromático, el mayor aumento útil posible es de 1000 veces la apertura numérica, mientras que los objetivos mas perfeccionados, como son los de fluorita y los apocromáticos, el límite del aumento útil es de 1500 veces la apertura numérica. También es recomendable no tener aumentos inferiores a 500 veces la apertura numérica, ya que de lo contrario se perderian un gran número de detalles. Por lo tanto, el aumento útil, es el aumento total de un microscopio condicionado por la apertura numérica del objetivo, lo cual fue determinado por Ernest Abbe (Casartelli 1976).

I.3. APERTURA NUMERICA.

La apertura numérica esta determinada por el tamaño del cono de luz que penetra a través de la lente frontal de

un objetivo enfocado y el índice de refracción del medio (aceite, agua, aire, etc.), que existe entre el objetivo y la preparación (ver fig. 1).

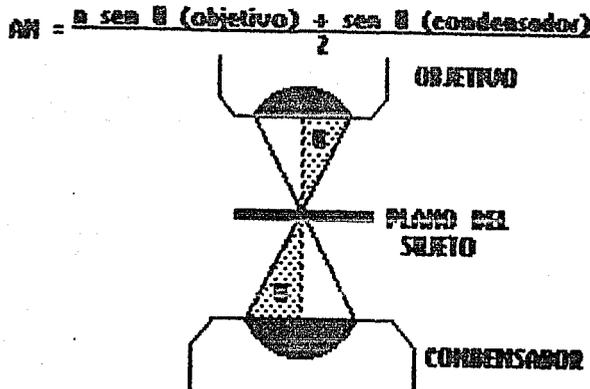


Fig 1. APERTURA NUMÉRICA DE UN OBJETIVO.
 Donde θ es igual al semángulo de apertura y n es igual al índice de refracción de el medio.

La apertura numérica es tan importante como el aumento del objetivo ya que de ella dependen las siguientes características ópticas del objetivo:

I.3.1 PODER DE RESOLUCION.

Al ser el cono de luz más amplio, la separación de los rayos de luz provenientes del sujeto serán mayores, captándose la mayor parte de ellos y por lo tanto la mayor cantidad de información. Es por ello que la fórmula para determinar el poder de resolución de un microscopio utiliza los siguientes parámetros: λ que es la longitud de onda que se está utilizando, entre la apertura numérica del objetivo

(AN), mas la del condensador, y se representa de la siguiente manera:

$$PR = \frac{\lambda}{AN(obj) + AN(con)}$$

I.3.2. TRANSMICION DE LA LUZ.

Entre mayor cantidad de luz capta el objetivo habrá una mayor luminosidad en la imágen, y esto es posible con aperturas numéricas mayores, es decir con conos de luz más amplios.

I.3.3. DISTANCIA DE TRABAJO.

Es la distancia que existe entre el objetivo y el sujeto y, por lo tanto, es inversamente proporcional a la apertura numérica, y es que entre más grande sea la apertura numérica más próximo debera estar el objetivo de el sujeto.

I.3.4. PROFUNDIDAD DE CAMPO.

La profundidad de campo es el margen de nitidez que existe antes y despues del plano de enfoque y es inversamente proporcional a la apertura numérica, por lo que a mayores aperturas existe una menor profundidad de campo, y por lo tanto, mas difícil es el enfoque.

II. ILUMINACION EN EL MICROSCOPIO.

El calentamiento por efecto Joule de un filamento de tungsteno es todavía la fuente lumínica más utilizada. Para que la iluminación sea eficaz, el filamento debe ser cuanto más compacto mejor. Para ello se utiliza un voltaje bajo: de 6 a 12 volts y un bobinado de espirales aplanadas o de cortina. En fotomicrografía las lámparas con regulador de voltaje resultan ventajosas al permitir un control mayor sobre los tiempos de exposición de las películas fotográficas.

Es importante mencionar que la temperatura de color de estas fuentes lumínicas raramente sobrepasan los 3400 grados Kelvin, motivo de consideración particular cuando se trabaja con películas de color.

Otra fuente importante de luz, en la fotomicrografía, son las lámparas de iluminación electrónicas, conocidas bajo el término de iluminación de luces de destello o "flashes", que entre sus ventajas resultan convenientes mencionar su capacidad de "congelamiento de la imagen", de fundamental interés en la fotomicrografía de eventos muy rápidos o de sujetos en movimiento, además tiene amortiguados los inconvenientes de las fuentes de luz continua que pueden tener efectos letales sobre los sujetos vivos o decoloraciones en las estructuras teñidas.

En la obtención de fotomicrografías de calidad resulta decisivo utilizar lámparas equipadas con un colector y un diafragma iris, que permitan aplicar el método de iluminación según Koehler. La descripción de este dispositivo de iluminación, que probablemente es el más

perfecto y el que más se aplica, fué publicada en 1893, por August Koehler (Möllring 1952). Para este fin el microscopio ha de estar dotado de un portacondensador desplazable en el sentido de el eje optico del microscopio y una lámpara con colector y diafragma variable. En resumen, en este sistema de iluminación, la fuente de luz es reproducida, por el colector, en el diafragma del condensador y, en conjunto con este, en la pupila de salida del objetivo, obteniendose reproducciones de la fuente de luz en una marcha de rayos distinta a la de la formación de la imágen de el sujeto de estudio. De esta forma es posible conseguir que el sujeto reciba una buena cantidad de luz y que quede uniformemente iluminado, emitiendo a su vez una exelente densidad luminosa, a nivel de la imágen primaria, la cual puede ser recogida por la película fotográfica, u observada por medio de una lupa u ocular (Möllring 1952). La iluminación de Koehler garantiza la uniformidad lumínica de campo observado, evitando ademas, reflejos perturbadores y resplandores que reducen el contraste, factores por demas importantes en la fotomicrografía.

III. EQUIPO FOTOGRAFICO.

En fotomicrografía existen basicamente tres aspectos de consideración, bajo el rubro de equipo fotográfico, que son fundamentales.

En primer lugar esta el llamado cuerpo de la cámara que tiene como función principal contener, de manera adecuada, a la película, en base a lo cual se determina el formato de la misma. En fotomicrografía los formatos utilizados con mayor frecuencia son los de 35 mm. y los de tipo "placa" con las siguientes dimensiones: 10 x 12.5 cm., 9 x 12 cm. y 13 x 18 cm.

Algunas cámaras tienen integrado un sistema de arrastre de la película, que permite el avance de la misma, para poder exponer a la luz diferentes cuadros de la película, cuando esta viene en rollo.

De igual manera, y como parte fundamental, dentro del cuerpo de la cámara, no diseñada exprofeso para fotomicrografía, esta presente un sistema de obturación, que permite controlar el tiempo de exposición de la película. Se habla de un obturador de plano focal, cuando este sistema se localiza sobre el plano de la película, y pueden ser de tipo cortina o de tipo guillotina. Cuando el obturador se encuentra localizado en la lente se le denomina obturador central. En las cámaras diseñadas para fotomicrografía el obturador puede ser independiente a ellas, pero de manera general es de tipo central y no se encuentra asociado a lente alguna. Es requisito indispensable de los obturadores utilizados en fotomicrografía, la suavidad de su funcionamiento, dado

que, es frecuente el trabajo que requiere de tiempos de exposición largos, de 1/30 de segundo o mayores, el sistema de obturación no debe producir vibraciones en el sistema, que perjudiquen la calidad fotográfica.

En segundo lugar, destaca la importancia del sistema de visión que nos permitiera ver con claridad la imagen que recogerá la película fotográfica. Cabe destacar que este sistema puede estar integrado al cuerpo de la cámara, en tal caso existen dos formas posibles, la más frecuente es la que corresponde a la cámaras de tipo reflex que en base a un pentaprisma y un espejo proyectan una imagen, casi idéntica, a la que recibe la película, sobre una pantalla de cristal esmerilado, para poder observarla. Es importante mencionar que no todas las pantallas de cristal esmerilado, que los fabricantes de cámaras incluyen en los equipos fotográficos no especializados en fotomicrografía, son útiles para este tipo de trabajo. Esto se debe a la forma y tamaño de la retícula de estos cristales esmerilados, por lo que es frecuente, cuando se adapta una cámara de uso común a un microscopio, que se tengan problemas para observar y enfocar, a través del visor de la cámara, cuando esta no tiene la pantalla adecuada. Por tal motivo algunos fabricantes de cámaras, como lo son Nikon, Olympus y Cannon tienen modelos de cámaras a los que se les puede cambiar el sistema de visor o únicamente la pantalla, para diferentes fines, entre ellos la fotomicrografía.

Otro método de visión que puede estar integrado al cuerpo de la cámara es el que poseen las cámaras de gran formato que usan "placas". En este caso particular el sistema consiste, también, de una pantalla de cristal

esmerilado que se coloca, mientras se realiza el encuadre y el enfoque, en el lugar de la película, sustituyéndose por esta cuando se realiza la exposición.

Estos metodos de visión integrados a la cámara garantizan el encuadre y el enfoque de la imagen microscópica.

Existen metodos de visión que no estan integrados al cuerpo de la cámara. Tal es el caso de los sistemas de fotomicrografía adaptables a microscopios convencionales, que producen algunas casas como Ziess, Reichter y American Optical (por ejemplo el sistema C-35 de Fotomicrografía de la casa Zeiss). En dichos sistemas, generalmente se incluye un prisma, en el cuerpo del tubo del ocular que desvia la imagen, alternativamente o al mismo tiempo hacia el observador, a la película y al sistema de medición de la luz o exposímetro. Estos sistemas tienen en forma regular, los mecanismos necesarios para asegurar que el plano de enfoque sea el mismo a nivel de la película y de el observador.

En los casos en que lo que se pretende es adaptar una cámara, no reflex, y en la ausencia de un prisma con corrección de enfoque a nivel del tubo de el ocular, este problema puede resolverse con un pantalla translúcida, que puede ser un cristal esmerilado, que se coloque en el plano de la película (en lugar de ésta, mientras se enfoca), o haciendo una calibración, sacrificando un poco de película, variando la distancia entre la cámara y el ocular.

El tercer punto a considerar, dentro de la fotomicrografía, es el que se refiere a los sistemas de exposición y lectura de la luz o exposímetros. Algunos

exposímetros pueden operar dentro del mismo cuerpo de la cámara, tal es el caso de muchas de las cámaras de 35 mm., con resultados bastante buenos. No obstante, muchos microscopios modernos, con acoplamiento de cámaras, tienen anexado su propio sistema de medición de la luz que llega a la película. Se halla corrientemente en la parte donde se dividen los haces luminosos, donde una proporción constante de luz es dirigida hacia la célula fotoconductiva del exposímetro. La lectura puede obtenerse del total de la imagen o de una pequeña área de la misma. Los fotómetros de sulfuro de cadmio, especialmente adecuados, pueden situarse en el lugar de el ocular para realizar una lectura integrada o colocarse en el plano final de la imagen (con diferente calibración), para dar una lectura de tan solo una porción de la imagen. La eficiencia de la lectura integrada, de toda el área de la imagen, depende de que la distribución de tonos del sujeto sea normal u homogénea dentro del campo visual. Varios fabricantes suministran dispositivos fotomultiplicadores, que a la vez que miden la iluminación, controlan la exposición de la cámara automáticamente.

Existen cierto número de instrumentos que han sido diseñados y construidos específicamente para la fotomicrografía y que poseen iluminación incorporada, mandos para la o las cámaras (que pueden ser de diferentes formatos o inclusive de cine y televisión), y control automático de exposición. Algunos ejemplos son: las series de fotomicroscopios de la casa Zeiss conocidos como Fotomicroscopios I, II, y III, y los conocidos como Axiomat y Ultrafot; el Polivar y Univar de la casa Keinger; y los

nuevos fotomicroscopios de la casa Olympus y Nikon. Estos son algunos de los modelos y marcas más representativos y recomendados por los avances que en fotomicrografía presentan, haciendo de esta una delicia, y para muchos investigadores conocidos, un sueño.

IV. FILTROS EN FOTOMICROGRAFIA.

Un filtro, en fotografía, es todo aquel material que modifica la luz cualitativamente o cuantitativamente al ser atravesado por ésta. Los cambios pueden ser en la composición, en la intensidad, en el plano de vibración o en su fase, en terminos generales.

Existen varias aplicaciones de los filtros en fotomicrografía, que se pueden resumir de la siguiente forma:

1.- Restricción de la longitud de onda usada a la que el rendimiento del objetivo es mayor (verde).

2.- Aislamiento del ultravioleta (absorbiendo la luz visible) para micrografía ultravioleta.

3.- Como filtros de corte o barrera en fluorescencia ultravioleta.

4.- Aislamiento de la línea de 546 nm. de las lámparas de vapor de mercurio para micrografía por interferencia monocromática.

5.- Corrección de la temperatura de color del manantial luminoso, para fotomicrografía en color.

6.- Modificación del rendimiento de tonos de especímenes coloreados o teñidos, cuando se registran en películas blanco y negro.

7.- Los filtros absorbentes o reflectantes del calor pueden emplearse tanto para proteger el espécimen, como los componentes ópticos, cuando es imprescindible la utilización de iluminaciones intensas.

Atendiendo a sus propiedades físicas, los filtros tienen la capacidad de modificar la composición cromática

de la luz blanca, y si en microscopía son una herramienta de gran ayuda, en fotomicrografía pueden ser imprescindibles. De hecho algunas técnicas de contrastado óptico se basan en la capacidad de los filtros para alterar la luz, tal es el caso de los filtros polarizadores que determinan el funcionamiento del sistema del mismo nombre.

La utilidad y calidad de los filtros puede variar de acuerdo al material que los compone, siendo los mas recomendados los de gelatina (Clerc 1954), y que se encuentran en el mercado bajo la denominación de filtros Wratten-Kodak, y siguiendole los de vidrio, mica plástica y los líquidos. Dado que los filtros modifican la composición de la luz, su uso implica una modificación en la exposición de las películas fotográficas, por lo que es importante hacer una calibración para corregir la exposición para cada tipo de filtro y película, asunto que se facilita cuando se conoce el factor de filtro que generalmente suministra el fabricante.

V.- EL MATERIAL FOTOSENSIBLE, BLANCO Y NEGRO.

Las películas blanco y negro registran los valores del sujeto principalmente en terminos de brillantez mas que de color, de manera que la imagen positiva final esta compuesta solo de negro, blanco y los tonos intermedios de gris. La mayor parte de las películas son negativas, es decir que registran una imagen negativa, en la que los tonos y la brillantez estan en relación inversa con respecto a los del sujeto original; se restituyen a sus valores normales cuando el negativo asi obtenido es copiado sobre el papel para obtener una imagen positiva. Algunas películas estan diseñadas para dar imágenes positivas en blanco y negro directamente, y de hecho todas la películas pueden ser tratadas para que den imágenes negativas (Langford 1976).

Las películas blanco y negro pueden clasificarse en función de las siguientes características principales, como lo son su formato (dimenciones del negativo), su sensibilidad espectral, su contraste, su sensibilidad o rapidez, y su resolución (Langford 1976).

V.1. SENSIBILIDAD ESPECTRAL.

Sensibilidad espectral significa sensibilidad de la película a los colores y en función de esto tenemos los siguientes cuatro tipos de películas. (Enciclopedia Práctica de Fotografía, Salvat Editores, 1979).

V.1.1. SENSIBLES AL AZUL.

Las películas de este tipo son sensibles solamente al ultravioleta y a la luz azul. Aunque en el pasado estas emulsiones se podian adquirir con contraste normal, en la actualidad solo se encuentran con contrastes superiores al

normal, pues se destinan a la reproducción monócroma o para la reproducción de transparencias blanco y negro. Tienen la enorme ventaja de que pueden ser manipuladas y procesadas en el cuarto oscuro bajo luz de seguridad. (op cit).

V.1.2. ORTOCROMATICAS.

Esta clase de película es sensible a la radiación ultravioleta y a las luces azul y verde. También puede ser procesada bajo la luz de seguridad (generalmente de color rojo). La mayoría de los papeles b/n para positivado son de este tipo.

V.1.3. PANCROMATICAS.

Puesto que la película pancromática es sensible a todos los colores de la luz y al ultravioleta, es la más utilizada. Además de su propiedad de registrar en gris los colores de los sujetos con una gama de brillantez aproximadamente igual a la original y de dar gran variedad de tonalidades mediante la adición de filtros, las películas pancromáticas se encuentran disponibles en la más amplia gama de sensibilidades, poderes resolutivos, tamaños de grano y poder de resolución. (op cit).

V.1.4. INFRARROJAS.

Como otras películas de haluros de plata, las películas infrarrojas son sensibles a la radiación ultravioleta y a la luz azul de algunas longitudes de onda. Al contrario que las películas pancromáticas, la infrarroja no es sensible a luz verde, pero si lo es a las longitudes de onda más largas del rojo y a las radiaciones invisibles del infrarrojo. Generalmente esta película se expone a través de un filtro amarillo oscuro o rojo, que absorbe las radiaciones ultravioletas y a la luz azul, registrando así

solo la imagen infrarroja. (Arnold 1974).

V.2. CONTRASTE.

Las películas de una sensibilidad determinada pueden diferir en contraste, así como en el grado de definición y de sensibilidad. En una imagen positiva, el contraste es el grado de diferencia entre los diversos matices de gris, desde el blanco al negro (Arnold 1974). En un negativo, el contraste es la diferencia entre los distintos depósitos de plata revelada, llamados "densidades", resultantes de las diferencias de exposición. Por otro lado el contraste está determinado por el tamaño del grano de la película, siendo que entre menor sea el tamaño del grano, mayor es el contraste de la película. (Enciclopedia Práctica de Fotografía, Salvat Editores, 1979).

V.3. SENSIBILIDAD.

La sensibilidad o rapidez de una película es otra característica que también está determinada por el tamaño del grano, de tal manera que entre mayor sea el tamaño del grano mayor es la sensibilidad de la película (Arnold 1974).

Para aclarar este concepto valga el siguiente ejemplo: la cantidad de exposición requerida difiere según las características de la emulsión, así una película A necesita solamente una unidad de exposición para producir la primera densidad visible o registrable, que difiera de las porciones no expuestas de la misma película, mientras que la película B requiere dos unidades de exposición, y la película C necesita cuatro. De ello se deduce que la película A es dos veces más sensible que la B y cuatro más que la C.

Los valores ISO (ASA), son los valores de sensibilidad de las películas y son aritméticos; por tanto, indican directamente la sensibilidad relativa a la luz de las diferentes películas. Por ejemplo, en igualdad de condiciones, una película con sensibilidad ISO de 200 requiere doble exposición que otra de 400 ISO (Davis 1979).

V.4. PODER RESOLUTIVO DE LA PELICULA.

El poder resolutivo depende principalmente del tamaño del grano de la emulsión; y en menor grado, de la energía del revelador (Arnold 1974). Un revelador muy enérgico, si bien dara la máxima velocidad, tiende a dar una mayor granularidad que otro menos activo.

El poder resolutivo se mide fotografiando, a escala reducida, un objeto de ensayo consistente en series de líneas de tamaño decreciente separadas por espacios que tengan una anchura igual a la anchura de las líneas. La resolución depende del contraste de la imagen, y de aquí se deriva el contraste de los diagramas de prueba. La siguiente lista, que se obtuvo de la Enciclopedia de Fotografía de Kodak (Salvat Editores, 1979), proporciona en terminos descriptivos los distintos poderes resolutivos de las películas:

Bajo: 50 líneas/mm o menos

Medio: 63 a 80 líneas/mm

Alto: 100 a 125 líneas/mm

Muy alto: 160 a 200 líneas/mm

Extremadamente alto: 250 a 500 líneas/mm

Ultra alto: 630 líneas/mm o mas

VI. EL REVELADO.

El objeto del revelado de la imagen expuesta con la cámara es, evidentemente, amplificar la imagen latente hasta que se adquieran las densidades apropiadas de plata metálica. Se sabe que casi todas las soluciones de revelado, de uso general, contienen como componentes, además del agente revelador, álcalis, un conservador y un retardador (Lanford 1976). Hay fórmulas comunes con el par superaditivo de agentes reveladores formado por la fenidona y la hidroquinona, o metol e hidroquinona. En el caso de reveladores de gran contraste se puede usar hidroquinona en presencia de hidroxido de sodio (Langford 1976). Todas las soluciones reveladoras varían en sus efectos con el estado físico, la dilución, la temperatura, el tiempo durante el que actúan, el tipo de emulsión y la agitación.

Sería de esperar que, en el caso de las emulsiones de revestimiento fino, el proceso de revelado se realizara, simultáneamente, a través de toda la película, pero, en general, el revelado comienza en la superficie expuesta al revelador, y progresa al interior de la emulsión con mucha lentitud. Esto depende en parte del hecho de que la gelatina de la emulsión debe hincharse a fin de permitir al revelador que se difunda por el interior de dicha capa de emulsión. Del mismo modo, a medida que el revelador actúa sobre el haluro de plata, naturalmente va agotándose, y el revelado solo puede avanzar si el revelador agotado va siendo reemplazado por solución nueva. Como es natural, el haluro de plata expuesto no está distribuido uniformemente en toda la película (Lobel 1973, Ruckman 1976).

VI.1.COMPOSICION DEL REVELADOR.

Un revelador esta constituido por cierto número de sustancias químicas distintas; principalmente:

- 1) La sustancia reveladora.
- 2) El conservador.
- 3) El álcali.
- 4) Un agente que restrinja la formación de velo o que influya para hacer mas lento la acción del revelador en general (Jacobson 1978).

La naturaleza de las sustancias químicas, asi como las cantidades relativas presentes, rigen las propiedades del revelador en tan gran proporción, que es de suma importancia comprender exactamente el papel que desempeña cada sustancia constituyente del revelador. El comportamiento "fotográfico" del agente revelador es, por consiguiente,, mas una función de la composición total de la solución reveladora que una funcuión de la sustancia en si misma (Jacobson 1978). De ahí que parezca lógico que se estudien en primer lugar los demas constituyentes, y explicar el efecto que los mismos ejercen sobre la sustancia reveladora.

VI.1.1. EL AGENTE CONSERVADOR.

El revelado es un proceso de reducción en el cual el haluro de plata es reducido a plata unicamente, y la propia sustancia reveladora experimenta una transformación, puesto que queda oxidada. Sin embargo, hay que hacer observar que el proceso de revelado, en si mismo no es necesario para la oxidación del revelador. La simple exposición al oxígeno de la atmósfera oxidara rapidamente el revelador y lo hara inútil. Para evitar que tenga lugar esta oxidación, o por

lo menos para reducir la rapidez de la misma, se añade al revelador un agente conservador, siendo, para este fin, la sustancia más empleada el sulfito de sodio (op cit).

VI.1.2. EL ALCALI.

Las soluciones de revelador que contienen solamente sulfito de sodio, poseen, por norma general, muy débil capacidad reveladora y hasta puede darse el caso de que carezcan de toda capacidad de revelado. A fin de desarrollar su plena acción, es necesario adicionarles álcali.

Los álcalis más generalmente usados en fotografía son: carbonato de sodio, carbonato de potasio y los álcalis cáusticos hidroxido de sodio y potasio. La cantidad y el caracter de los álcalis, ejercen una profunda influencia sobre las propiedades de los reveladores. Existe una notable diferencia entre la acción de los carbonatos alcalinos, o sea: carbonatos de sodio y potasio; y los álcalis causticos, ya que estos ultimos dan reveladores de mayor energía que los carbonatados al tener un pH mas básico (Jackobson 1978).

VI.1.3. EL RETARDADOR.

La gran mayoría de reveladores cumplen de un modo, más o menos completo, la importante función de actuar tan solo sobre los haluros de plata de las emulsiones fotosensibles, que hayan sido expuestos a la luz, no actuando, en absoluto, sobre las partes de la emulsión que no hayan recibido la exposición mencionada. La acción de dichos reveladores es selectiva y no da lugar a que se produzca un velo general del conjunto de la superficie sensible.

Para asegurar que produzcan una imagen completamente libre de velo, se emplea un retardador, siendo el producto mas utilizado el bromuro de potasio (Jacobson 1978).

VI.1.4. OTRAS ADICIONES A LOS REVELADORES.

Cuando se emplea agua dura para componer los baños de revelado, estos adquieren, a menudo un aspecto turbio o lechoso. Ello es debido a la acción del carbonato alcalino y el sulfito sobre las sales cálcicas presentes en el agua. Si la cantidad de sales de cal es excesiva, llega a formarse sobre la capa sensible de la película, un precipitado de carbonato de calcio y de sulfito, a menos que se filtre el revelador, o que se destruya de algun modo u otro, dicho precipitado. La formación de este precipitado de carbonato de calcio puede evitarse mediante la adición de ciertos agentes quelantes, como el hexametáfosfato de sodio (comercialmente conocido como Calgón), o el ácido etilendiamina tetracético (conocido con el anagrama de AETA), (op cit).

VI.1.5. AGENTES HUMECTANTES.

Para comprender la acción de un agente humectante hay que saber en que consiste la operación de humedecer. Puede definirse diciendo que es la formación de una capa continuamente absorbida de líquido, sobre la superficie de cualquier cuerpo sólido, o en la de otro líquido. La capacidad humecedora de un líquido depende en gran medida de las propiedades de su superficie.

La existencia de una fuerza llamada tensión superficial, que ejerce su acción en la superficie del agua, y tiende a evitar que la misma se rompa, puede evitar la humectación. Los agentes humectantes son sustancias que

tienen la propiedad de disminuir ésta tensión superficial, facilitando con ello la dispersión o humedecimiento de otro material.

La primera y mas evidente ventaja, que ofrecen estos agentes, es la seguridad de que la placa o película sera mojada rápida y uniformemente por el revelador, y con ello se evitara la formación de burbujas de aire y otras irregularidades debidas a la desigualdad de humedecimiento. La mayoría de estos agentes pertenecen al grupo de los alcoholes grasos sulfonados, sulfatados o carboxilatados (Jacobson 1978).

VI.1.6. AGENTES REVELADORES.

Ya se mencionó que los agentes o sustancia reveladoras son reductoras, pero no todo agente reductor puede actuar como revelador fotográfico. Para que un agente reductor actue como revelador, debe poseer la propiedad de reducir tan solo los haluros de plata que hayan recibido exposición en la cámara fotográfica, y deje, sin alterar, el resto del material fotosensible no expuesto.

Afortunadamente existen muchos compuestos que tienen esta cualidad, si bien difieren notablemente en cuanto a sus propiedades, tanto químicas como fotografías, de modo que su acción depende en muy alto grado de la composición del revelador en el que desempeña el papel de agente reductor.

Cada solución de revelado debe contener uno o varios de estos agentes reveladores, los cuales difieren en su actividad; con el mismo tiempo y temperatura, un agente activo reduce mas cristales de haluro que uno menos activo, o bien a temperatura constante, el agente más activo reduce

el mismo número de cristales de haluro en un tiempo más breve. Por tanto, la actividad es una expresión del régimen de revelado. Puede aumentarse elevando la temperatura, o bien, con algunos agentes, incrementando la alcalinidad de la solución (Kodak 1979).

Los agentes reveladores difieren en el grano y el contraste que producen en las imágenes, así como en la velocidad a la cual actúan.

Es frecuente que en cada fórmula se utilice más de una agente revelador. Cuando se combinan dos agentes reveladores apropiados, la actividad resultante es mayor que la suma o el promedio de las que les corresponden por separado (Kodak 1979).

Los agentes reveladores más utilizados son: parafenilendiamina, Dimezona (orto-fenildiamina), hidroquinona, glicina, para-aminofenol, clorohidroquinona (cloroquinol), Fenidona, pirocatequina, pirogalol, Metol, Adurol y Amidol (Jacobson 1974, Kodak 1979).

VI.1.6.1 CARACTERISTICAS DE LOS AGENTES REVELADORES.

A continuación se mencionan las características de los principales agentes reveladores, citadas por Jacobson, (1978).

METOL. Revelador rápido en soluciones alcalinas, con álcali caustico tiende a producir velo, con borax es mas lento y produce un revelado de grano fino, es afectado por bajas temperaturas.

HIDROQUINONA. Con carbonatos alcalinos produce reveladores lentos pero de buen contraste, en combinación con álcalis causticos es muy rápido y produce alto contraste, generalmente se utiliza en combinación con metol o fenidona.

CLOROQUINOL. Es un revelador enérgico, más que la hidroquinona, se recomienda su utilización con retardadores.

PIROCATEQUINA. Revelador enérgico con álcalis cáuticos, puede utilizarse como revelador de gran definición, pero tiene productos de oxidación que pueden manchar las películas.

PIROGALOL. Se emplea en los reveladores con tintes, revelador enérgico.

GLICINA. Revelador lento, revelados de grano fino y bajo contraste, generalmente se utiliza en reveladores de papel fotográfico.

PARA-AMINOFENOL. Revelador rápido, que no presenta tendencia al velo, se emplea con álcalis cáuticos quedando soluciones muy concentradas que despues se diluyen para su utilización, dando revelados de gran nitidez.

ALMIDOL. No requiere de álcali, trabaja muy bien a

temperaturas elevadas, se conserva muy poco.

PARA-FENILENDIAMINA. Revelador de grano fino, tóxico y tiende a manchar la gelatina de las emulsiones.

FENIDONA. Revelador rápido pero de bajo contraste, se utiliza en combinación con hidroquinona, en sustitución de el metol.

VII. SENSITOMETRIA.

La sensitometría es la medición de la respuesta de las emulsiones fotográficas a la exposición y al procesado. Sus métodos esenciales, establecidos por Hurter y Driffied entre 1870 y 1890, constituyen el fundamento de la ciencia de los materiales fotográficos. La palabra "sensitometría" no se emplea aquí en el sentido limitado de determinación de velocidad, sino que cubre otros aspectos como la comparación de materiales, control de tratamientos y las diversas formas de fotometría fotográfica (Langford 1976).

La sensitometría no nos profetizara si nuestras fotografías seran buenas, por que esto depende, en gran proporción, de la medición de valores tonales producidos. Pero si forma un medio inteligente de comparar la sensibilidad y funcionamiento tonal de diferentes emulsiones, descubrir los límites de exposición eficaz, comparar reveladores y condiciones de revelado, y establecer relación entre las cualidades de un negativo y las impresiones que de este se realisen (Lobel 1973).

VII.1. EXPOSICION.

La diferencia fundamental entre el ojo humano y el material fotográfico estriba en que el ojo responde a diferencias de iluminación (una intensidad), mientras que el material fotográfico la hace al total de iluminación recibida (una cantidad), o sea el producto de intensidad por tiempo, llamada "Exposición", la cual se mide y expresa en candelas-metro/segundo o lux/segundo (Lobel 1973).

$$E = I \times t$$

Pero el efecto fotográfico no depende solo de este

valor de exposición, sino también del modo como se aplica, pues caben desviaciones por dos causas: en primer lugar, la intensidad es unidad que se define con referencia al ojo, y este responde a las luces de colores distintos de modo diferente a como lo hace la emulsión sensible. Dicho de otro modo, la sensibilidad del ojo al color (al espectro), y la del material fotográfico son diferentes (ver figura 2).

En segundo lugar, el efecto fotográfico depende igualmente de los valores de intensidad y tiempo por separado. Bunsen y Roscoe establecieron en 1876 (Lobel 1973, Arnold 1974), la llamada "Ley de Reciprocidad", según

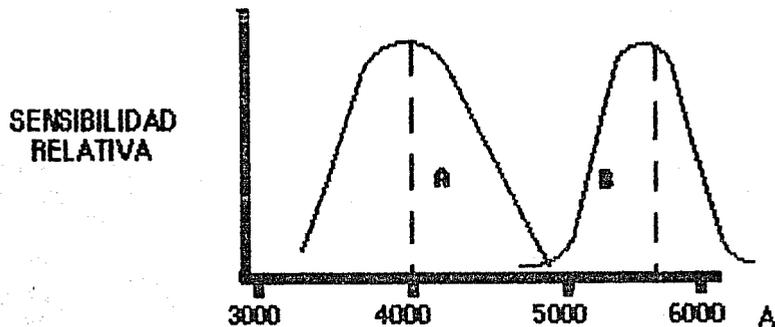


Fig. 2. Gráfica comparativa de sensibilidad espectral de una película positiva (A) y el ojo (B).

la cual, la exposición depende solo de este producto, pero pronto se vio que esta ley no era válida para el proceso fotográfico (Lobel 1973), hecho muy importante en Sensitometría y que se analizara posteriormente.

VII.1.1. FALLO DE LA LEY DE RECIPROCIDAD.

Se dijo anteriormente que la densidad obtenida tras el revelado en una emulsión fotográfica no depende solo del producto de la intensidad (I) por el tiempo (t), por

ejemplo, se sabe que una exposición de 1000 lux por segundo puede dar una densidad mayor que que otra de 1 lux por 1000 segundos. Schwarzschild en 1899 estudio este fenómeno y dedujo que el efecto fotográfico no era proporcional a $I \times t$ sino a $I \times t$ elevado a (p) , donde (p) es un exponente constante que ha recibido el nombre de dicho autor (Lobel 1973).

Practicamente un ejemplo aclarará este fenómeno: suponiendo que para fotografiar un sujeto dado, haciendo uso de una emulsión determinada, fue necesaria la exposición de un segundo a $f = 8$; según la ley de reciprocidad, el tiempo de exposición para otra abertura de $f = 64$ sería de $1 \times (64 \times 64) / (8 \times 8) = 64$ segundos. En realidad, este tiempo puede ser de 100 segundos y esto daría una constante de Schwarzschild de 0.9.

El efecto, de este fallo de reciprocidad, trae como consecuencia que las fotografías con mucha iluminación y poco tiempo de exposición tiendan a producir contrastes bajos, mientras que las fotografías con poca iluminación y tiempos largos de exposición, queden con contrastes altos (Arnold 1974).

VII.2. ENEGRECIMIENTO DE LA EMULSIONES FOTOGRAFICAS.

Después de haber definido la exposición se puede considerar el resultado de su acción fotoquímica: el grado de ennegrecimiento obtenido, o sea la densidad fotográfica.

Se llama "Transparencia" la relación entre la luz que deja pasar el depósito de plata o emulsión (luz transmitida), y la luz que incide sobre el depósito (luz incidente). Si, por ejemplo, la luz transmitida es 1/10 de la luz incidente, se dice que la transparencia es igual a

1/10. De la transparencia podemos obtener la "Opacidad", que es por definición, la recíproca de la transparencia, de tal manera que si la transparencia es igual a 1/10, la opacidad es igual 10 (Lobel 1973).

Los depositos fotograficos pueden tener opacidades del orden de 1000, 10 000 e incluso mas. Si se desea construir una gráfica que compare la opacidad en función de la exposición, es necesario tomar para las opacidades una escala muy pequeña que no permitira darse cuenta de las propiedades de la emulsión en las opacidades débiles. Por tanto se ha juzgado mas racional, según las indicaciones de Hurter y Driffield (Arnold 1974), emplear, en lugar de las opacidades, las DENSIDADES OPTICAS, que son los logaritmos decimales de las opacidades. En estas condiciones, cuando la opacidad varía de 1 a 10 000, la densidad óptica varia de 0 a 4 unicamente (Lobel 1973).

VII.2.1. MEDIDA DE LA DENSIDAD.

La densidad de una imagen fotográfica es debida principalmente a la absorción de luz por la plata metálica. No obstante, parte de la luz incidente es dispersada por los granos de plata, por lo que la densidad media depende, en forma considerable, de la capacidad del sistema detector, para registrar la cantidad de luz difusamente dispersada. (Lobel 1973, Arnold 1974).

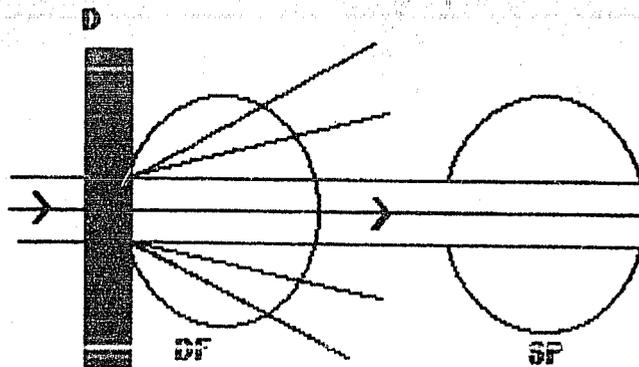


Fig 2. Efecto Callier. En DF se obtiene densidad difusa y en SP densidad especular.

Cuando incide luz sobre la emulsión (D) (fig 3), no solo se absorbe una parte y se transmite otra, sino que también alguna queda difusa y se pierde. Ahora bien, la iluminación se mide en el punto SP, a una distancia de la emulsión menor que la que dista la iluminación en DF, adyacente a aquella, porque en esta última posición algo de la luz difusa se recoge. De aquí que la densidad media al recoger la luz en SP sea mayor que la media en DF. La primera se conoce como densidad especular (D''), y la segunda como densidad difusa (DF).

VII.2.2, COEFICIENTE CALLIER.

La relación entre la densidad especular y la densidad difusa (D''/DF), de cualquier material se denomina coeficiente Callier (Q). Por tanto $Q = D''/DF$. El efecto Callier se pone de relieve llevando a una gráfica las curvas características en que se midieron con luz especular y luz difusa. La curva dada con luz especular da mayores densidades y contrastes, lo cual es importante de considerar en todos los trabajos sensitométricos (Lobel 1973).

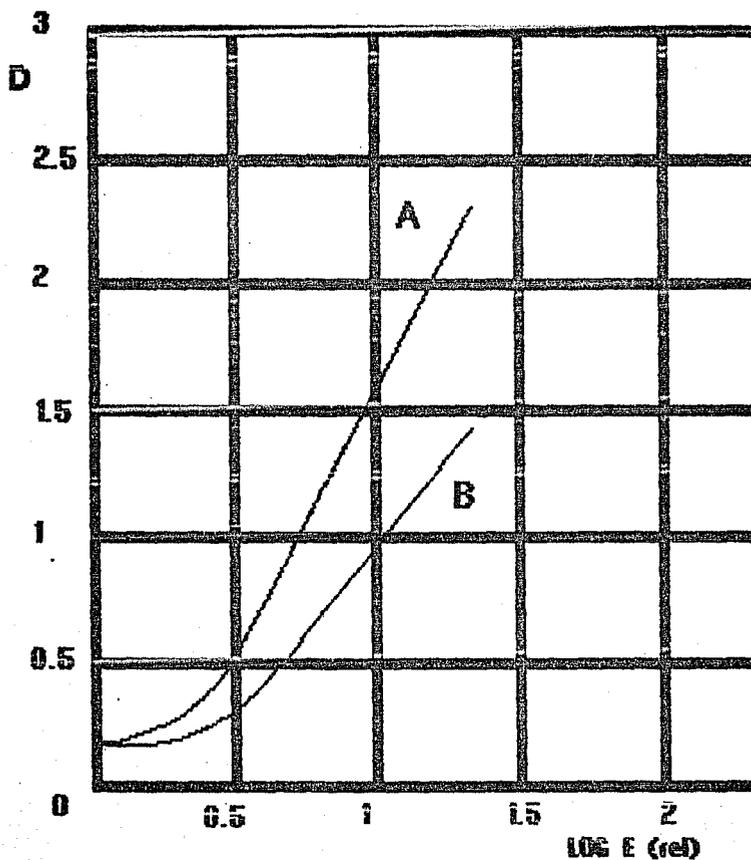


Fig 4. En esta gráfica se pone en relieve el efecto Calier en donde se midieron las densidades con luz especular A y con luz difusa B. La curva A da mayores densidades y mayores contrastes.

VII.3. FACTOR DE CONTRASTE Y GAMMA.

Habiendo destacado que para que un sujeto quede reproducido correctamente, es necesario que su intervalo de luminosidades se inscriba en la "región correcta de exposición", es decir, en la proyección de la parte rectilínea de la "curva característica" de la película, sobre el eje de los logaritmos de exposición. Solamente, en estas condiciones, las densidades del negativo son proporcionales a los logaritmos de las exposiciones que habra recibido. Pero la parte rectilínea de la curva característica puede estar mas o menos inclinada sobre el eje de los logaritmos de las exposiciones (Lobel 1973). Puede tener, por ejemplo, las diferentes posiciones de la figura No. 5 (siguiente página), en donde para la recta I las densidades crecen menos rapidamente que los logaritmos de exposición; para la recta II las densidades crecen lo mismo que los logaritmos de exposición; y para la recta III las densidades crecen más rapidamente que los logaritmos.

El conocimiento de esta relación nos ilustra sobre la forma en que crece la densidad cuando el logaritmo de exposición aumenta.

Por tanto, la pendiente de la parte rectilínea de la curva característica nos indica la forma en que crecen las densidades en función del incremento de los logaritmos de exposición. Esta pendiente se denomina FACTOR DE CONTRASTE y se designa **abreviadamente** con el nombre de la letra griega GAMMA (Lobel 1973, Arnold 1974).

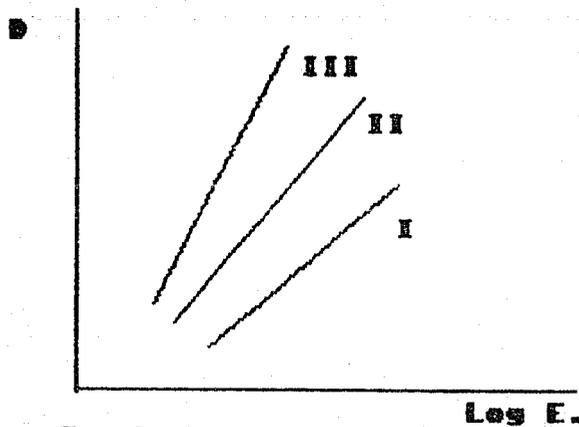


Fig 5. Diferencias de Gamma.

VII.3.1. GAMMA.

El gamma indica el contraste del negativo respecto del sujeto. Si el gamma es menor que 1, el negativo esta menos contrastado que el sujeto; si el gamma es igual a 1, el negativo tiene el mismo contraste que el sujeto; y si el gamma es mayor que la unidad, el negativo esta más contrastado que el sujeto (Lobel 1973). El conocimiento de GAMMA permite calcular, de antemano, la diferencia entre las densidades extremas, o el contraste de un negativo cuando se conoce el intervalo de luminosidad del sujeto (op cit).

VII.3.2. GAMMA INFINITO.

Es posible modificar el contraste del negativo haciendolo, a voluntad, mas o menos contrastado que el sujeto, y esto actuando solamente sobre la duración del revelado.

Antes de la creación de la Sensitometría, se sabía

que variando la duración del revelado, se obtenían negativos mas o menos contrastados (Lobel 1973). No obstante no se sabia como fijar las condiciones y la duración del revelado para obtener un negativo que tuviese un contraste determinado. Un estudio sistemático del revelado permite establecer que el gamma aumenta de una manera continua, a medida que el revelado crece, hasta alcanzar un maximo, característico de la emulsión (Arnold 1974, Jacobon 1978). Por ejemplo, basta observar las siguientes gráficas de una misma película, expuesta en las mismas condiciones y que se ha variado el tiempo de revelado (figura 6).

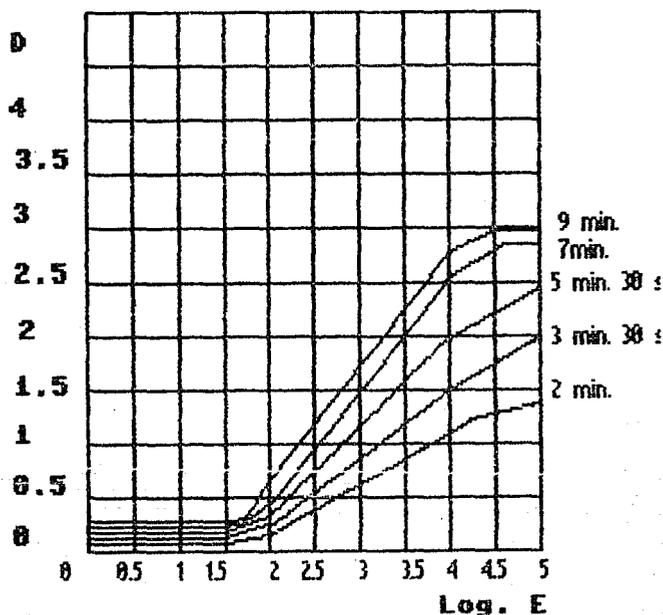


Fig. 6. Gamma infinito.

Del exámen de estas curvas es fácil deducir que el gamma crece cuando la duración del revelado aumenta, en este caso particular, de la figura 6, para los valores 0.6, 0.85, 1.1, 1.4, respectivamente para duraciones de revelado de 2, 3:30, 5:30, y 7 minutos.

Este crecimiento tiene un límite, por encima de cierto valor, que se denomina "gamma del revelado prolongado al infinito", o por abreviatura GAMMA INFINITO, en donde el gamma permanece constante. Se produce simplemente un desplazamiento de la curva hacia la izquierda debido a la producción de un velo químico, pero la pendiente de la parte rectilínea no aumenta más (Lobel 1973).

El gamma infinito caracteriza a la emulsión ensayada, lo que no quiere decir que se pueda alcanzar con todos los reveladores, sino que significa simplemente que su valor, cuando se revela con un revelador extremadamente energético, depende de las características de la emulsión (op cit).

Prácticamente, si se desea revelar a un gamma débil no se utiliza un revelador energético, que exigiría una duración de revelado demasiado corto, provocando irregularidades en la imagen. En tal caso, un revelador lento es apropiado. A la inversa, si se revela a un gamma próximo al gamma infinito, está indicando un revelador energético, mientras que un revelador lento no permitiría alcanzar esta gamma (Arnold 1974).

En general, las emulsiones negativas tienen un gamma infinito bastante pequeño, del orden de la unidad; las emulsiones positivas tienen un gamma infinito mucho más elevado, que puede llegar incluso a 3 y aun más (Lovel 1973).

El factor de contraste o gamma del negativo obtenido es en efecto, de una gran importancia para las operaciones ulteriores, en particular, para las impresiones sobre papel, se arriesga, si el gamma es demasiado débil o

demasiado fuerte, no encontrar un papel que permita obtener un positivo correcto y agradable. También ocurre frecuentemente que, si solo se dispone de una clase de papel, o si no se desea emplear mas que un solo tipo de papel, es preciso regular el revelado del negativo de forma que pueda ser ampliado sobre dicho papel (Kodak 1976).

VII.4. LATITUD DE EXPOSICION.

Si revisamos las curvas de la figura 6, es posible observar que las partes rectas de esta curva tienen todas, substancialmente, la misma proyección sobre el eje de los logaritmos de las exposiciones. Este intervalo que es de 1.7 para la figura 7, es igual a la diferencia entre los logaritmos de las exposiciones correspondientes a los dos extremos de las partes rectilíneas de las curvas características. Desde el punto de vista práctico, este valor es de gran interés, pues determina el intervalo máximo de luminosidades susceptibles de ser reproducido correctamente. Dicho de otra forma, si nuestro sujeto tiene un intervalo de luminosidades de 1 a 100, podrá ser reproducido correctamente, a condición de que el tiempo de exposición sea elegido correctamente; si es algo menor o mayor el negativo obtenido estará en parte muy subexpuesto y en parte muy sobre expuesto. Si el intervalo de luminosidades del sujeto es mayor, no será posible obtener un negativo correcto en su totalidad.

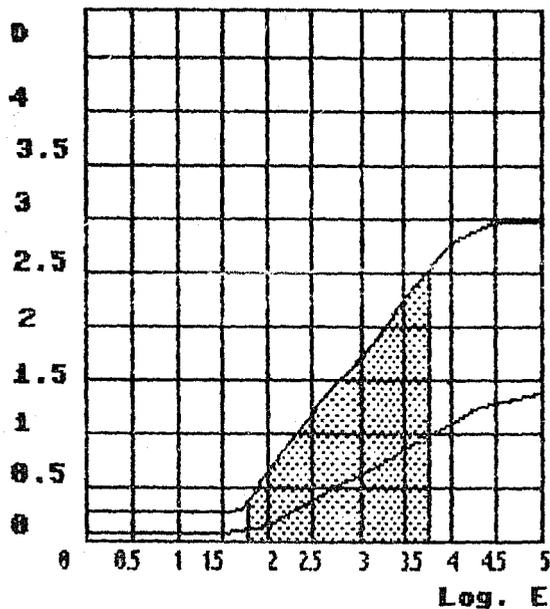


Fig 7. Latitud de exposicion.

De una manera general, desde el punto de vista sensitométrico, las emulsiones negativas se distinguen de las positivas por su sensibilidad mayor, su gamma infinito más pequeño y su parte rectilínea más prolongada, que corresponde a un intervalo de luminosidades mayor (Lobel 1973). La proyección de la parte rectilínea sobre el eje de los logaritmos de las exposiciones, permite definir lo que se entiende por LATITUD DE EXPOSICION.

Con anterioridad se dijo que un sujeto fotográfico esta caracterizado por el intervalo de sus luminosidades; se dira, por ejemplo, que un sujeto tiene un intervalo de 1 a 20 cuando el punto más luminoso del sujeto lo sea 20 veces más que el menos luminoso. Es este intervalo de luminosidades el que debe inscribirse en la proyección de la parte recta de la curva característica, sobre el eje de los logaritmos de las exposiciones. Este intervalo tiene un valor logarítmico de 1.3. Si bien no podemos actuar sobre las luminosidades de un sujeto, si podemos sobre el tiempo de exposición. Según el tiempo de exposición empleado, sea más o menos grande, el intervalo de luminosidades de 1.3,

se desplazara sobre el eje de los logaritmos de las exposiciones, tanto mas a la derecha, cuanto mas grande sea el tiempo de exposición.

Consideremos, por ejemplo, la emulsión de la figura 7, cuyo intervalo de exposición correcta es:

$$3.75-1.75=2$$

Esta emulsión puede registrar correctamente un intervalo de luminosidades máximo de 1 a 100. Para el tiempo de exposición mínimo correcto, el intervalo de luminosidades se inscribira entre 1.75 y 3.75. Para el tiempo de exposición máximo correcto, el intervalo de luminosidad del sujeto se inscribira entre 2.45 y 3.75, la diferencia es de 0.7 (en logaritmos). En 3.75 la exposición es 5 veces (número cuyo logaritmo es 0.7), más grande que en 2.45. Como conclusión se obtiene un margen de 1 a 5. Si bien se obtienen negativos con diferentes densidades, estos pueden producir positivos idénticos.

LAS DIATOMEAS.

1.- CARACTERISTICAS GENERALES.

Las diatomeas son plantas unicelulares con pared celular impregnada de sílice. Se les puede encontrar en todos los tipos de agua dulce y salada, donde la luz es suficiente para soportar la fotosíntesis. Viven en zonas intersticiales y en suelos húmedos, rocas, o sobre plantas donde el rocío las alcanza (Patrick 1966).

Algunas formas coloniales, las cuales disfrutan de una amplia distribución en todo tipo de habitats, juegan un papel importante dentro de la vegetación acuática del mundo (Frisch 1961). Son el grupo mejor conocido, el más abundante (en número de géneros, especies e individuos, aproximadamente 200 géneros y 5000 especies), y económicamente, el miembro más importante de la División Chrysophycophyta (Bold 1980).

Son excelentes indicadores biológicos ya que permiten establecer, con bastante precisión, el grado de contaminación, salinidad, y el pH del agua, por que hay especies que solo se desarrollan en condiciones muy específicas, esto mismo propicia que se encuentren, con relativa frecuencia, especies endémicas (Bourelly 1968). Según Frisch (1961), la salinidad es el factor principal que determina su distribución.

El registro fósil mas antiguo de las diatomeas se remonta al Cretásico, y todos los especímenes encontrados son marinos. No se conocen diatomeas de agua dulce anteriores al Mioceno y la composición florística de Diatomeas ayuda a la identificación de los horizontes en los perfiles geológicos (Patrick 1966).

Las Diatomeas son, frecuentemente, sujetos de estudio por parte de los microscopistas tanto por su gran belleza como por sus finas ornamentaciones y puntuaciones que permiten calibrar y medir el poder de resolución de sus microscopios (Bold 1980, Bourelly 1968, Patrick 1966).

2.- ESTRUCTURA GENERAL DE LA PARED CELULAR.

La estructura básica de la pared celular o FRUSTULA de una diatomea son dos valvas, cada una de las cuales esta conectada a una pieza circular de Sílice conocida como cinturón o vista conectiva. Una de las valvas es ligeramente mayor que la otra y se le conoce como EPITECA, y a la de menor tamaño como HYPOTECA.

La valva, en la mayoría de las diatomeas dulceacuicolas, es una superficie larga y, por lo tanto, muchas diatomeas limpias tienen esta vista en la preparación, en donde en general, las valvas estan separadas y solo se observa una. Dado que esta es la vista

más frecuente que tenemos de la superficie de la valva, son sus características las que se utilizan en la sistemática y taxonomía de las diatomeas. Todas las estructuras que se ven en las diatomeas son el resultado de perforaciones o cámaras en la pared silcosa o varias clases de engrosamientos y adelgasamientos de la misma (Patrick 1966). Las dos valvas son, frecuentemente, idénticas en su ornamentación (Bourelly 1968).

3.- SIMETRIA.

Las diatomeas están divididas en dos grupos, en base a su simetría. En el primero, las diatomeas pennadas, la simetría es bilateral; y en el segundo, las diatomeas centrales, la simetría es radial (Bold 1980).

La simetría de las diatomeas es usualmente referida a sus planos y ejes. Para las diatomeas pennaes se distinguen tres planos de simetría perpendiculares los unos a los otros:

1o.- Un plano equidistante de las dos valvas: el PLANO VALVAR.

2o.- Un plano perpendicular a las dos valvas, que pasa por los polos: PLANO APICAL.

3o.- Un plano perpendicular a los otros dos y que pasa

por el centro de las dos valvas: el PLANO TRANSAPICAL.

El encuentro de estos tres planos, determinan los tres principales ejes simétricos de la diatomea:

1o.- El eje APICAL se forma en el encuentro de los planos valvar y apical.

2o.- El eje PERVALVAR por el encuentro de los planos apical y transapical.

3o.- El eje TRANSAPICAL por el encuentro de los planos transapical y valvar.

Y si lo permite la superficie de la valva, uno puede encontrar un eje longitudinal o PARAPICAL y otro transversal o PARATRANSAPICAL. (ver figura 8).

4.- SEPTOS Y BANDAS INTERCALARES.

En muchas diatomeas se encuentran bandas intercalares, entre el manto de la valva y el cinturón. Pueden ser difíciles de observar y tienen la forma de bandas o escamas compuestas de sílice. En algunas especies el número de bandas intercalares es menor en células jóvenes, pero en otras especies el número de bandas intercalares permanece constante a cualquier edad.

Frecuentemente, las bandas intercalares crecen interiormente hasta formar una estructura en forma de placa

conocida como SEPTUM, este septo puede ser plano o ondulado.

Las bandas intercalares pueden estar conectadas al manto de la valva por una serie de pliegues en forma de astas o filos de navaja. Se les encuentra frecuentemente, separados de la valva y el cinturón en las diatomeas limpias.

Además de los septos, las diatomeas, algunas veces, contienen placas internas que se les conoce como placas Craticulares (Patrick 1966).

5.- ESTRUCTURA DE LA SUPERFICIE DE LA VALVA U ORNAMENTACION.

La superficie de la valva usualmente consiste de poros, poroides, o alveolos, areas hialinas, y en algunos casos "costillas" engrosadas y arregladas en un patrón bien definido, para un determinado taxón. Otras estructuras que pueden estar presentes son varios procesos y un RAPE (Patrick 1966).

Las marcas en las valvas son unicas en estructura en las diatomeas penales. Las características ESTRIAS son, con buena óptica, en el mejor de los casos de resolución, una serie lineal de pequeños puntos debidos a cavidades. Por su proximidad y arreglo lineal dan la idea de ser estrias. Son

extremadamente finos y constantes en su arreglo en algunas especies, por esto se convierten en excelentes sujetos para probar la definición y abertura angular de los lentes de los microscopios (Fritsch 1961, Bourelly 1968).

Los poros, poroides o alveolos, usualmente yacen próximos el uno al otro y forman líneas o estrias. En algunos casos los poros o poroides son muy pequeños y no pueden ser distinguidos bajo un microscopio fotónico (Patrick 1966).

Los poros son realmente finas aberturas en la pared celular. Los poroides son poros los cuales no están abiertos por estar cubiertos por una delgada membrana. Los alveolos son cavidades o depresiones de cámaras dentro de la pared celular, las cuales tienen paredes perpendiculares y asemejan a un panal en estructura. Los alveolos son, frecuentemente, cubiertos por una capa de sílice con una fina puntuación.

Los poroides y alveolos solo están presentes cuando la pared celular está suficientemente engrosada por varias capas de sílice. En las especies coloniales y epifíticas presentan, muy a menudo, poros que se localizan cerca del final de las valvas y a través de los cuales la secreción de mucilago tiene lugar (Fritsch 1961).

El Rafé está presente en todas las diatomeas pennales,

excepto en las de la familia Fragilaroidea, esta casi siempre asociado con el poder de movimiento espontáneo.

Los dos nodulos polares aparecen como estructuras altamente refractivas (con alto índice de refracción), en la vista valvar, y estan conectadas por la línea del Rafe, el cual es interrumpido por el nodule central (Fritsch 1961).

6.- CITOLOGIA.

El citoplasma encierra, entre otros organelos, a las mitocondrias, los dictiosomas (Aparato de Golgi), las vacuolas y las inclusiones aceitosas.

Cuando la división celular, una de las celulas hijas se lleva consigo una de las valvas de la célula madre y regenera, al interior, la otra valva, una nueva hypovalva. Por esto, en cada división celular que ocurre, hay una disminución en la talla de una de las celulas hijas, la que se lleva la hypovalva materna desarrolla su epivalva. La talla normal de la especie se restablece por intervención del fenómeno sexual y la producción de un cigoto que lleva el nombre de auxospora, despues de secretar una frústula.

Esquema Diatomea.

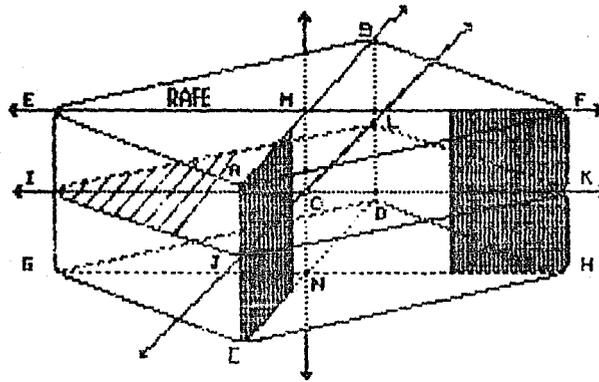


Figura 8.- Esquema de los ejes y planos de una diatomea pennada.

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| ABCD : Plano transapical | IK : Eje apical |
| EFHG : Plano apical | MN : Eje perivalvar |
| IJKL : Plano valvar | AB : Eje paratransapical |
| JL : Eje transapical | EF : Eje parapical |

PREPARACION DEL ESPECIMEN.

1.- INGREDIENTES DE MONTAJE.

La propiedad óptica mas significativa de un vehículo de montaje, para muestras microscopicas, es su índice de refracción, y en particular la diferencia relativa de este índice, entre el medio y el espécimen.

Una diferencia en el índice de refracción muy pequeña, da gran transparencia al espécimen. Llevado a un extremo de igual índice, el sujeto se hace opticamente homogéneo, y el espécimen no es visible. Una condición de casi igualdad, solo es benéfica, cuando han de apreciarse estructuras internas del espécimen, a condición de que estas posean diferentes índices de refracción (Cubberly 1968).

Cuando mayor sea el índice de diferencia, más intenso será el contraste de la imagen producida. Esto es particularmente importante cuando se trabaja con partículas muy pequeñas y transparentes, cuyas partes mas delgadas resultan invisibles, si la diferencia de índices de refracción es excesivamente pequeña. En general, las partículas mas pequeñas requieren una mayor diferencia entre tales índices, para llegar a un compromiso satisfactorio entre visibilidad y transparencia.

Las muestras coloreadas o teñidas, actúan en forma diferente, haciendo los detalles visibles por diferencia de absorción de color, en este caso se prefiere un índice muy aproximado entre ambos elementos, para conseguir un alto grado de transparencia.

El índice de refracción del medio de montaje tiene así mismo una influencia directa en cuanto a la profundidad de campo. La explicación de este hecho radica en el menor ángulo del cono de luz en un medio de índice elevado para una determinada apertura numérica (Arredondo, Martínez 1976).

Otras consideraciones que hay que tener en cuenta al escoger un medio de montaje para un espécimen determinado, son las siguientes:

- 1.- Si se quiere un montaje temporal o permanente.
- 2.- Viscosidad; los líquidos muy viscosos tienden a crear dificultades debidas a burbujas de aire mezcladas con la masa, además, las partículas pequeñas mantienen mayor estabilidad cuando menos viscoso sea el fluido empleado.
- 3.- Compatibilidad química; el montaje debe ser inerte, tanto respecto al sujeto como al colorante empleado. Cuando es ácido, aunque sea muy ligeramente, ocasiona la decoloración de muchos tintes. Algunos medios actúan, asimismo, como eficientes conservadores.

Algunos medios de montaje mas comunes, con sus índices de refracción, figuran en la siguiente tabla.

INGREDIENTES DE MONTAJE MAS COMUNES.

MEDIO	INDICE DE REFRACCION APROXIMADO
Agua destilada	1.33
Alcohol etílico	1.36
Aceite de parafina	1.45
Glicerina	1.465
Aceite de trementina	1.475
Xilol	1.49
Aceite de inmersión	1.515 o 1.524
Balsamo de Canada	1.53
Monobromonaftaleno	1.655
Yoduro de Metilo	1.74

MATERIAL Y METODO.

La primer condicion, para realizar el presente trabajo, era localizar un sujeto que tuviera las siguientes características generales: a) buen estado de preservación; b) posición adecuada; c) adecuado medio de montaje; d) finisima ornamentacion y fácil identificación. Como se mencionó anteriormente, la recomendación bibliográfica, era la utilización de diatomeas. Por lo que fue necesario revisar varias muestras, tanto marinas como de agua dulce, y probar varias técnicas de montaje, dando como resultado un ejemplar del género Pleurosigma, montado sobre balsamo de Canadá.

En un microscopio Zeiss con estativo WL, al que se le cambio el prisma binocular por uno binocular-monocular, se le adaptó una cámara Nikon F2, al tubo monocular, por medio de un adptador para microscopio marca Minolta, la óptica del microscopio estaba formada por un objetivo planapocromatico 100/1.25, de inmersión en aceite, un ocular KPL 8X, un condensador de campo claro con 1.4 de apertura numérica y de inmersión en aceite, y un filtro verde con un pico de transmisión a los 546 nm, de marca Zeiss.

Se utilizaron 20 rollos de película TRI-X PAN (PX 402, lote 421 5, catálogo 600 7728, ISO 125, lata de 100 pies de formato de 35 mm. de grano muy fino y poder de resolución alto), y 20 de película PLUS-X PAN (TX 402, lote 269 1, catálogo 600 0160, ISO 400, lata de 100 pies (30.5 m.) de formato de 35 mm. de grano fino y poder de resolución mediano), con capacidad para 9 fotografías cada una.

Una vez ajustada la iluminación de Koheler, observando por medio del visor de la cámara para mayor precisión, se media la exposición correcta por medio del exposímetro de la cámara, de acuerdo a la sensibilidad de cada una de las películas. El voltaje de la lámpara del microscopio se mantuvo constante a 2.5 Ampers, durante y para cada una de las exposiciones.

A cada uno de los rollos se les asigno una clave en la que se indicaba el tipo de película y # de rollo que le correspondia. De esta manera, en cada rollo habia, al menos, 7 fotografías cada una con una exposición diferente. El criterio que se utilizó para determinar las exposiciones se baso en la lectura del exposímetro, el cual indicaba un tiempo de exposición (llamado tiempo normal), que estaba determinado por la sensibilidad de la película y la cantidad de luz que llegaba al exposímetro. Por lo tanto la exposición normal para la película plus-x, por ejemplo, fué de 1/2 segundo de exposición. Para poder obtener los datos de las curvas características, era necesario exponer la película con la mitad y el doble de la exposición normal, o sea 1/4 de segundo y 1 segundo respectivamente, lo que se conoce normalmente como darle un paso de menos y uno de mas de exposición. De esta manera, en cada rollo se tenían tres fotografías con 3, con 2 y con 1 pasos de más de exposición, respectivamente, una con exposición normal, y tres con pasos de menos, de tal manera, que en un rollo de película habia 7 fotografías con las siguientes condiciones de exposición cada una:

Fotografía #:	1	2	3	4	5	6	7
Pasos de exposición:	-3	-2	-1	normal	+1	+2	+3
Tiempo de exposición:	1/15	1/8	1/4	1/2	1	2	4
	(ejemplo PLUS-X)			segundos			

Para película TRI-X se determinaron los siguientes

tiempos: 1/60, 1/30, 1/15, 1/8 (exposición normal), 1/4, 1/2 y 1 segundo de exposición.

Una vez tomadas las fotografías se procedió al revelado de las mismas, utilizando los siguientes reveladores: HC-110 tanto en dilución "A" y en "B"; DK-50 en dilución Stock y 1:1; D-11 únicamente en dilución Stock; D-76 en dilución Stock y 1:1; Microdol-X en dilución Stock y 1:3. De igual manera se utilizaron dos tiempos de revelado, el "normal" y un sobrerivelado, con el fin de aproximarse al gamma infinito. La temperatura de revelado fue de 20o Centigrados para la mayoría de los rollos procesados, con excepción de los revelados con Microdol-X dilución 1:3 que se revelo a 22o Centigrados por recomendación del fabricante. Todos los rollos se procesaron con revelador "fresco", esto es sin usar, independientemente de la capacidad de trabajo del mismo.

Por lo que respecta a los demas pasos del procesado estos fueron de la siguiente manera y orden:

Baño detenedor: 30 segundos, a la misma temperatura que el revelador. (Solución de Acido acético gracial en proporción 3:1000 en agua)

Fijador Rápido KODAK: 3 minutos, a la misma temperatura que el revelador.

Lavado: con agua corriente, durante 1 minuto.

Aclarador de Hipo: durante 2 minutos.

Lavado: con agua corriente, durante 5 minutos.

En Photo floo: durante 1 minuto.

Secado.

Todos los reactivos se mantuvieron a temperatura constante, en baño María, durante el procesado, para evitar cambios en la temperatura.

Siguiendo estas indicaciones se obtuvieron 36 roys de película, 18 de Plus-X y 18 de Tri-X, cada uno con 7 fotografías con diferente exposición entre si, lo que da un total de $36 \times 7 = 252$ negativos distintos.

Para obtener los resultados densitometricos, de cada negativo, se requiere del uso de un densitometro, por lo que se hizo necesario implementar uno, adecuado a las necesidades y probarlo.

Para la elaboración de un densitómetro se requieren dos instrumentos fundamentales, una fuente de luz constante y una fotocelda. Como fuente de luz se utilizó una lámpara de tungsteno de 12 Volts y 25 Watts, regulada por un amperimetro y con un difusor, para homogenizar la iluminación. Como sistema de medición se utilizó un exposímetro Quantum Instruments, modelo Calcu-Light con una precisión de $1/3$ de exposición, de luz reflejada. Inmediatamente después del exposímetro se dispuso una pantalla opaca de cartón, con un recuadro, a la altura de la fotocelda del exposímetro, en donde se hizo un corte de 4×4 cm., y donde se pegó un portanegativos hecho utillizando una montura de plástico para diapositivas de 35 mm. La lámpara se ubicó, tras una serie de pruebas, con el objeto de obtener una iluminación homogenea sobre el negativo, a una distancia de 53 cm. de el portanegativos. Todas las mediciones se realizaron en dos ocasiones, para eliminar oscilaciones en el voltaje de la lámpara o en la respuesta de la fotocelda. Asi mismo, frecuentemente se revisaba el exposímetro, haciendolo trabajar en ausencia de luz, para evitar el efecto de "deslumbramiento", ya que este efecto se llega a presentar en algunas fotoceldas cuando son expuestas a una luz demasiado intensa, dando posteriormente lecturas erroneas, hasta que el efecto de

A
deslumbramiento se amortigüe, sin embargo este fenómeno no se presentó en ningún momento. (Ver apéndice C).

Una vez obtenidos los datos, se procedió al tratamiento de los mismos, obteniéndose, primeramente, la lectura del exposímetro, valor que es traducible siguiendo las especificaciones del fabricante del exposímetro, a fotocandelas. Para obtener la intensidad luminosa en unidades lux, es necesario multiplicar las fotocandelas por 10.8 (manual de operación del exposímetro Calcu Light), como factor de conversión. La transparencia se obtuvo al dividir la intensidad luminosa que dejaba pasar el negativo entre la intensidad luminosa que llegaba a la fotocelda sin negativo, y la opacidad al obtener el inverso de la transparencia ($O=1/t$); y la densidad óptica al calcular el logaritmo, en base 10, de la opacidad.

Para realizar las gráficas se obtuvo el valor de exposición multiplicando el tiempo de exposición por la intensidad luminosa que llegaba al exposímetro siendo ésta de 3985 lux. El ajuste de las rectas, para obtener la gamma, de cada una de las curvas características, se hizo por método de mínimos cuadrados.

Una vez revizados los datos se obtuvieron distintas fotografías, con diferentes sistemas de contrastado óptico para evidenciar los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Como se puede observar, en las tablas de índice de contraste, se mejoraron notablemente las gammas, de las curvas características, en comparación a las obtenidas siguiendo las recomendaciones de revelado normal, propuesta por los fabricantes de las películas y los reveladores. Así, por ejemplo, para la película Plus-X Pan, el fabricante (KODAK), recomienda usar el revelador HC-110 en una dilución B y con un tiempo de revelado de 5 minutos, a 20 grados Centígrados, con estos parametros se obtuvo una gamma igual a 0.992 en el rollo P1 y, 1.012 en el rollo P1A; mientras que utilizando el mismo revelador (HC-110), en la dilución A durante 7 1/2 minutos a 20 grados C. se obtuvo una gamma con un valor de 1.26. Estos valores nos indican, de manera cuantitativa, el incremento que se obtuvo en el contraste entre las dos imágenes.

En la gráfica 3 se puede apreciar las diferencias obtenidas entre el revelado normal de 5 minutos y el revelado forzado a 15 minutos, para el revelador HC-110, en dilución B.

La dilución A, de este mismo revelador, HC-110, es una dilución mas concentrada que la B, por esta razón el tiempo de revelado normal, recomendado por el fabricante, es de 3 1/2 minutos, obteniendose como resultado una gamma de 1.016 (grafica 4), muy semejante a la de la dilución B,

es decir la misma gamma en menos tiempo. El revelado forzado para Plus -X, con la dilución A (9 1/2 minutos), dio como resultado una de las gammas mas altas, 1.260, encontradas, en el presente trabajo, por lo que lo convierte en una de las mejores opciones, para obtener un buen contraste en fotomicrografía.

El revelador DK-50 tambien se utilizó en dos formas distintas, en dilución 1:1 y en forma concentrada o stock.

En dilución 1:1 y tiempo normal de revelado (8 min.), se obtuvo una gamma bastante alta de 1.19 y si se compara (ver gráfica 9), con la de revelado forzado en la que se obtuvo una gamma de 1.222, revelando durante 15 minutos, se puede apreciar que, no obstante, casi se duplicó el tiempo de revelado, la diferencia entre las gammas es de apenas 0.038, por lo que podemos deducir que es un revelador de alto contraste y que, para esta película, esta muy próximo al gamma infinito.

El DK-50 en dilución stock, se comporto, de manera general, como la dilución 1:1, obteniendose para el revelado normal de 5 minutos, una gamma de 1.235, y para el revelado forzado de 15 minutos, una gamma de 1.260, lo que indica que si bien se triplicó el tiempo de revelado, la diferencia entre las gammas es de tan solo 0.025, lo que confirma la sospecha de que se esta trabajando muy

próximo al gamma infinito, y que trata de un revelador de alto contraste al dar, al igual que el HC-110 dilución A, las gammas máximas obtenidas de 1.260.

El revelador D-11 es un revelador de alto contraste, y esto se comprobó en los resultados obtenidos mediante el revelado normal de 5 minutos, y el revelado forzado de 10 minutos. En ambos casos se obtuvo una gamma de 1.18, lo que nos indica que es el máximo contraste que se puede obtener con este revelador para la película Plus-X (ver gráficas 13, 14 y 15), si bien no se lograron gammas mayores de 1.260, si se obtuvo una gran densidad en los negativos.

El revelador D-76 también se utilizó en forma concentrada o stock y en dilución 1:1. En la forma stock se encontró una gamma de 0.781 para el revelado de 5 1/2 minutos, y una gamma de 1.086 para un tiempo de revelado de 15 minutos, lo que da una diferencia entre las dos de 0.305, lo que nos indica que se trata de un revelador muy versátil, pudiéndose obtener una gran variedad de gammas, si se controla el tiempo de revelado.

En la dilución 1:1 de revelador D-76, se obtuvieron resultados muy semejantes, en términos generales, a los de la dilución stock, con una diferencia entre gammas de 0.256, para revelados de 7 y 15 minutos, siendo estas las diferencias más significativas que se encontraron, entre dos tiempos de revelado, como se puede apreciar en las gráficas 18 y 21.

El revelador Microdol-X, también permite su uso en forma concentrada y en dilución 1:3, con la salvedad de que para la dilución 1:3, el fabricante recomienda una temperatura de revelado de 22 grados centígrados.

En forma stock se obtuvieron gammas de 0.714 para revelado de 7 min., y de 0.975 para revelado de 15 min., lo que nos indica una diferencia de 0.261 de índice de contraste o gamma (ver gráfica 24).

En la dilución 1:3 las gammas obtenidas fueron de 0.676 para revelado de 10 min., y de 0.912 para revelado de 17 min., dando una diferencia de 0.236, del análisis de los datos se deduce que se trata de un revelador suave, de bajo contraste, esto es claro si se observa que con este revelador en dilución 1:3, utilizado durante 10 minutos dio como resultado una gamma de 0.676, la mas baja.

En la gráfica C se pueden apreciar las diferencias entre las curvas características obtenidas, para la película Plus-X Pan, con el revelado normal, el de mayor y menor índice de contraste.

Para la película Tri-X Pan se obtuvieron los siguientes resultados: en el revelado normal o recomendado por el fabricante, o sea revelador HC-110 dilución B durante 5 minutos a 20 grados C., el índice obtenido fue de 0.779, para el revelado a 11 min. se obtuvo una gamma de 0.960., dando una diferencia entre gammas de 0.181.

Con la dilución A las gammas fueron de 0.861 para un

revelado de 3 1/2 min., y de 1.016 para un revelado de 10 min., si bien casi se triplico el tiempo de revelado, la diferencia entre las gammas es de tan solo 0.155, como se observa en la gráfica 33, ligeramente menor que con la dilución B.

Al igual que la mayoría de los reveladores, el DK-50 tambien presentó una diferencia entre gammas, de tiempo normal y forzado, bastante pobre, siendo éstas de 0.168 para la dilución 1:1 y de 0.051 para la solución de trabajo stock, resultados lógicos para un revelador energético. (ver gráficas 34 a 39).

Mientras que con el revelador D-11, utilizado durante 5 minutos, se obtuvo un índice de contraste de 1.057, y de 1.053 a 10 min.. Resulta interesante los resultados que se obtuvieron con este revelador, ya que cuando se utiliza durante 10 minutos se obtuvo un índice de 1.053, resultado ligeramente menor que cuando se utiliza por 5 minutos, y por lo tanto sería de esperarse que entre mayor tiempo de revelado se obtendría un mayor índice de contraste. Existe, sin embargo, una respuesta que explique esta rara condición y es que se está trabajando, para éste caso en particular, dentro del gamma infinito, esto es que despues de los 5 minutos de revelado, con este revelador en particular, no es posible obtener un mayor índice de contraste. Lo cual nos indica que se trata de un revelador muy energético, y la diferencia entre las gammas, de -0.004 se deba a el grado

de incertidumbre del densitómetro.

La mayor diferencia entre gammas, se encontró con el revelador D-76 en la dilución stock, ya que, para un tiempo de revelado de 8 min., la gamma fue de 0.717, y de 0.930 para un tiempo de 15 min., dando como resultado una diferencia de 0.213.

Para esta película el revelador de menor índice de contraste fue el D-76 dilución 1:1, durante 10 minutos, en donde la gamma fue de 0.660 (ver gráfica 46), menor aun que para la película Plus-X Pan, con el mismo revelador, en dilución 1:1. Lo que nos vuelve a indicar que se trata de un revelador suave.

Por las mismas características de las películas, el tamaño del grano principalmente, es totalmente natural que se obtuvieran mayores índices de contraste con la película de grano mas fino PLUS-X PAN, que con la de grano mas grueso TRI-X PAN .

Los resultados encontrados no quieren decir que el fabricante este equivocado en cuanto a sus indicaciones para el correcto procesado de las películas, sino que estas indicaciones estan hechas para obtener resultados "normales" en fotografías "normales", esto es que no se trata de películas especialmente diseñadas para la fotomicrografía y por lo tanto no estan contempladas las especiales condiciones que tiene esta especial rama de la fotografía.

Es importante hacer notar que los valores de densidad se obtuvieron con el densitometro diseñado por el autor y que estos valores corresponden a la densidad difusa del negativo. La importancia de este dato radica en estos valores índices de contraste serian proporcionalmente mayores si el densitómetro diera densidades especulares, esto se debe al conocido efecto Callier.

Cabe resaltar algunos puntos de importancia con respecto al funcionamiento del densitometro diseñado para realizar este trabajo, por ejemplo, las curvas características obtenidas con los revelados normales tienen muy poca variación con respecto a las presentadas por el fabricante lo que da un alto grado de confiabilidad al densitómetro utilizado, esto significa una importante aportación al permitir la implementación de instrumentos, indispensables en la sensitometría, a partir de equipo básico en fotomicrografía. Sin embargo es importante mencionar que no se pudo establecer la precisión del exposímetro para detectar diferencias de luminosidad, por desconocerse el dato.

Con respecto al análisis de los reveladores cabe mencionar que se pudo apreciar que los reveladores mas enérgicos no necesariamente produjeron el mayor índice de contraste y que por lo tanto no necesariamente al incrementarse el mismo sea necesario disminuir el poder de

resolución de la película. El ejemplo resulta claro al comparar los resultados obtenidos con la película PLUS-X PAN al ser procesada con un revelador energético D-11 en comparación con reveladores suaves mas concentrados HC-110 dilución "A" y DK-50 dilución stock .

Cabria mencionar que para complementar este trabajo seria necesario el aplicar una variedad mayor de tiempos de revelado para determinar con exactitud los tiempos optimos de los mismos, asi como de películas sin exposición, pero igualmente procesadas para establecer, de igual manera en nivel de velo de cada una.

Un comentario importante para concluir el presente trabajo surge de un problema que se presento durante la realizacion del mismo, y este es que durante la toma de fotografías se detecto una constante y significativa vibración, producida por equipo de termoregulación que permanentemente esta funcionando y que se localiza en laboratorios aledaños a donde se realizó este trabajo. Si se considera que si una persona es capas de detectarlo resulta por demas importante, esta vibración, para los sistemas fotomicrográficos de gran precisión y sobretodo cuando se esta trabajando con tiempos de exposición mayores a 1/15 de segundo. Por lo tanto una recomendación importante para la realizacion de un trabajo de fotomicrografia es considerar los volúmenes de vibración existentes en el medio y procurar siempre una forma de aislamiento adecuada para estos sistemas.

CONCLUSIONES.

- Los resultados fotomicrográficos se podran optimizar con el empleo adecuado de las películas comerciales de blanco y negro.

- La sensitometría, es una herramienta indispensable, para tener un buen control sobre el proceso fotográfico y obtener un mejor rendimiento en el registro de imágenes a través del microscopio.

- En el caso de la película Plus-X Pan, los índices de contraste mas altos que se encontraron fueron utilizando el revelador HC-110 en dilución A durante 9 1/2 min., y con el revelador DK-50 en dilución stock durante 15 minutos.

- De igual manera, sobresale el hecho de que los índices de contraste máximo logrados, estan por encima del valor de 1, lo que significa que las escalas de tonalidad de la fotografía estan más separadas que las diferencias de tonalidad del sujeto que ha sido fotografiado y esto, en fotomicrografía es de vital importancia dado el poco contraste que tienen, en la mayoría de los casos los sujetos mismos.

- Por de mas importantes, son los resultados en los que se obtuvo la gamma mas baja. Para la película Plus-X Pan, los índices de contraste mas bajos se lograron con

el revelador Microdol-X en una dilución 1:3 durante 10 minutos a 22 grados C. El bajo índice de contraste puede ser muy útil cuando el sujeto a fotografiar tenga mucho contraste, o cuando por la técnica de iluminación ocupada lo propicie, por ejemplo el campo obscuro, la polarización o técnicas de tinción de mucho contraste.

- En el caso de la película Tri-X Pan la gamma mas alta se obtuvo con el revelador D-11, cuando se proceso durante 5 minutos.

- Para la película Tri-X Pan el revelador que presento la gamma mas baja fue el D-76 en dilución 1:1 durante 10 min.

- Los datos de procesado normal que brinda el fabricante, para las películas Plus-X y Tri-X, no son, necesariamente, los mas adecuados cuando se utilizan estas películas en fotomicrografia.

- El densitometro que se diseño, para el desarrollo de este trabajo, proporcionó información completa y de bastante calidad.

BIBLIOGRAFIA.

- Arnold, C.; Rollis, P.; Stewart, J. 1974. *Fotografía Aplicada*. Ed Omega. Barcelona. pp 605.
- Arredondo, A. A., Martínez-Mena, A. 1976. *Algunos Sistemas de Contrastado Optico aplicados al estudio de los protozoarios de vida libre*. Tesis Facultad de Ciencias UNAM.
- Arriaga, J. 1869. *El Microscopio y la Fotografía Aplicados al Estudio de las Ciencias Naturales*. Memoria. La Naturaleza. pp. 27-36
- Begunov, B. N.; Zakaznov, N. P. 1976. *Teoría de Sistemas Opticos*. Ed. MIR. Moscu. pp. 454.
- Bold, H. 1980. *Morphology of Plants*. Ed. Harper and Row. New York. pp. 668.
- Bradbury, S. 1976. *The optical Microscope in Biology*. The Camelot Press Ltd. London. pp. 76.
- Bourrelly, J. 1968. *Les Algues d'eau douce*. Ed. N. Boubee C. Paris. pp. 245-258.
- Clerc, L. P. 1954. *La Técnica Fotográfica*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona. pp. 733.
- Cosslett, V. E. 1968. *Modern Microscopy*. Cornell University Press. Ithaca, N. Y. pp. 190.
- Cox, A. 1979. *Optica Fotográfica*. Ed Omega. Barcelona. pp. 540.
- Cubberly, M. G. 1968. *Preparation of Thin Sections for Photomicrography*. *Photographic Applications*. Summer 1968. pp. 46-52.
- Davis, Ph. 1979. *Photography*. Brown Co. Publishers. Iowa pp. 336.
- Jacobson, J. 1978 *El Revelado*. La técnica del Negativo. Ed. Omega. Barcelona. pp 391.

-Dragesco, Jean. 1983. Elements Pratiques de Microphotographie et de Macrophotographie. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. pp. 52.

-Fritsh, S. 1961. The structure and reproduction of the Algae. Cambridge. pp. 564-591.

-Haselmann, H. 1961. Colour Photomicrography Experience and Practical Application. Journal of the Royal Microscopical Society. Vol. 79, Pt 4, February. pp. 277-286.

-KODAK. . Papeles Fotograficos Kodak para impresiones B/N. Publicacion Kodak No. XG-1s. México pp. 29.

----- . Densitometría Práctica. Publicaciones Kodak No. E-59Sp. Mexico. pp. 12.

----- . Revelador Kodak HC-110, el Revelador moderno en películas blanco y negro. Publicacion Kodak J-13sp. Mexico. pp. 6.

----- . 1976. Practical processing in Black-and-White photography. Kodak publication No. P-229. USA. pp.21.

----- . 1974. Photography through the Microscope. Kodak publication No. P-2. Rochester, N. Y. pp. 76.

----- . 1970. Techniques of Microphotography (Precision photography at extreme reductions). Kodak publications No. P-52. Rochester, N. Y. pp.29

----- . 1974. Photomacrography. Kodak publication No. N-12B. Rochester, N.Y. pp. 89.

----- . Productos químicos y fórmulas (para fotografía en blanco y negro). Publicaciones Kodak No. XJ-1s. México. pp. 36.

- Kneller, F. R. 1984. Black and White printing for reproduction. Photomethods, 27 (6): 15-18 (Junio).
- Laporte, Leo F. 1974. Los ambientes antiguos. Ed. Omega. Barcelona. pp.116.
- Langford, M 1976. Tratado de Fotografía, un texto avanzado para profesionales. Ed. Omega. Barcelona. pp. 485.
- Levenson, G.I.P. 1961. The development of a silver halide grain. Photographic Science. The Focal Library. The Focal Press. London. pp. 183-196.
- Lobel, L.; Dubois, M. 1973. Manual de Sensitometría. Ed. Omega. Barcelona. pp. 238.
- Locquin, M., Langeron, M. 1985. Manual de Microscopía. Ed. Labor. Barcelona, España. pp. 373.
- Michel, K. 1957. Consideraciones sobre el desarrollo del aparato microfotografico. Zeiss Ed. Revista R26. Año V, Diciembre. Alemania. pp. 115-119.
- Möllring, F. K. 1952. La iluminación en el microscopio. Revista Zeiss 14 (61). pp. 66-69.
- Möllring, F. K. 1971. El microscopio desde el principio. Ed. Carl Zeiss. Oberlochen. pp. 64.
- Notas de la Postgraduate Medical School, Londres. 1957. La Microfotografía en la Hematología. Zeiss Ed. Revista R33. Septiembre, Año VII. Alemania. pp 60-61.
- Patrick, R. 1966. The Diatoms of the United States. J.I. Berkeley. pp. 1-13.
- Piller, H. 1957. Aumento de contraste en la Microscopía con luz incidente. Zeiss Ed. Revista R34. Año VII. Diciembre. pp 87-91. Alemania.
- Ruckman, J.; Larner, E.; Smith, C. 1976 Photography in Materials Science. Photographic Techniques in Scientific Research. (Vol 2). Academic Press. London. pp. 233-400.

- Smith, G. M. 1950. Fresh Water algae of the United States. Ed. McGraw Hill Co. San Francisco. pp. 233.
- Sokal, Robert R.; Rohlf, F. James. 1973. Introduction to Biostatistics. Freeman and Co. Pub. San Francisco. pp. 368.
- Southworth, H. N. 1975. Introduction to Modern Microscopy. Wykeham Publications. London. pp. 217.
- Stevens, G. W. W. 1957. Microphotography, Photography at extreme resolution. John Wiley & sons Inc. New York. pp. 326.
- Zeizz. Camara adaptable para Microfotografía. Instrucciones para el manejo. Instructivo publicado por Zeizz. G 41-410-s. Alemania. pp. 15.
- Pittaro, E. M. 1979. The Compact Photo-Lab-Index. Morgan & Morgan, Inc. New York. pp. 720.
- Kodak. 1969. Películas Kodak para fotografía profesional en blanco y negro. Publicaciones Kodak XF-56. pp. 40.

APENDICE A

FORMULAS REVELADORES.

De las fórmulas de reveladores analizados en el presente trabajo, solo se han publicado las de el D-11, el D-76 y el DK-50, el fabricante (Kodak) sigue sin publicar las fórmulas de los reveladores Microdol-X y HC-110 (Langford 1972 y 1978).

Segun Kodak (1973), Langford (1972 y 1978), Photo Lab Index (1979) y Jacobson (1978) las fórmulas y características de los reveladores son las siguientes:

Revelador Kodak D-11.

Agua	500.0 ml.
Kodak Elon (Metol)	1.0 gramos
Sulfito de Sodio	75.0 gramos
Hidroquinona	9.0 gramos
Carbonato de Sodio	30.0 gramos
Bromuro de Potasio	5.0 gramos
Agua para completar	1.0 litros

Es un revelador fuerte y limpio para películas y placas, con buenas cualidades de conservación. Se recomienda para películas de alto contraste en la reproducción de escritos, trabajos de linea y similares.

Revelador Kodak DK-50.

Agua	500.0 ml.
Kodak Elon (Metol)	2.5 gramos
Sulfito de Sodio	30.0 gramos
Hidroquinona	2.5 gramos
Kodalk*	10.0 gramos
Bromuro de Potasio	0.5 gramos
Agua para completar	1.0 litros

*Kodalk = metaborato de sodio

Es un revelador muy limpio y moderadamente rápido,

puede usarse diluido o concentrado, se recomienda para retrato.

Revelador Kodak D-76.

Agua	750.0 ml.
Kodak Elon (Metol)	2.0 gramos
Sulfito de Sodio	100.0 gramos
Hidroquinona	5.0 gramos
Borax	2.0 gramos
Agua para completar	1.0 litros

Revelador que utiliza la maxima sensibilidad de la emulsión y dar maximo detalle a las sombras, con contraste normal. Produce grano moderadamente fino y gran latitud de revelado. Para fotografía artística.

Revelador Kodak HC-110.

Es una solución muy activa para revelados rapidos. Produce imágenes nítidas, grano moderadamente fino, máximo detalle en las sombras y extensa escala tonal, sin menoscabar la sensibilidad de la película, excelente latitud de revelado y produce poco velo en el forzado.

Revelador Kodak Microdol-X.

Excelente revelador de grano fino, produce baja granulación y máxima definición en los detalles, produce muy poco velo, recomendado para grandes ampliaciones.

RESULTADOS DENSITOMETRICOS PARA PELICULA PLUS-X PAN

La primer lectura para el densitometro fue sin negativo y se obtuvieron los siguientes resultados:

EXPOSICION (en segs.)	LECTURA DENSITOMETRO	INTENSIDAD LUMINOSA (en lux)	TRANSPARENCIA	OPACIDAD	DENSIDAD OPTICA
--------------------------	-------------------------	------------------------------------	---------------	----------	--------------------

0	62	442600.00	100000	1.0000	0.00000
---	----	-----------	--------	--------	---------

TABLA I (Rollo P1 Revelador HC-110, dilucion B, 5 minutos, 20° C.)

1/15	56	11240.00	0.25121	3.9805	0.59994
1/8	53	56160.00	0.12682	7.8846	0.89678
1/4	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/2	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
2	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866

TABLA II (Rollo P2 Revelador HC-110, dilucion B, 15 minutos, 20° C.)

1/15	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/8	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/4	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/2	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
2	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521
4	29	216.00	0.00048	2050.0000	3.31175

TABLA III (Rollo P3 Revelador HC-110, dilucion A, 3 1/2 minutos, 20° C.)

1/15	55	98560.00	0.20000	5.0000	0.63897
1/8	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/4	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/2	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
2	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175
4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866

TABLA IV (Rollo P4 Revelador HC-110, dilucion A, 9 1/2 minutos, 20° C.)

1/15	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/8	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/4	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/2	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175
1	35	874.80	0.00197	506.1728	2.70429
2	32	432.00	0.00097	1025.0000	3.01072
4	29	216.00	0.00048	2050.0000	3.31175

ESTE TEXTO NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

EXPOSICION (en segs.)	LECTURA DENSITOMETRO	INTENSIDAD LUMINOSA (en lux)	TRANSPARENCIA	OPACIDAD	DENSIDAD OPTICA
--------------------------	-------------------------	------------------------------------	---------------	----------	--------------------

TABLA V (Rollo P5 Revelador DK-50, dilucion 1:1, 8 minutos, 20° C.)

1/15	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/8	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/4	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/2	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
2	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
4	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521

TABLA VI (Rollo P6 Revelador DK-50, dilucion 1:1, 15 minutos, 20° C.)

1/15	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/8	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/4	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/2	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
2	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672
4	30	270.00	0.00060	1640.0000	3.21484

TABLA VII (Rollo P7 Revelador DK-50, dilucion stock, 5 minutos, 20° C.)

1/15	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/8	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/4	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/2	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
2	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672
4	32	432.00	0.00097	1025.0000	3.01072
8	28	172.80	0.00039	2562.5000	3.40866

TABLA VIII (Rollo P8 Revelador DK-50, dilucion stock, 15 minutos, 20° C.)

1/15	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/8	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/4	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1/2	37	1404.00	0.00317	315.3846	2.49884
1	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672
2	31	345.60	0.00078	1281.2500	3.10763
4	28	172.80	0.00039	2562.5000	3.40866

TABLA IX (Rollo P9 Revelador D-II, dilucion stock, 5 minutos, 20° C.)

1/15	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/8	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1/2	35	874.80	0.00197	506.1723	2.70429
1	32	432.00	0.00097	1025.0000	3.01072
2	29	216.00	0.00048	2050.0000	3.31175
4	27	120.40	0.00031	3153.8461	3.49884

EXPOSICION (en segs.)	LECTURA DENSITOMETRO	INTENSIDAD LUMINOSA (en lux)	TRANSPARENCIA	OPACIDAD	DENSIDAD OPTICA
--------------------------	-------------------------	------------------------------------	---------------	----------	--------------------

TABLA X (Rollo P10 Revelador D-11, dilucion stock, 10 minutos a 20°C)

1/15	46	10800.00	0.02439	410.000	1.61278
1/8	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1/4	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
1/2	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521
1	30	270.00	0.00069	1640.0000	3.21484
2	27	120.40	0.00031	3153.8461	3.49884
4	25	86.40	0.00019	5125.0000	3.70969

TABLA XI (Rollo P11 Revelador D-76, dilucion stock, 5 1/2 minutos a 20°C)

1/15	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/8	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/4	47	14040.00	0.03170	31.5354	1.49884
1/2	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1	42	4320.00	0.00875	102.5000	2.01072
2	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866

TABLA XII (Rollo P12 Revelador D-76, dilucion stock, 15 minutos a 20°C)

1/15	46	10800.00	0.02439	410.000	1.61278
1/8	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1/2	34	691.20	0.00156	640.9104	2.80672
1	31	345.60	0.00078	1281.2500	3.10763
2	29	216.00	0.00048	2050.0000	3.31175
4	27	140.40	0.00031	3153.8461	3.49884

TABLA XIII (Rollo P13 Revelador D-76, dilucion 1:1, 7 minutos a 20°C)

1/15	53	56160.00	0.12682	78.246	0.89678
1/8	51	35640.00	0.08048	124.242	1.09426
1/4	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/2	46	10800.00	0.02439	410.000	1.61278
1	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
2	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
4	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781

TABLA XIV (Rollo P14 Revelador D-76, dilucion 1:1, 15 minutos a 20°C)

1/15	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/8	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/4	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/2	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175
1	35	874.80	0.00197	506.1726	2.70429
2	34	691.20	0.00156	640.9104	2.80672
4	31	345.60	0.00078	1281.2500	3.10763

EXPOSICION LECTURA INTENSIDAD TRANSPARENCIA OPACIDAD DENSIDAD
(en segs.) DENSITOMETRO LUMINOSA (en lux) OPTICA

TABLA XV (Rollo P15 Revelador Microdol-X, dilucion stock, 7 minutos a 20° C.)

1/15	56	11240.00	0.25121	3.9205	0.59994
1/8	54	7020.00	0.15853	6.3176	0.79987
1/4	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/2	49	2160.00	0.04876	20.5000	1.31175
1	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
2	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
4	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381

TABLA XVI (Rollo P16 Revelador Microdol-X, dilucion stock, 15 minutos a 20° C.)

1/15	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/8	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/4	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1/2	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
2	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521
4	31	345.60	0.00078	1281.2500	3.01763

TABLA XVII (ROLLO P17 Revelador Microdol-X, dilucion 1:3, 10 min. a 22° C.)

1/15	55	88560.00	0.20000	5.0000	0.69897
1/8	53	56160.00	0.12682	7.8846	0.89678
1/4	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/2	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
2	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
4	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381

TABLA XVIII (ROLLO P18 Revelador Microdol-X, 17 min. a 22° C.)

1/15	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/8	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/4	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/2	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175
2	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
4	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672

RESULTADOS DENSITOMETRICOS PARA PELICULA TRI-X PAN

La primer lectura para el densitometro fue sin negativo y se obtuvieron los siguientes resultados:
EXPOSICION LECTURA INTENSIDAD TRANSPARENCIA OPACIDAD DENSIDAD
 (en segs.) **DENSITOMETRO LUMINOSA** **OPTICA**
 (en lux)

0	62	44200.00	100000	10000	0.00000
---	----	----------	--------	-------	---------

TABLA XIX (Rollo T1 Revelador HC-110, dilucion B, 5 min. a 20° C.)

1/60	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/30	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/15	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/8	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/4	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/2	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763

TABLA XX (Rollo T2 Revelador HC-110, dilucion B, 11 min. a 20° C.)

1/60	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/30	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/15	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/8	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/4	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1/2	37	1404.00	0.00317	315.3846	2.49884
1	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672

TABLA XXI (Rollo T3 Revelador HC-110, dilucion A, 3 1/2 min. a 20° C.)

1/60	53	56160.00	0.12682	7.8846	0.89678
1/30	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/15	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/8	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/4	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/2	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866

TABLA XXII (Rollo T4 Revelador HC-110, dilucion A, 10 min. a 20° C.)

1/60	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/30	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/15	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/8	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1/4	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
1/2	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521
1	31	345.60	0.00078	1281.2500	3.10763

EXPOSICION LECTURA INTENSIDAD TRANSPARENCIA OPACIDAD DENSIDAD
(en segs.) DENSITOMETRO LUMINOSA OPTICA
(en lux)

TABLA XXIII (Rollo T5 Revelador DK-50, dilucion 1:1, 6 min. a 20⁰ C.)

1/60	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/30	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/15	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/8	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/4	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/2	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1	40	2808	0.00634	157.6922	2.19781

TABLA XXIV (Rollo T6 Revelador DK-50, dilucion 1:1, 15 min. a 20⁰ C.)

1/60	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/30	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.43884
1/15	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/8	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1/4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1/2	35	874.80	0.00197	506.1728	2.70429
1	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521

TABLA XXV (Rollo T7 Revelador DK-50, dilucion stock, 5 min. a 20⁰ C.)

1/60	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/30	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/15	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/8	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/4	40	2808.00	0.00634	157.692	2.19781
1/2	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1	35	874.80	0.00197	506.1728	2.70429

TABLA XXVI (Rollo T8 Revelador DK-50, dilucion stock, 15 min. a 20⁰ C.)

1/60	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/30	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/15	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1/8	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175
1/4	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
1/2	33	550.80	0.00124	803.9215	2.90521
1	31	345.60	0.00078	1281.2500	3.10763

TABLA XXVII (Rollo T9 Revelador D-11, dilucion stock, 5 min. a 20⁰ C.)

1/60	51	35640.00	0.08048	12.4242	1.09426
1/30	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/15	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/8	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1/4	37	1404.00	0.00317	315.3846	2.49884
1/2	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672
1	32	432.00	0.00097	1025.0000	3.01072

EXPOSICION LECTURA INTENSIDAD TRANSPARENCIA OPACIDAD DENSIDAD
 (en segs.) DENSITOMETRO LUMINOSA OPTICA
 (en lux)

TABLA XXVIII (Rollo T10 Revelador D-11, dilucion stock, 10 min. a 20^o C.)

1/60	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/30	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/15	41	3456.00	0.00760	128.1250	2.10763
1/8	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1/4	35	874.80	0.00197	506.1728	2.70429
1/2	32	432.00	0.00097	1025.0000	3.01072
1	30	270.00	0.00060	1640.0000	3.21484

TABLA XXIX (Rollo T11 Revelador D-76, dilucion stock, 8 min. a 20^o C.)

1/60	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/30	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/15	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/8	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/4	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/2	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763

TABLA XXX (Rollo T12 Revelador D-76, dilucion stock, 15 min. a 20^o C.)

1/60	51	35640.00	0.02048	12.4242	1.09426
1/30	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/15	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/8	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763
1/4	38	1728.00	0.00390	256.2500	2.40866
1/2	36	1080.00	0.00243	410.0000	2.61278
1	34	691.20	0.00156	640.8104	2.80672

TABLA XXXI (Rollo T13 Revelador D-76, dilucion H, 10 min. a 20^o C.)

1/60	53	56160.00	0.12682	7.8646	0.89678
1/30	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/15	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/8	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/4	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/2	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763

TABLA XXXII (Rollo T14 Revelador D-76, dilucion stock, 15 min. a 20^o C.)

1/60	53	56160.00	0.12682	7.8646	0.89678
1/30	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/15	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/8	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/4	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/2	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175

EXPOSICION LECTURA INTENSIDAD TRANSPARENCIA OPACIDAD DENSIDAD
(en segs.) DENSITOMETRO LUMINOSA OPTICA
(en lux)

TABLA XXXIII (Rollo T15 Revelador Microdol-X, dilucion stock, 10 1/2 min a 20° C.)

1/60	55	88560.00	0.20000	5.0000	0.69897
1/30	52	44280.00	0.10000	10.0000	1.00000
1/15	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/8	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/4	46	10800.00	0.02439	41.0000	1.61278
1/2	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381

TABLA XXXIV (Rollo T16 Revelador Microdol-X, dilucion stock, 15 min. a 20° C.)

1/60	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/30	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/15	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/8	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/4	43	5400.00	0.01219	81.9999	1.91381
1/2	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175

TABLA XXXV (Rollo T17 Revelador Microdol-X, dilucion 1:3, 16 min. a 22° C.)

1/60	54	70200.00	0.15853	6.3076	0.79987
1/30	50	28080.00	0.06341	15.7692	1.19781
1/15	48	17280.00	0.03902	25.6250	1.40866
1/8	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/4	44	7020.00	0.01585	63.0769	1.79987
1/2	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1	41	3456.00	0.00780	128.1250	2.10763

TABLA XXXVI (Rollo T18 Revelador Microdol-X, dilucion 1:3, 21 min. a 22° C.)

1/60	53	56160.00	0.12682	7.8846	0.89678
1/30	49	21600.00	0.04878	20.5000	1.31175
1/15	47	14040.00	0.03170	31.5384	1.49884
1/8	45	8640.00	0.01951	51.2500	1.70969
1/4	42	4320.00	0.00975	102.5000	2.01072
1/2	40	2808.00	0.00634	157.6922	2.19781
1	39	2160.00	0.00487	205.0000	2.31175

AJUSTE POR EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS

Para el correcto análisis de los resultados fue necesario ajustar los puntos dentro de una recta, para de esta manera obtener la pendiente y por lo tanto la gamma (γ) de cada uno de los rollos procesados.

El metodo de ajuste de mínimos cuadrados se realiza en función de la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$$

en donde: m = a la pendiente de la recta, y por lo tanto a la γ de la película.

$$x = (x - \bar{x})$$

$$y = (y - \bar{y})$$

X = valores de exposición (intensidad luminosa por tiempo)

Y = valores de la lectura del densitómetro

\bar{x} = a la media de los valores de X

\bar{y} = a la media de los valores de Y

$\sum xy$ = a la sumatoria (Σ) de $x.y$

$\sum x^2$ = a la sumatoria (Σ) de $x.x$

X	x	x ²	Y	y	xy
ROLLO P1 (ver gráfica 1)					
2.43	-0.87	0.76	0.60	-0.85	0.74
2.70	-0.60	0.36	0.90	-0.55	0.33
3.00	-0.03	0.001	1.09	-0.36	0.01
3.30	0.00	0.00	1.41	-0.04	0.00
3.60	0.30	0.09	1.71	0.26	0.08
3.90	0.60	0.36	2.01	0.56	0.34
4.20	0.90	0.81	2.41	0.96	0.86
Σ 23.13	0.30	2.38	10.13	-0.02	2.36
media 3.30			1.45		
$m = 2.36/2.38 = .992$					
ROLLO P1A					
los valores son los mismos			0.60	-0.88	0.76
para X, x, x^2			0.90	-0.58	0.35
			1.20	-0.28	0.01
			1.41	-0.07	0.00
			1.71	0.23	0.07
			2.11	0.63	0.33
			2.41	0.93	0.84
Σ		2.38	10.34	-0.02	2.41
media			1.48		
$m = 2.41/2.38 = 1.012$					
ROLLO P2 (ver gráfica 2)					
los datos son los mismos			1.09	-1.13	0.98
			1.50	-0.72	0.43
			1.91	-0.31	0.009
			2.20	-0.02	0.00
			2.61	0.39	0.12
			2.91	0.69	0.41
			3.31	1.09	0.98
Σ		2.38	15.53	-0.01	2.93
media			2.22		
$m = 2.93/2.38 = 1.231$					

X	x	x ²	y	g	xy	
ROLLO P5 (ver gráfica 4)						
	2.43	-0.87	0.76	0.70	-0.95	0.83
	2.70	-0.60	0.36	1.00	-0.65	0.39
	3.00	-0.03	0.001	1.41	-0.24	0.007
	3.30	0.00	0.00	1.71	-0.06	0.00
	3.60	0.30	0.09	2.01	0.36	0.11
	3.90	0.60	0.36	2.31	0.66	0.40
	4.20	0.90	0.81	2.41	0.76	0.68
Σ	23.13		2.38	11.55		2.42
media	3.30			1.65		
$m = 2.42/2.38 = 1.016$						

ROLLO P4 (ver gráfica 5)					
los resultados son los mismos					
			1.0	-1.8	1.03
			1.50	-0.78	0.47
			2.01	-0.27	0.008
			2.31	0.03	0.00
			2.70	0.42	0.13
			3.01	0.73	0.44
			3.31	1.03	0.93
Σ		2.38	15.94		3.01
media			2.28		
$m = 3.01/2.38 = 1.26$					

ROLLO P5 (ver gráfica 7)					
los resultados son los mismos					
			0.80	-1.06	0.92
			1.09	-0.77	0.42
			1.50	-0.36	0.01
			1.91	0.05	0.00
			2.20	0.34	0.10
			2.61	0.75	0.45
			2.91	1.05	0.94
Σ		2.38	13.02		2.84
media			1.86		
$m = 2.84/2.38 = 1.19$					

ROLLO P6 (ver gráfica 8)					
los datos son los mismos					
			1.00	-1.09	0.95
			1.41	-0.68	0.41
			1.71	-0.38	0.01
			2.11	0.02	0.00
			2.41	0.32	0.10
			2.81	0.72	0.43
			3.21	1.12	1.01
Σ		2.38	14.66		2.91
media			2.09		
$m = 2.91/2.38 = 1.222$					

X	x	x ²	Y	y	xy	
ROLLO P7 (3 datos) (ver gráfica 10)						
2.43	-1.02	1.04	0.80	-1.38	1.41	
2.70	-0.75	0.56	1.20	-0.98	0.73	
3.00	-0.45	0.20	1.71	-0.47	0.21	
3.30	-0.15	0.02	2.11	-0.07	0.001	
3.60	0.15	0.02	2.41	0.23	0.03	
3.90	0.45	0.20	2.81	0.63	0.28	
4.20	0.75	0.56	3.01	0.83	0.62	
4.50	1.05	1.10	3.41	1.23	1.29	
Σ	27.53	0.003	3.7	17.45	0.02	4.57
media	3.45		2.18			
$m = 4.57/3.7 = 1.235$						
ROLLO P8 (ver gráfica 11)						
los datos son los mismos						
			1.20	-1.19	1.04	
			1.61	-0.78	0.47	
			2.11	-0.28	0.008	
			2.50	0.11	0.00	
			2.81	0.42	0.13	
			3.11	0.72	0.43	
			3.41	1.02	0.92	
Σ		2.38	16.75		3.00	
media			2.39			
$m = 3.00/2.38 = 1.26$						
ROLLO P9 (ver gráfica 13)						
los datos son los mismos						
			1.41	-1.20	1.04	
			1.91	-0.71	0.43	
			2.41	-0.22	0.006	
			2.70	0.09	0.00	
			3.01	0.40	0.12	
			3.31	0.70	0.42	
			3.50	0.89	0.80	
Σ		2.38	16.25		2.81	
media			2.61			
$m = 2.81/2.38 = 1.18$						
ROLLO P10 (ver gráfica 14)						
los datos son los mismos						
			1.61	-1.20	1.04	
			2.11	-0.70	0.42	
			2.61	-0.20	0.006	
			2.91	0.10	0.00	
			3.21	0.40	0.12	
			3.50	0.69	0.41	
			3.71	0.90	0.81	
Σ		2.38	19.66			
media			2.81			
$m = 2.81/2.38 = 1.18$						

X	x	x^2	Y	y	xy
ROLLO P11 (ver gráfica 16)					
los resultados son los mismos					
			100	-0.75	0.65
			131	-0.44	0.26
			150	-0.25	0.007
			180	0.05	0.00
			201	0.26	0.08
			220	0.45	0.27
			241	0.66	0.59
Σ		2.38	12.23		1.86
media			175		
$m = 1.86/2.38 = 0.781$					
ROLLO P12 (ver gráfica 17)					
los datos son los mismos					
			161	-1.07	0.99
			201	-0.67	0.40
			241	-0.27	0.008
			281	0.13	0.00
			311	0.43	0.13
			331	0.63	0.35
			350	0.82	0.74
Σ		2.38	18.76		2.59
media			268		
$m = 2.59/2.38 = 1.088$					
ROLLO P13 (ver gráfica 19)					
los datos son los mismos					
			0.90	-0.66	0.57
			1.89	-0.47	0.28
			1.31	-0.25	0.007
			1.61	0.05	0.00
			1.80	0.24	0.07
			2.01	0.45	0.27
			2.20	0.64	0.58
Σ		2.38	10.92		1.78
media			156		
$m = 1.78/2.38 = 0.748$					
ROLLO P14 (ver gráfica 20)					
los datos son los mismos					
			131	-0.97	0.84
			171	-0.57	0.34
			201	-0.27	0.006
			231	0.03	0.00
			270	0.42	0.13
			281	0.53	0.32
			311	0.83	0.75
Σ		2.38	15.96		2.39
media			228		
$m = 2.39/2.38 = 1.004$					

x	x	x^2	y	y	xy
ROLLO P15 (ver gráfica 22)					
los datos son los mismos					
			0.60	-0.56	0.49
			0.80	-0.46	0.28
			1.00	-0.26	0.008
			1.31	0.05	0.00
			1.50	0.24	0.07
			1.71	0.45	0.27
			1.91	0.65	0.58
Σ		2.38	8.83		1.70
media			1.26		
$m = 1.70/2.38 = 0.714$					
ROLLO P16 (ver gráfica 23)					
los datos son los mismos					
			1.41	-0.91	0.79
			1.71	-0.61	0.37
			2.11	-0.21	0.006
			2.41	0.09	0.00
			2.61	0.29	0.09
			2.91	0.59	0.35
			3.11	0.79	0.71
Σ		2.38	16.27		2.32
media			2.32		
$m = 2.32/2.38 = 0.975$					
ROLLO P17 (ver gráfica 25)					
los datos son los mismos					
			0.70	-0.63	0.55
			0.90	-0.43	0.26
			1.20	-0.13	0.004
			1.41	0.08	0.00
			1.50	0.17	0.05
			1.71	0.38	0.23
			1.91	0.58	0.52
Σ		2.38	9.33		1.61
media			1.33		
$m = 1.61/2.38 = 0.676$					
ROLLO P18 (ver gráfica 26)					
los datos son los mismos					
			1.20	-0.85	0.74
			1.50	-0.55	0.33
			1.80	-0.25	0.007
			2.11	0.06	0.00
			2.31	0.26	0.08
			2.61	0.55	0.33
			2.81	0.76	0.68
Σ		2.38	14.34		2.117
media			2.05		
$m = 2.17/2.38 = 0.912$					

X	x	x ²	Y	y	xy	
ROLLO T1 (ver gráfica 28)						
	1.82	-0.89	0.79	0.80	-0.68	0.60
	2.12	-0.59	0.35	1.00	-0.48	0.28
	2.43	-0.28	0.08	1.20	-0.28	0.08
	2.70	-0.01	0.0001	1.50	0.02	-0.0002
	3.00	0.29	0.08	1.71	0.23	0.07
	3.30	0.59	0.35	2.01	0.53	0.31
	3.60	0.89	0.79	2.11	0.63	0.56
Σ	18.97		2.44	10.33		1.90
media	2.71		1.48			
m = 1.90/2.44 = 0.779						

ROLLO T2 (ver gráfica 29)					
los datos son los mismos			1.09	-0.84	0.75
para X, x, x ²			1.41	-0.52	0.31
			1.61	-0.32	0.09
			1.91	-0.02	0.0002
			2.20	0.27	0.08
			2.50	0.57	0.34
			2.81	0.88	0.78
Σ		2.44	13.53		2.35
media			1.93		
m = 2.35/2.44 = 0.96					

ROLLO T3 (ver gráfica 31)					
los datos son los mismos			0.90	-0.79	0.70
			1.20	-0.49	0.29
			1.41	-0.28	0.08
			1.71	0.02	-0.0002
			2.01	0.32	0.09
			2.20	0.51	0.30
			2.41	0.72	0.64
Σ		2.44	11.84		2.10
media			1.69		
m = 2.10/2.44 = 0.861					

ROLLO T4 (ver gráfica 32)					
los datos son los mismos			1.31	-0.96	0.85
para X, x, x ²			1.71	-0.56	0.33
			2.01	-0.26	0.07
			2.20	-0.07	0.0007
			2.61	0.34	0.10
			2.91	0.64	0.36
			3.11	0.84	0.75
Σ		2.44	15.86		2.48
media			2.27		
m = 2.48/2.44 = 1.016					

X	x	x^2	Y	y	xy
ROLLO T5 (ver gráfica 34)					
los datos son los mismos					
			0.80	-0.76	0.66
			1.09	-0.47	0.29
			1.31	-0.25	0.07
			1.61	0.05	-0.0005
			1.80	0.24	0.07
			2.11	0.55	0.32
			2.20	0.64	0.57
Σ		2.44	10.92		1.99
media			156		
$m = 1.99/2.44 = 0.816$					
ROLLO T6 (ver gráfica 35)					
los datos son los mismos					
			1.20	-0.89	0.79
			1.50	-0.59	0.35
			1.80	-0.29	0.08
			2.11	0.02	-0.0002
			2.41	0.32	0.09
			2.70	0.61	0.36
			2.91	0.82	0.73
Σ		2.44	14.63		2.40
media			2.09		
$m = 2.40/2.44 = 0.984$					
ROLLO T7 (ver gráfica 37)					
los datos son los mismos					
			1.00	-0.89	0.79
			1.41	-0.48	0.28
			1.61	-0.28	0.08
			1.91	0.02	-0.0002
			2.20	0.31	0.09
			2.41	0.52	0.31
			2.70	0.81	0.72
Σ		2.44	13.24		2.27
media			1.89		
$m = 2.27/2.44 = 0.930$					
ROLLO T8 (ver gráfica 38)					
los datos son los mismos					
			1.31	-1.00	0.89
			1.80	-0.51	0.30
			2.11	-0.20	0.06
			2.31	0.00	0.00
			2.61	0.30	0.09
			2.91	0.60	0.35
			3.11	0.80	0.71
Σ		2.44	16.16		2.40
media			2.31		
$m = 2.40/2.44 = 0.981$					

X	x	x ²	Y	g	xy
ROLLO T9 (ver gráfica 40)					
los datos son los mismos					
			109	-1.07	0.95
			161	-0.55	0.32
			191	-0.25	0.07
			2.20	0.04	-0.0004
			2.50	0.34	0.10
			2.81	0.65	0.38
			3.01	0.85	0.76
Σ		2.44	15.13		2.50
media			2.16		
$m = 2.58/2.44 = 1.057$					
ROLLO T10 (ver gráfica 41)					
los datos son los mismos					
			131	-1.05	0.93
			180	-0.56	0.33
			2.11	-0.25	0.07
			2.41	0.05	-0.0005
			2.70	0.34	0.10
			3.01	0.65	0.38
			3.21	0.85	0.76
Σ		2.44	16.55		2.57
media			2.36		
$m = 2.57/2.44 = 1.053$					
ROLLO T11 (ver gráfica 43)					
los datos son los mismos					
			0.80	-0.76	0.68
			1.20	-0.36	0.21
			1.41	-0.15	0.34
			1.61	0.05	0.0005
			1.90	0.24	0.07
			2.01	0.45	0.26
			2.11	0.55	0.49
Σ		2.44	10.94		1.75
media			1.56		
$m = 1.75/2.44 = 0.717$					
ROLLO T12 (ver gráfica 44)					
los datos son los mismos					
			109	-0.99	0.88
			161	-0.47	0.28
			191	-0.17	0.05
			2.11	0.03	-0.0003
			2.41	0.33	0.10
			2.61	0.53	0.31
			2.81	0.73	0.65
Σ		2.44	14.55		2.27
media			2.08		
$m = 2.27/2.44 = 0.930$					

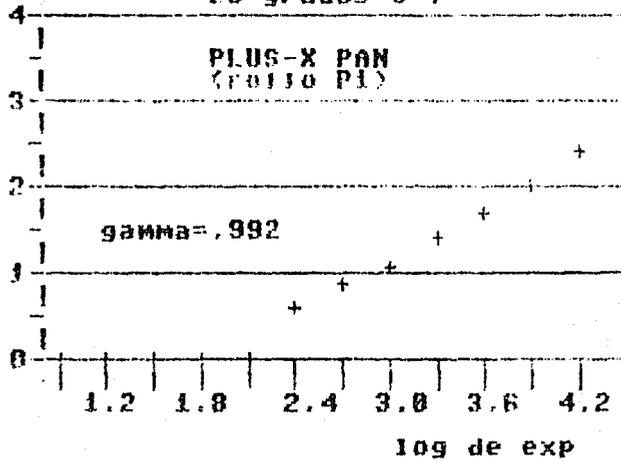
X	x	x ²	Y	y	xy
ROLLO T13 (ver gráfica 46)					
los datos son los mismos					
			0.90	-0.66	0.59
			1.20	-0.36	0.21
			1.41	-0.15	0.04
			1.61	0.05	0.0005
			1.80	0.24	0.07
			1.91	0.35	0.21
			2.11	0.55	0.49
Σ		2.44	10.94		1.61
media			1.56		
m = 1.61/2.44 = 0.660					
ROLLO T14 (ver gráfica 47)					
los datos son los mismos					
			0.90	-0.83	0.74
			1.31	-0.42	0.25
			1.61	-0.12	0.03
			1.80	0.07	-0.0007
			2.01	0.28	0.08
			2.20	0.46	0.26
			2.31	0.58	0.52
Σ		2.44	12.14		1.9
media			1.73		
m = 1.9/2.44 = 0.779					
ROLLO T15 (ver gráfica 49)					
los datos son los mismos					
			0.70	-0.68	0.60
			1.00	-0.38	0.22
			1.20	-0.18	0.05
			1.41	0.05	-0.0005
			1.51	0.23	0.07
			1.80	0.42	0.25
			1.91	0.53	0.47
Σ		2.44	9.63		1.66
media			1.35		
m = 1.66/2.44 = 0.68					
ROLLO T16 (ver gráfica 50)					
los datos son los mismos					
			0.80	-0.88	0.70
			1.31	-0.37	0.22
			1.50	-0.18	0.05
			1.71	0.03	-0.0003
			1.91	0.23	0.37
			2.20	0.52	0.31
			2.31	0.63	0.50
Σ		2.44	11.74		1.99
media			1.66		
m = 1.99/2.44 = 0.816					

X	x	x ²	Y	g	xy
ROLLO T17 (ver gráfica 52)					
los datos son los mismos					
			0.60	-0.75	0.67
			1.20	-0.35	0.21
			1.41	-0.14	0.04
			1.50	-0.05	0.0005
			1.80	0.25	0.07
			2.01	0.46	0.27
			2.11	0.56	0.50
Σ		2.44	10.83		1.76
media			1.55		
m = 1.76/2.44 = 0.721					
ROLLO T18 (ver gráfica 53)					
los datos son los mismos					
			0.90	-0.81	0.72
			1.31	-0.40	0.24
			1.50	-0.21	0.06
			1.71	0.00	0.00
			2.01	0.30	0.09
			2.20	0.49	0.29
			2.31	0.60	0.53
Σ		2.44	11.94		1.93
media			1.71		
m = 1.93/2.44 = 0.791					

H1

REV HC-110 dil "B"
20 grados C .

D
E
N
S
O
P
T
I
C
A

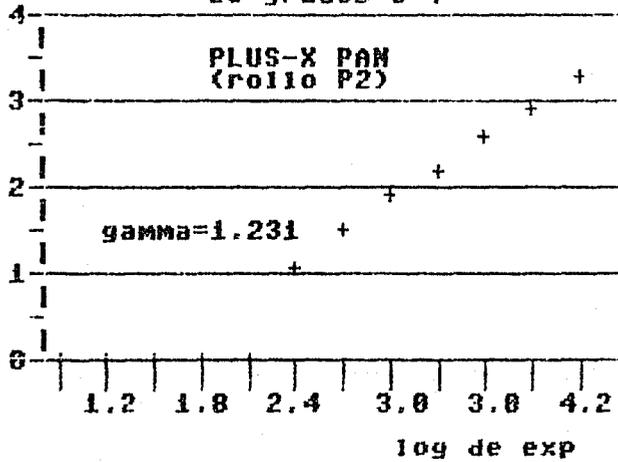


tiempo de rev: 5 min (+)

H2

REV HC-110 dil "B"
20 grados C .

D
E
N
S
O
P
T
I
C
A

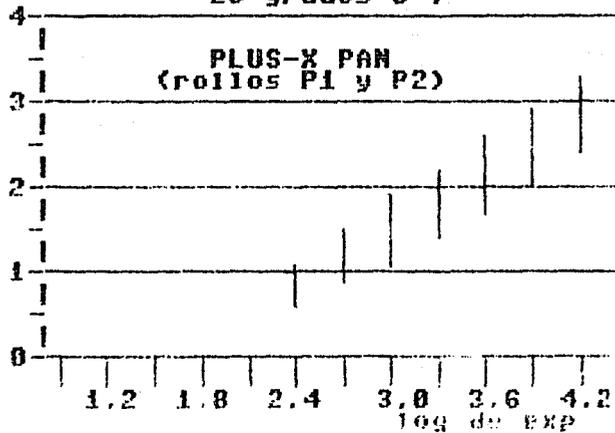


tiempo de rev: 15 min (+)

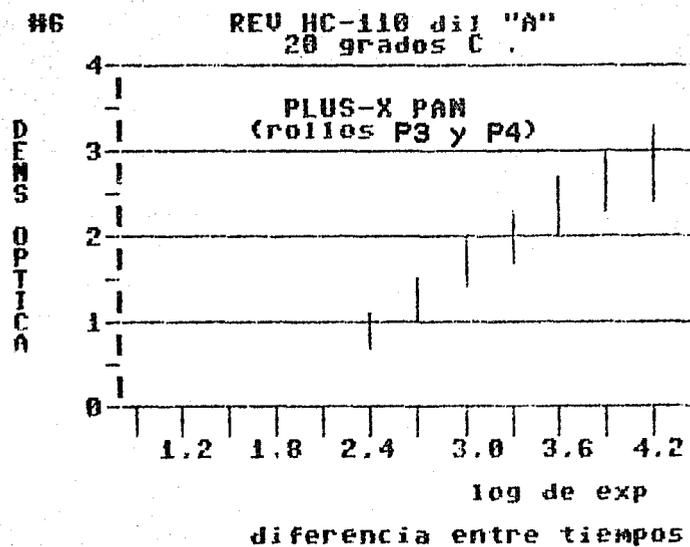
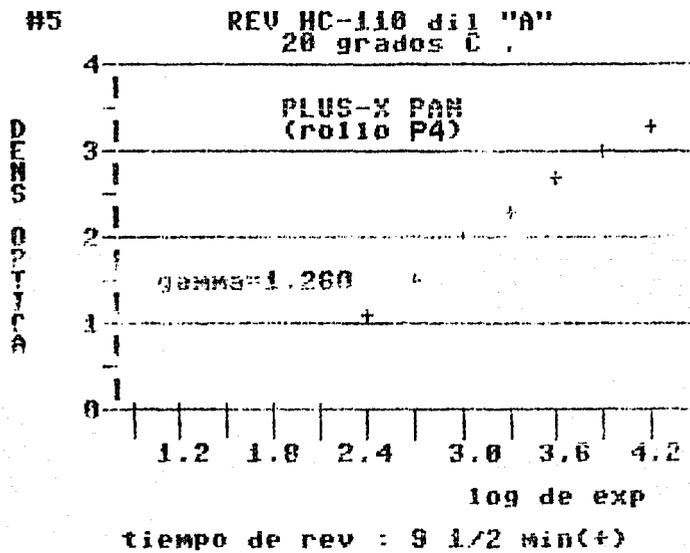
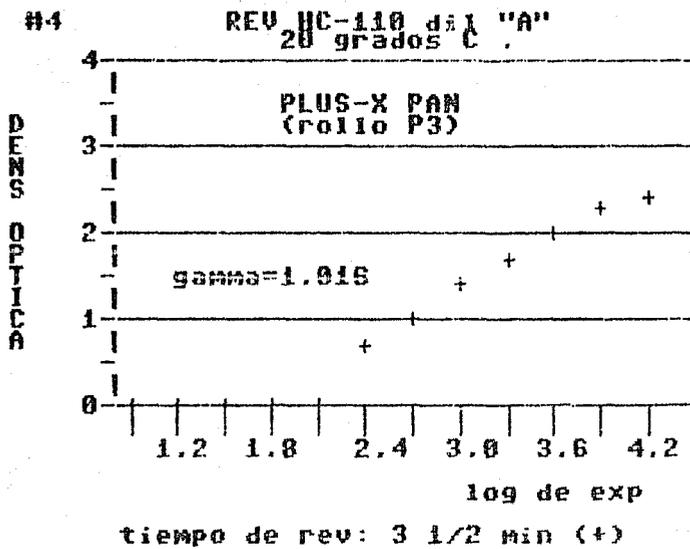
H3

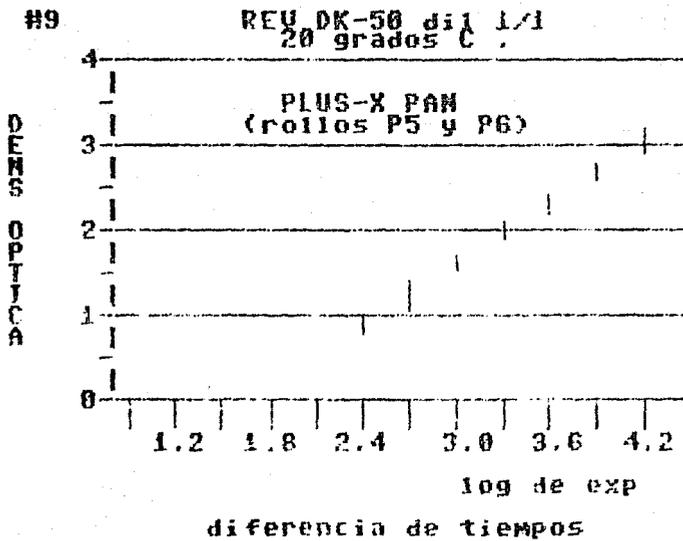
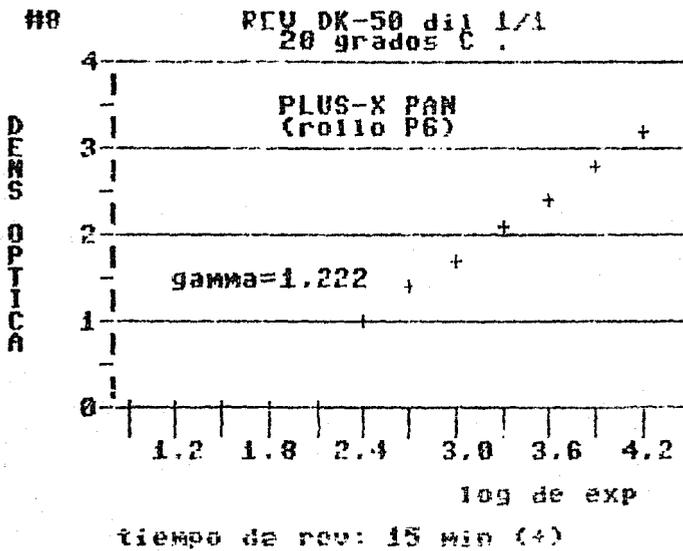
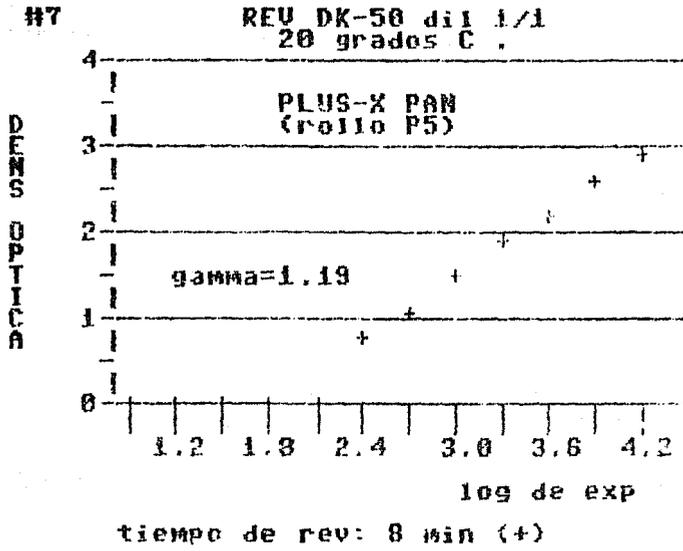
REV HC-110 dil "B"
20 grados C .

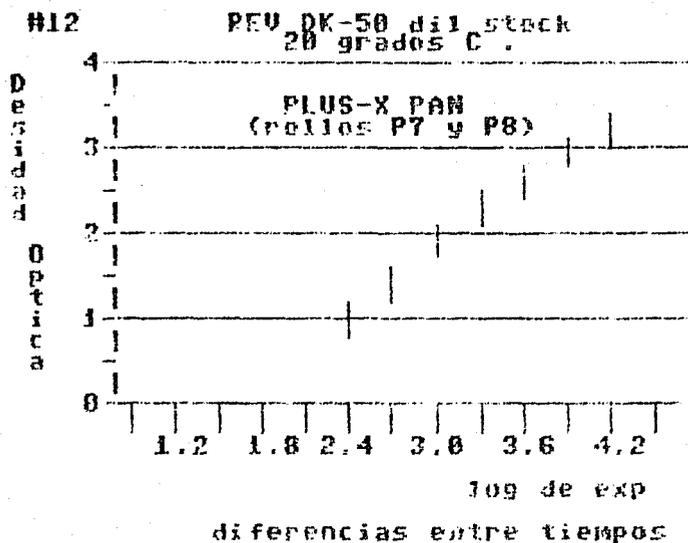
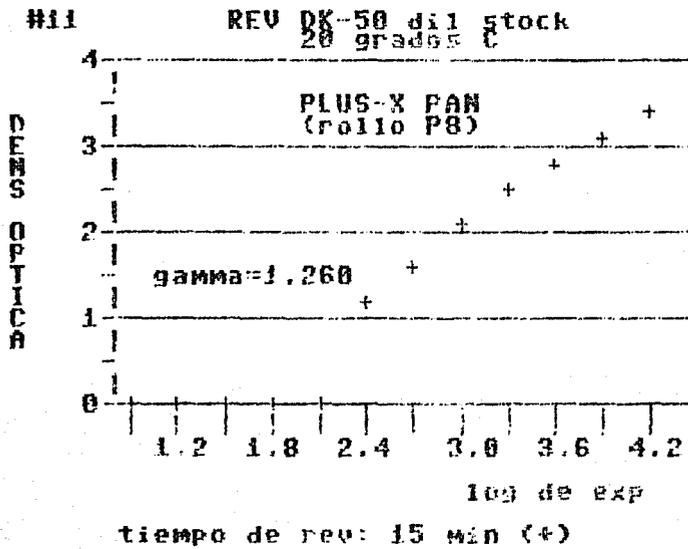
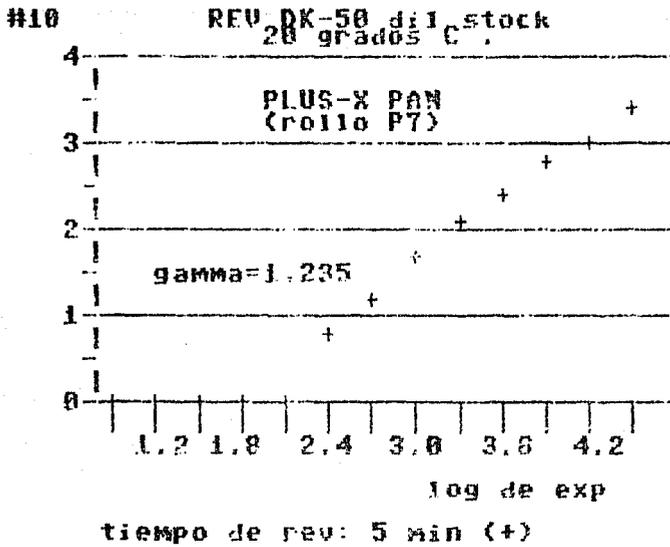
D
E
N
S
O
P
T
I
C
A

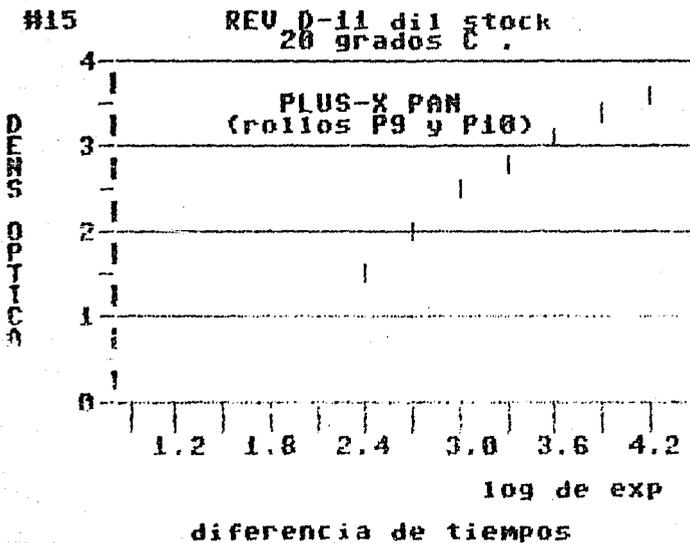
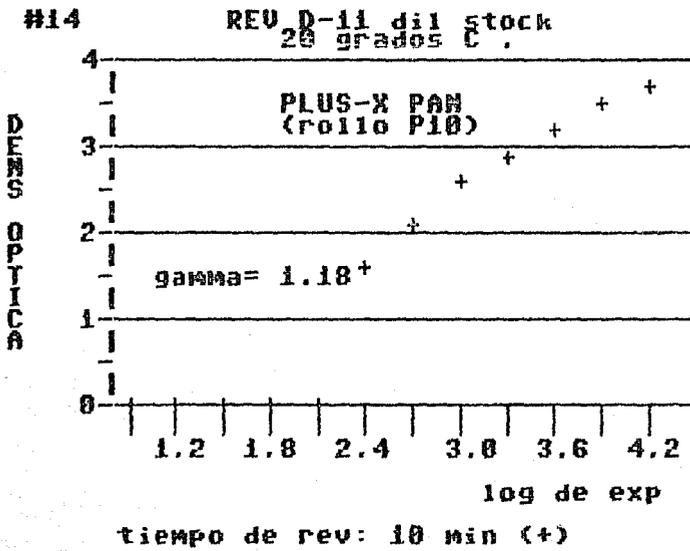
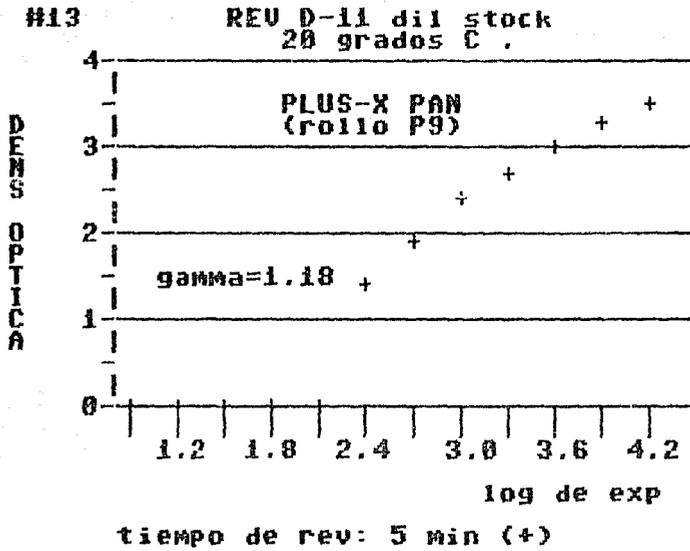


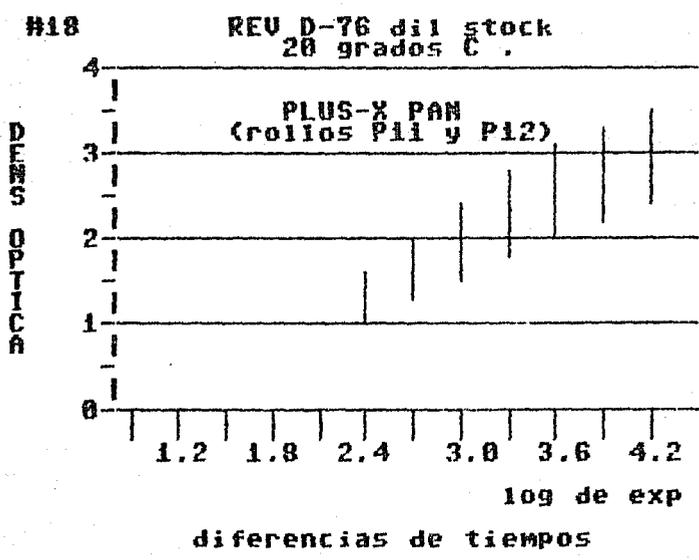
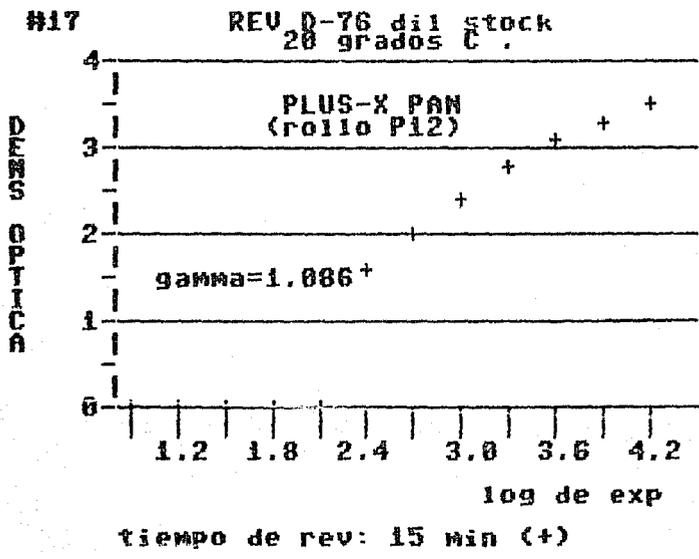
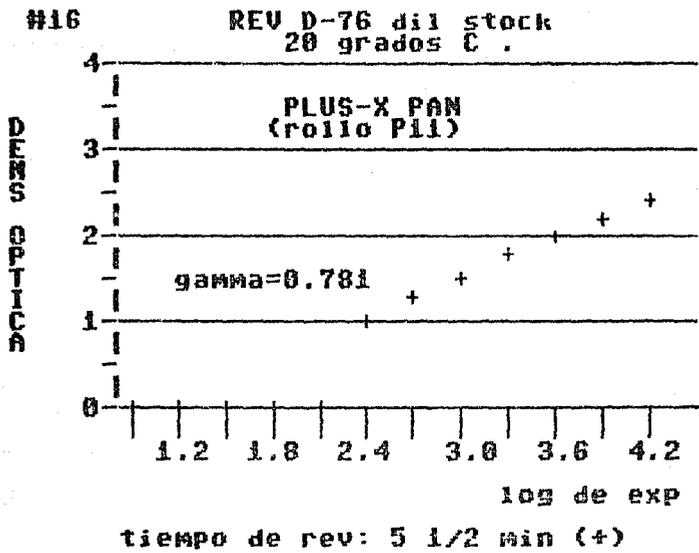
diferencia entre tiempos

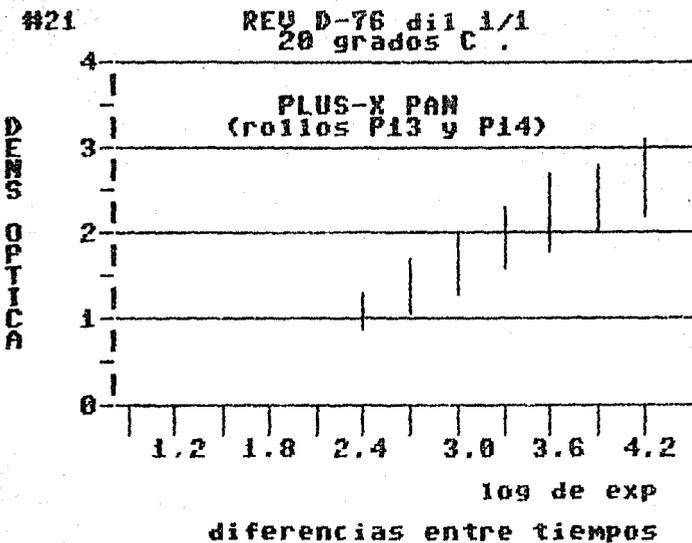
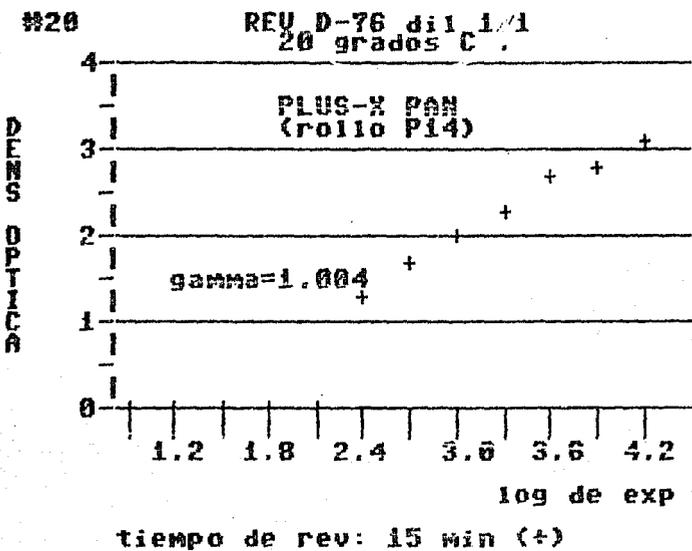
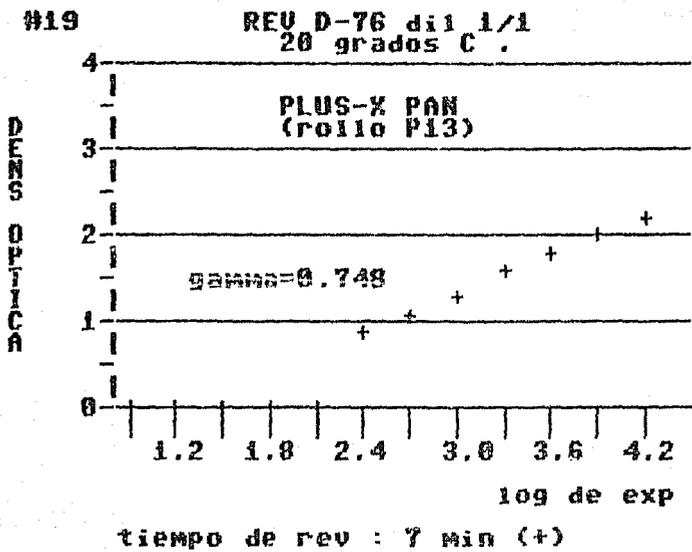


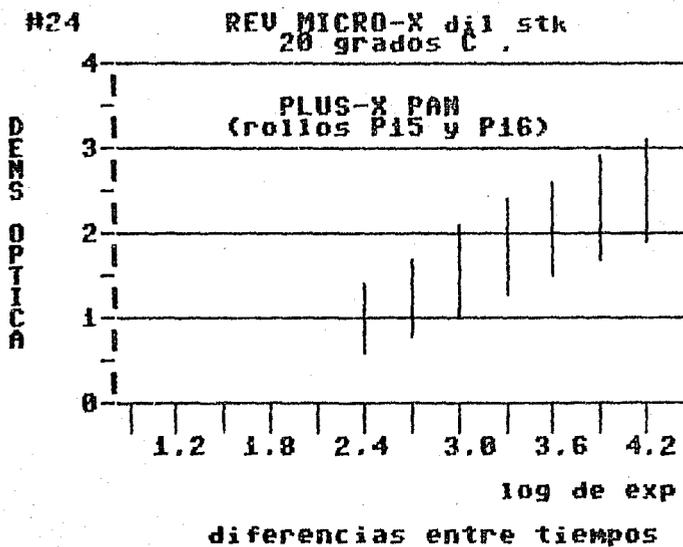
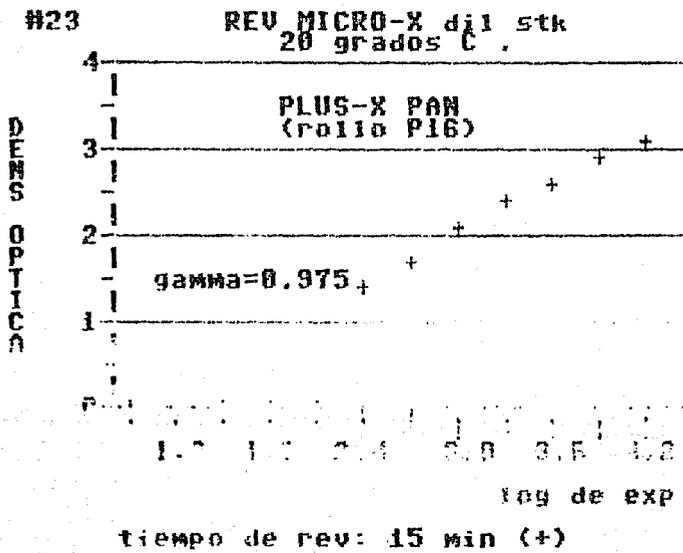
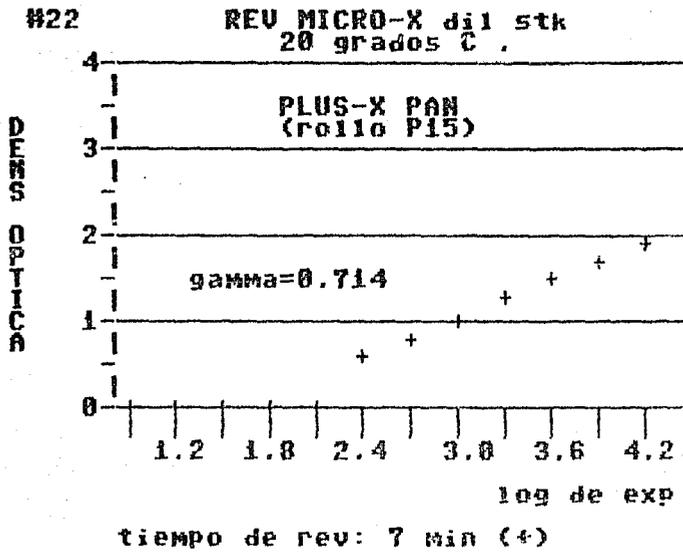


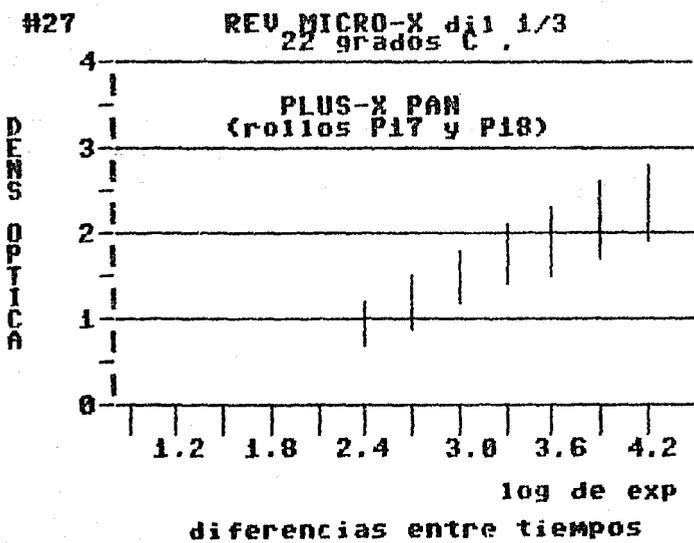
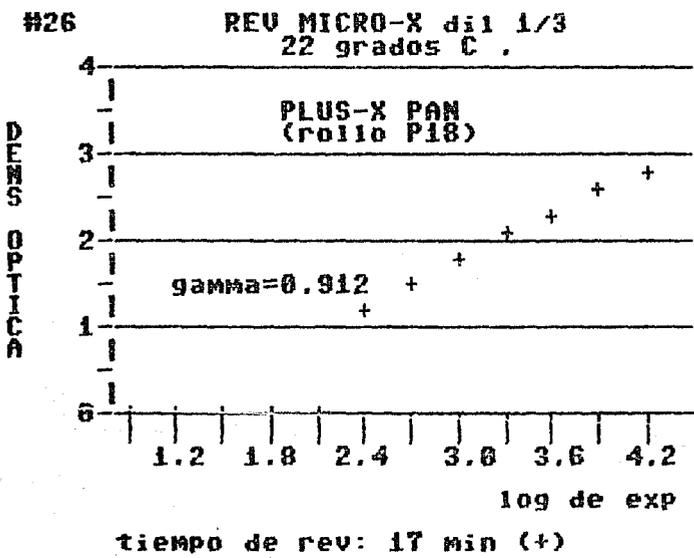
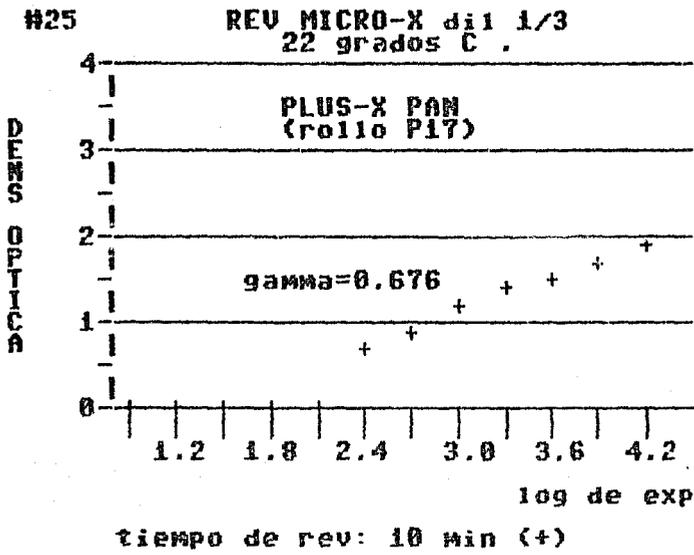


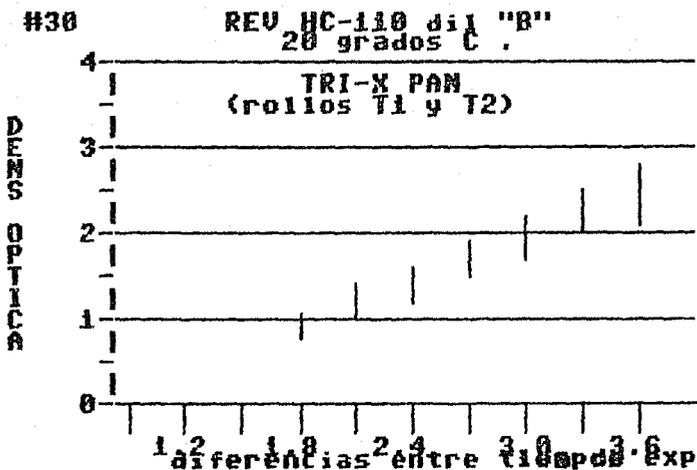
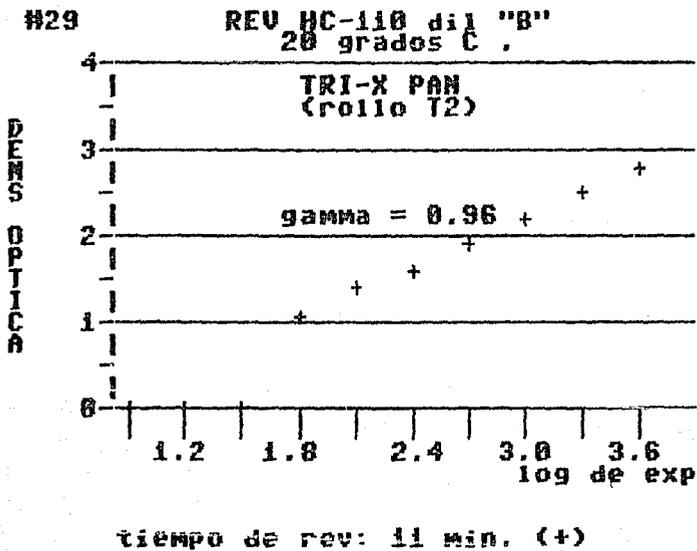
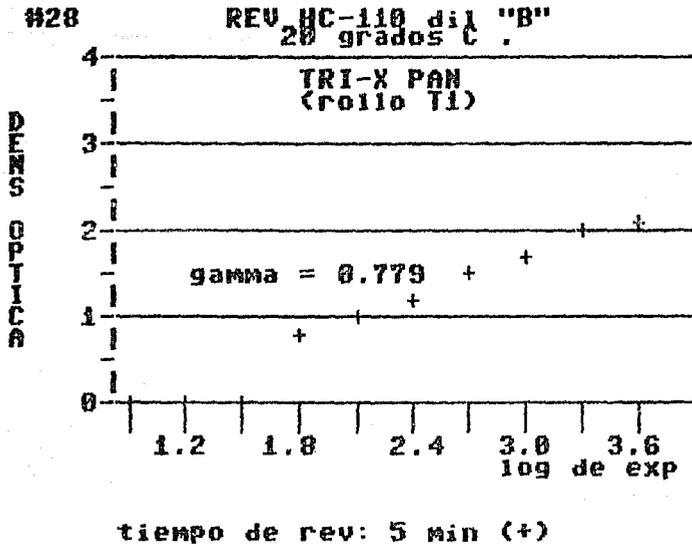


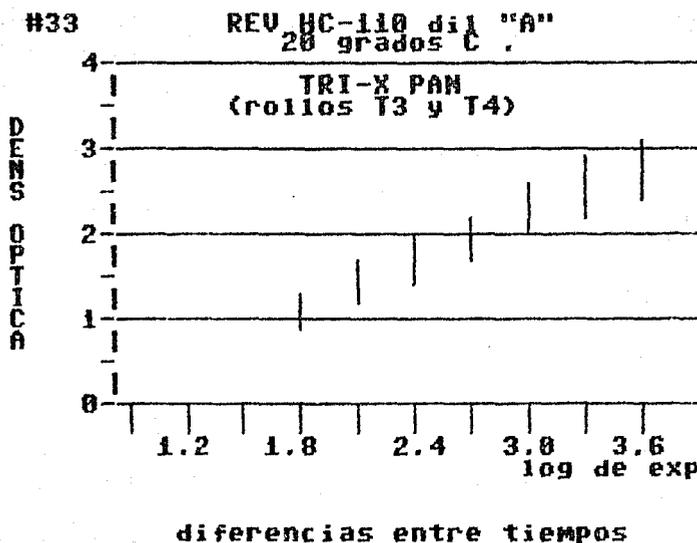
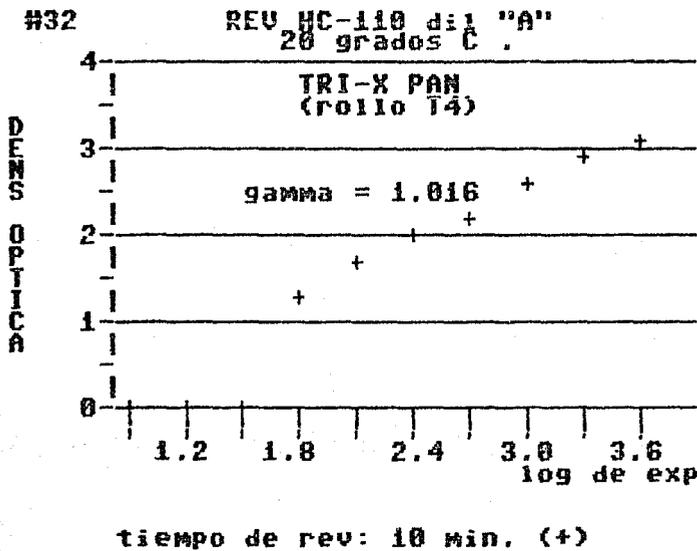
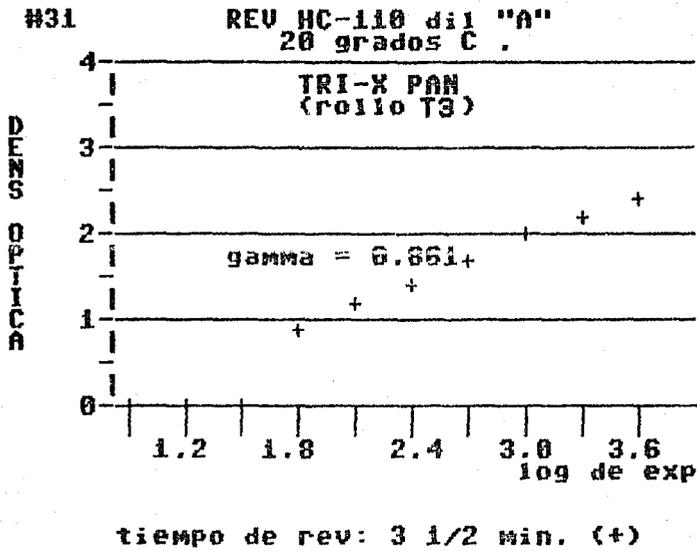


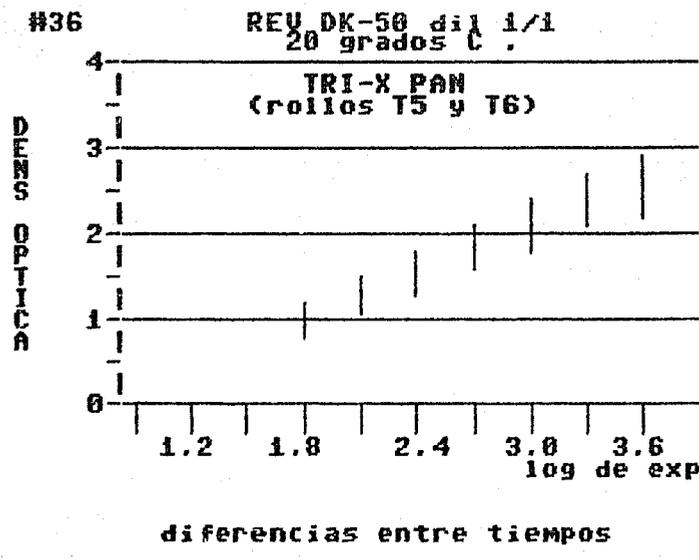
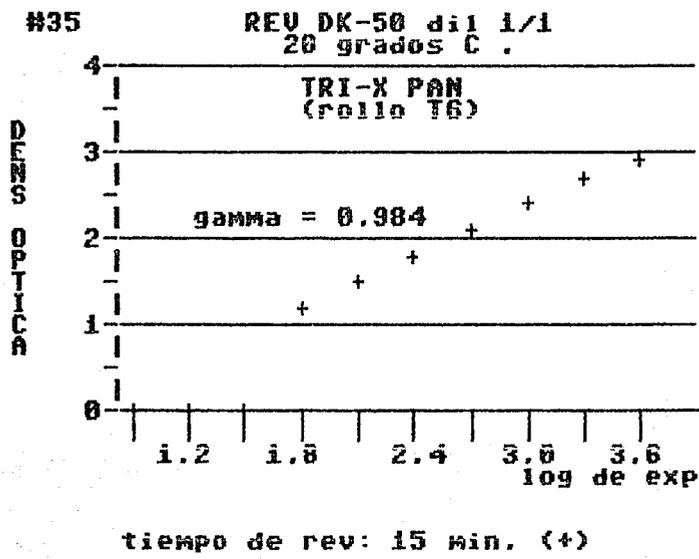
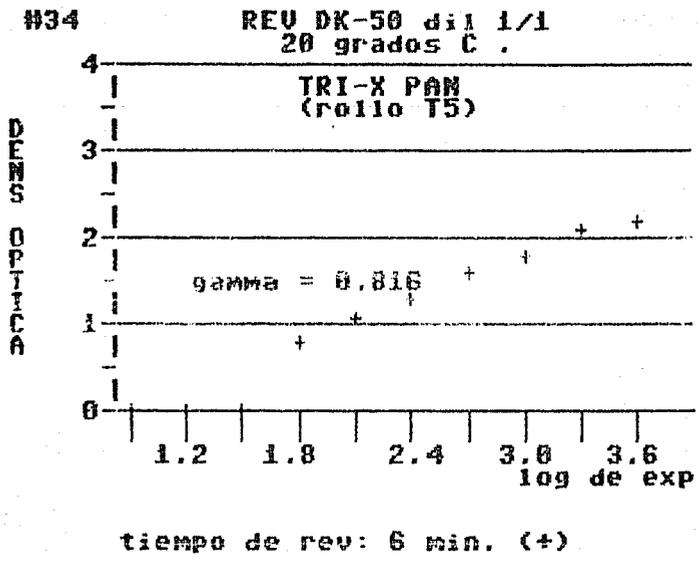


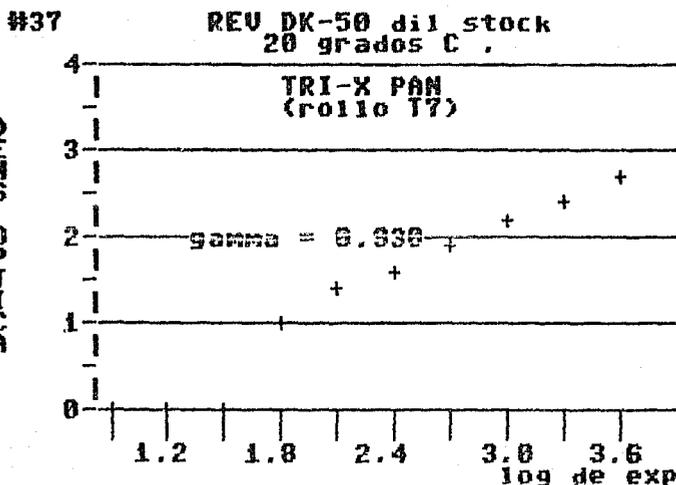




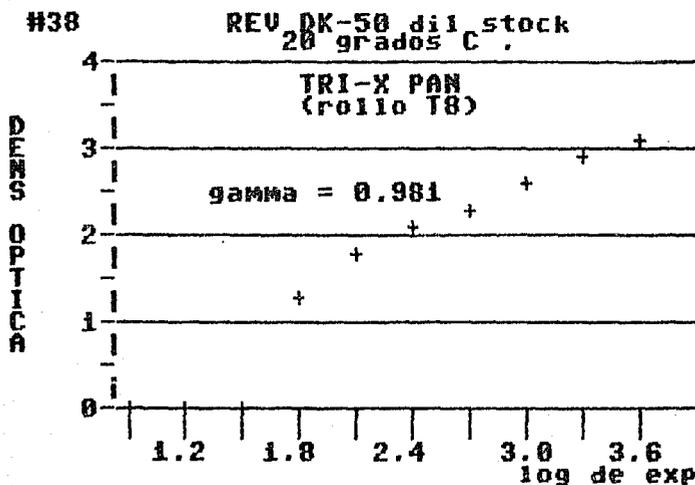




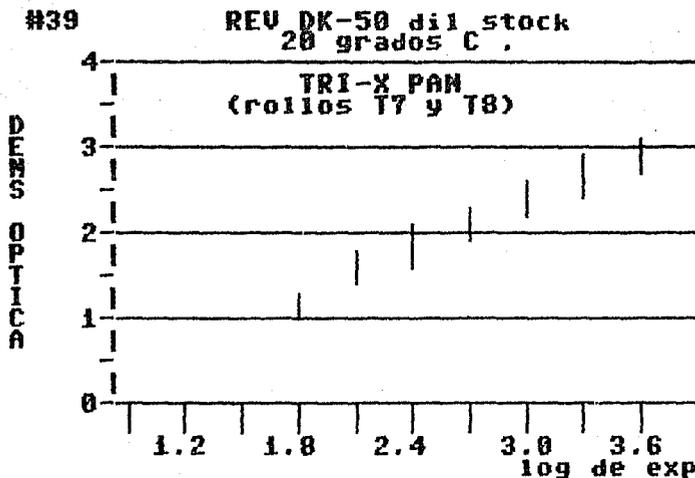




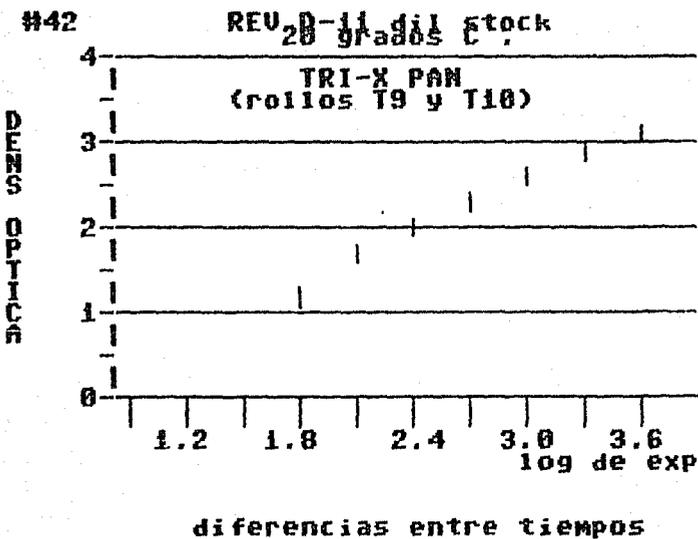
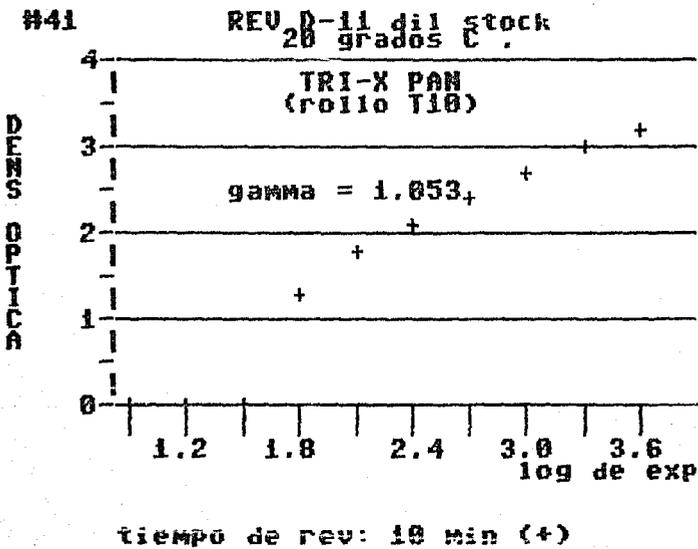
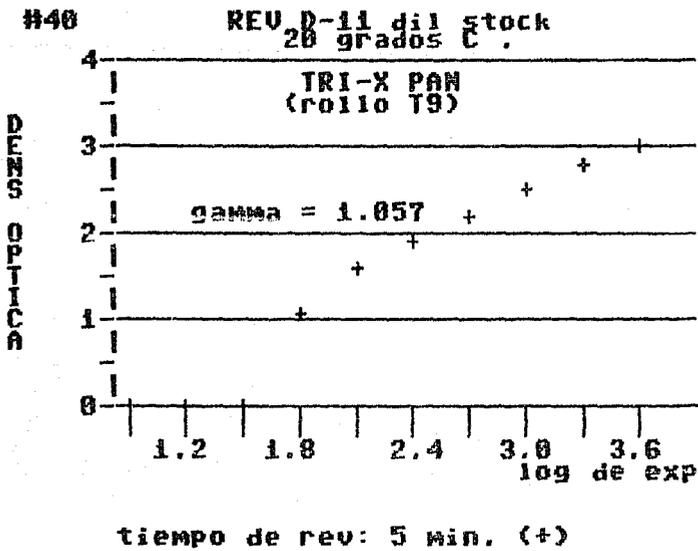
tiempo de rev: 5 min. (+)

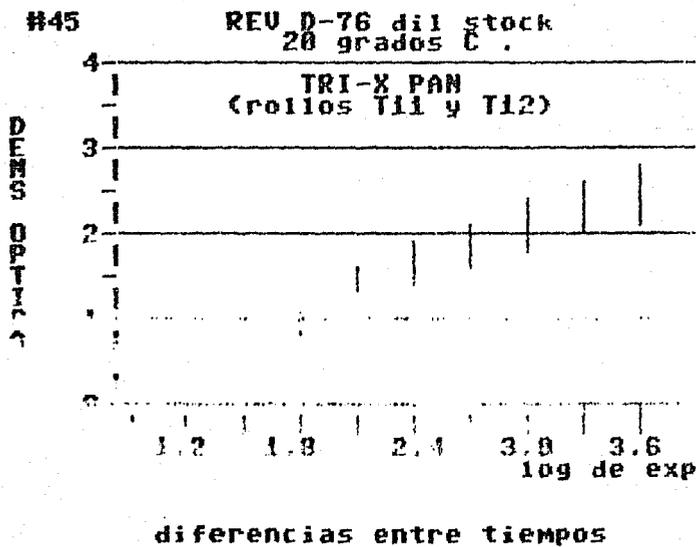
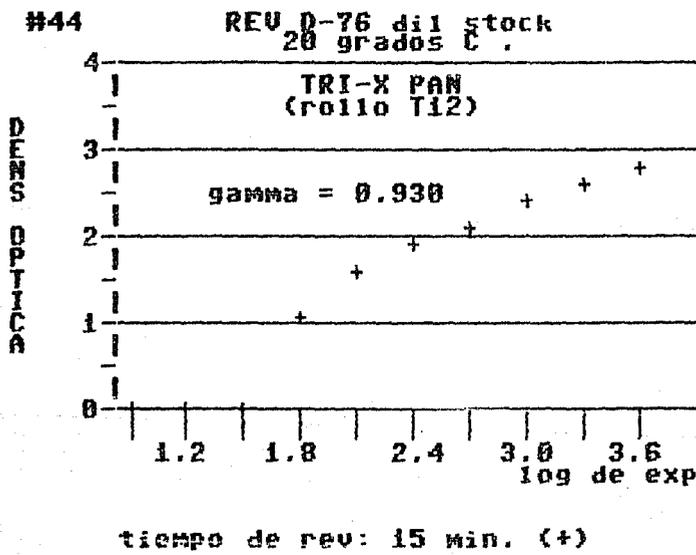
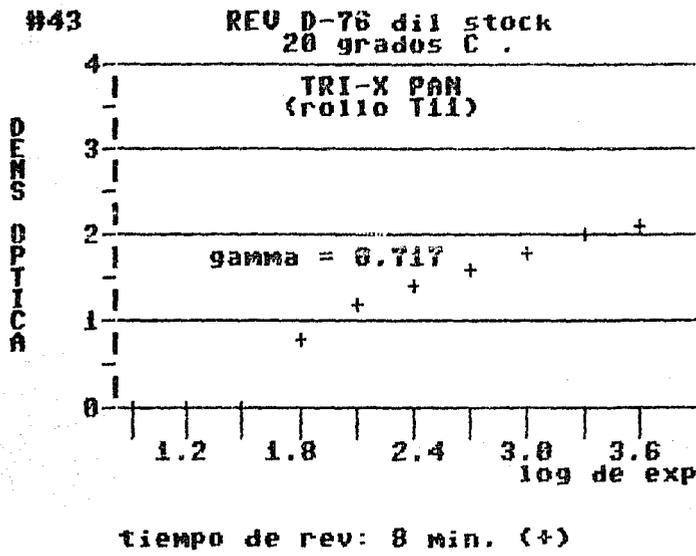


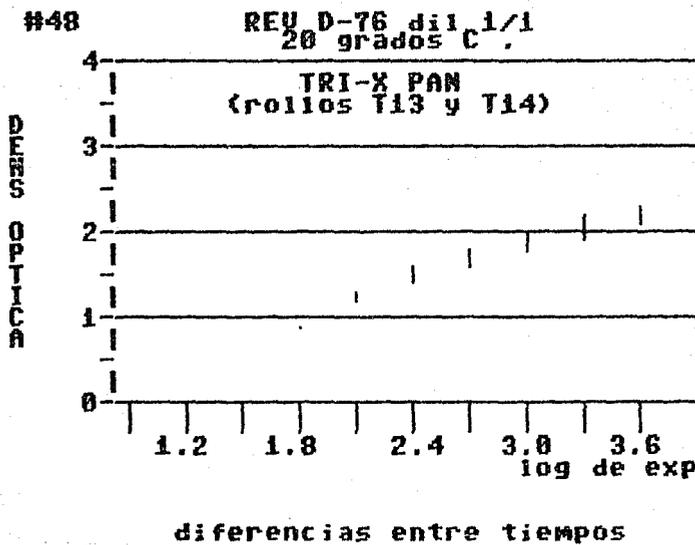
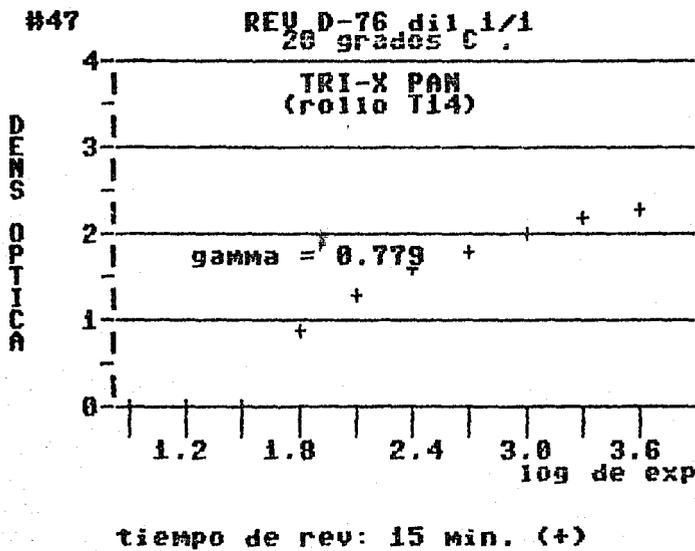
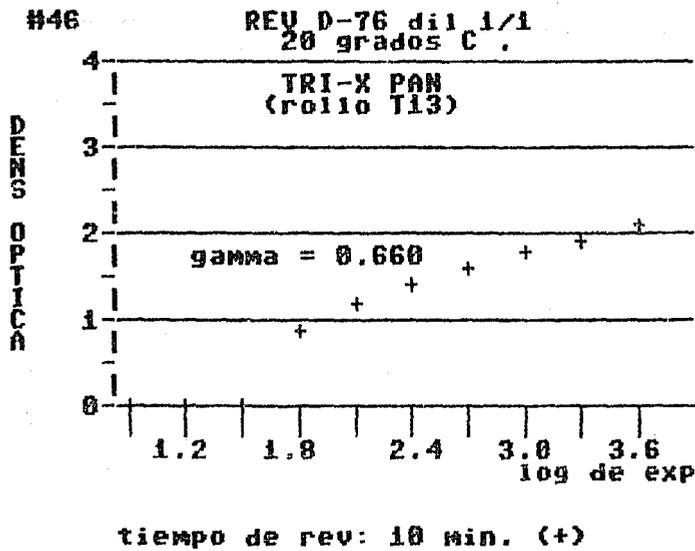
tiempo de rev: 15 min. (+)

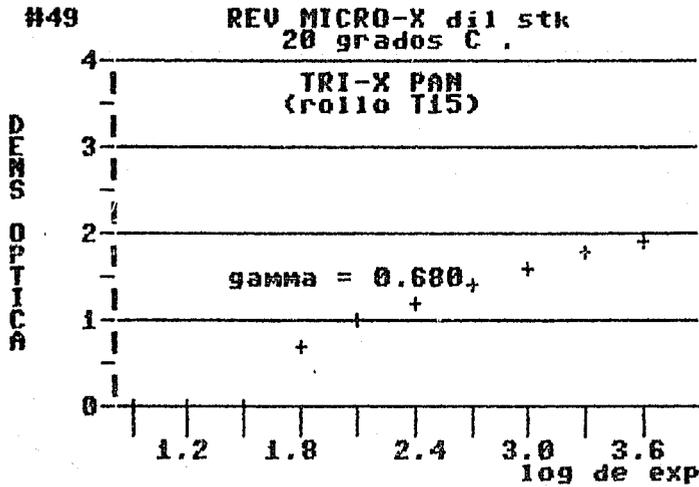


diferencias entre tiempos

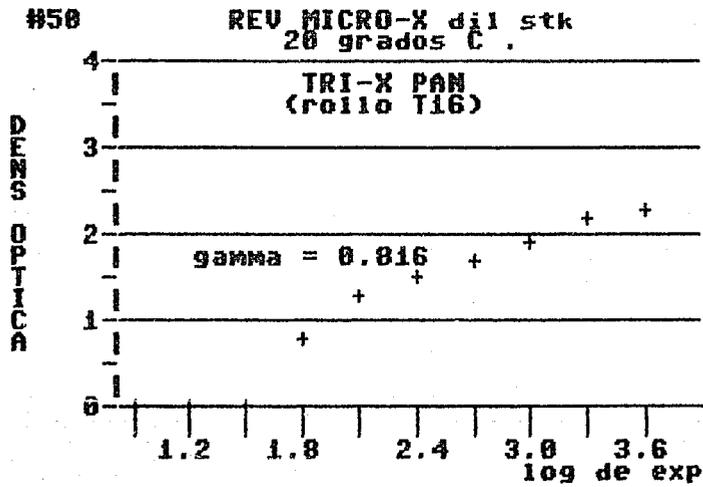




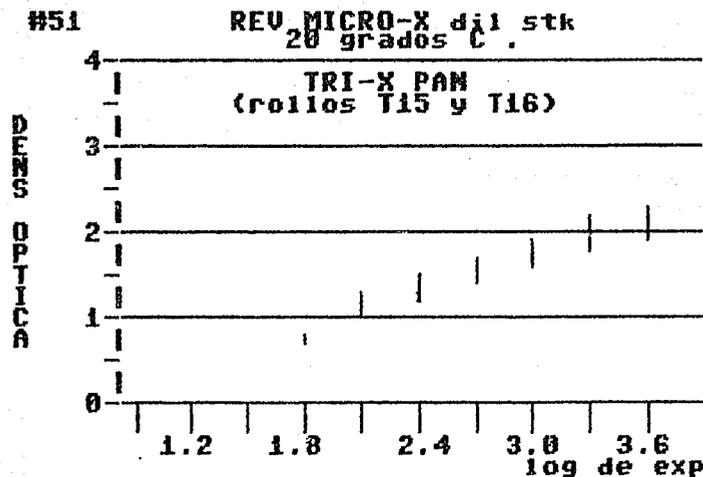




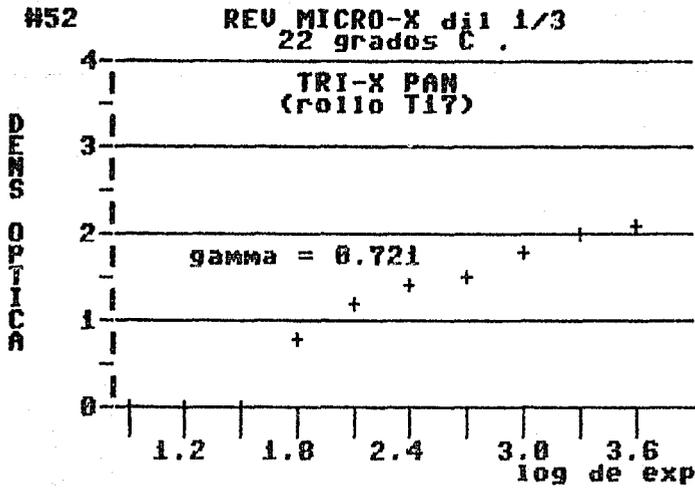
tiempo de rev: 10 1/2 min. (+)



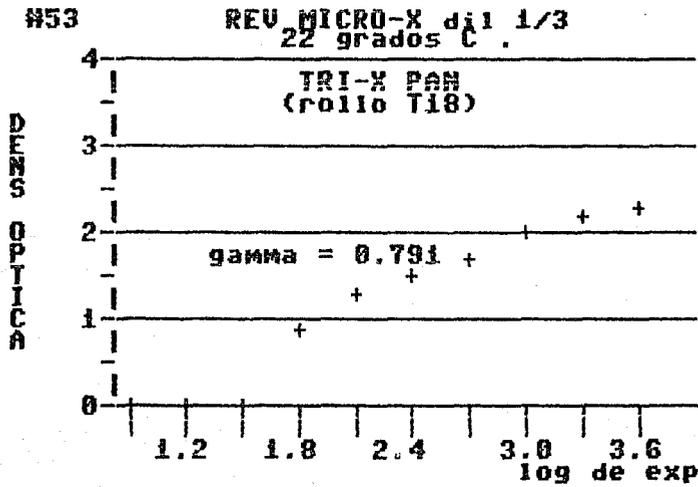
tiempo de rev: 15 min. (+)



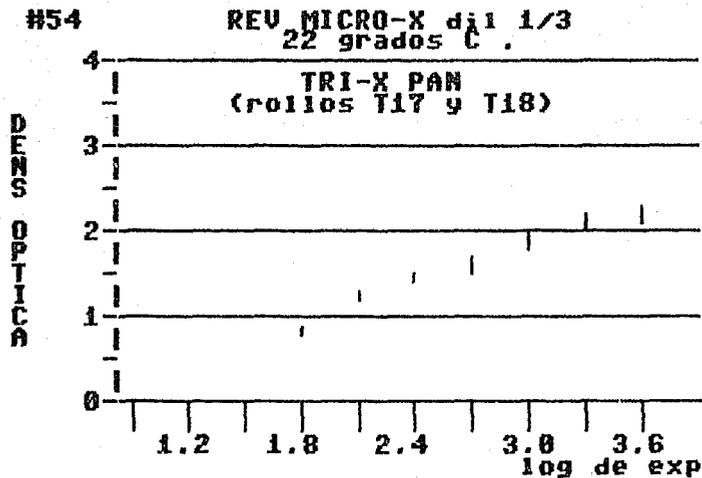
diferencias entre tiempos



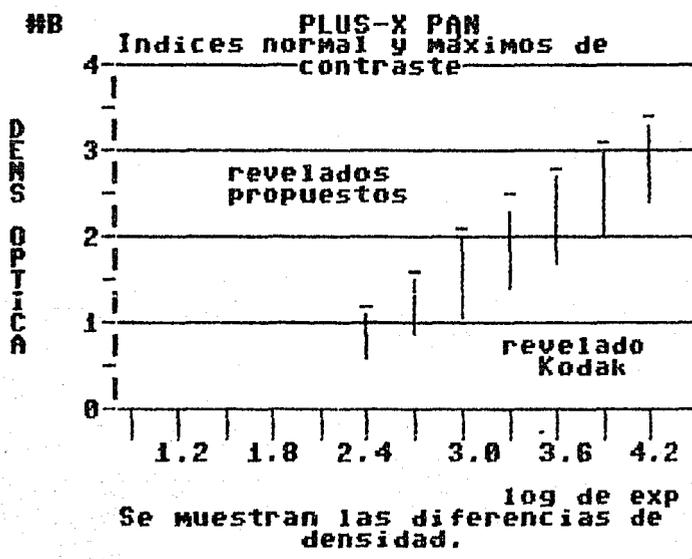
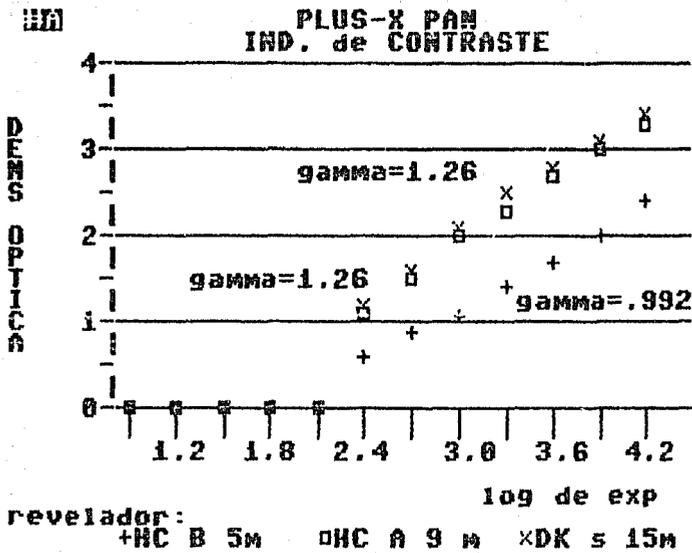
tiempo de rev: 16 min. (+)

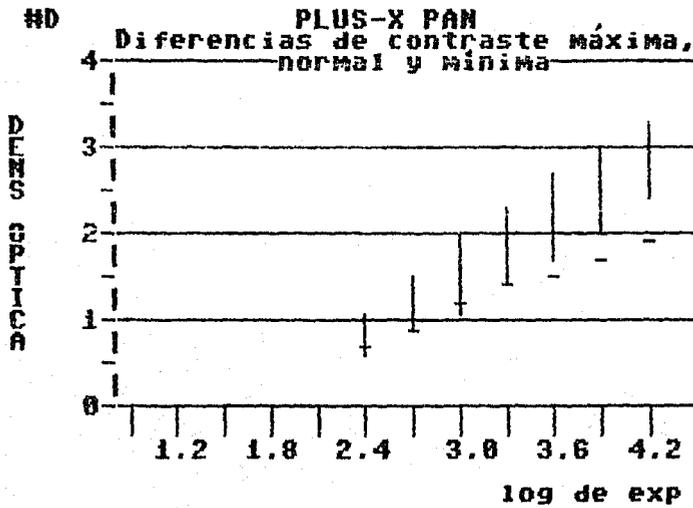
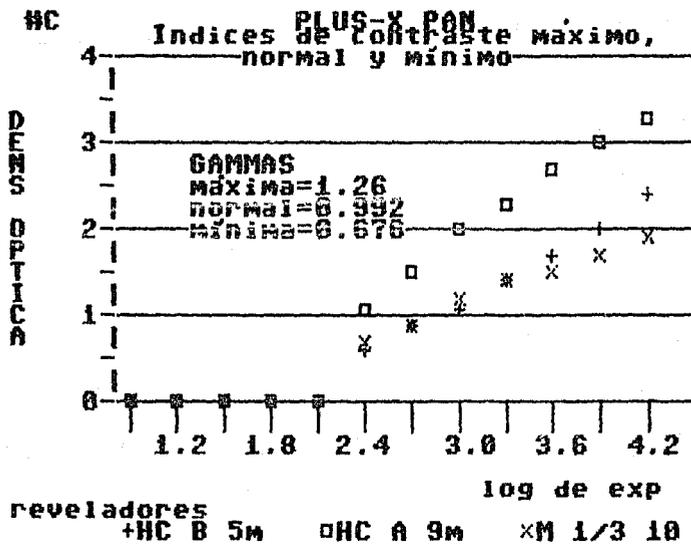


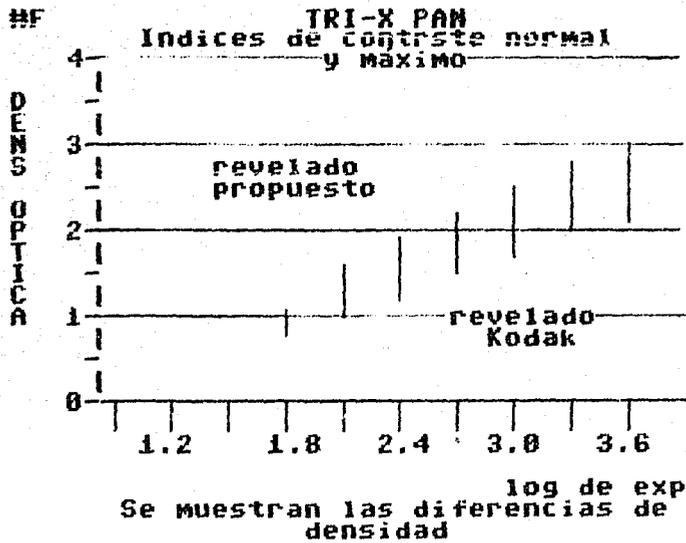
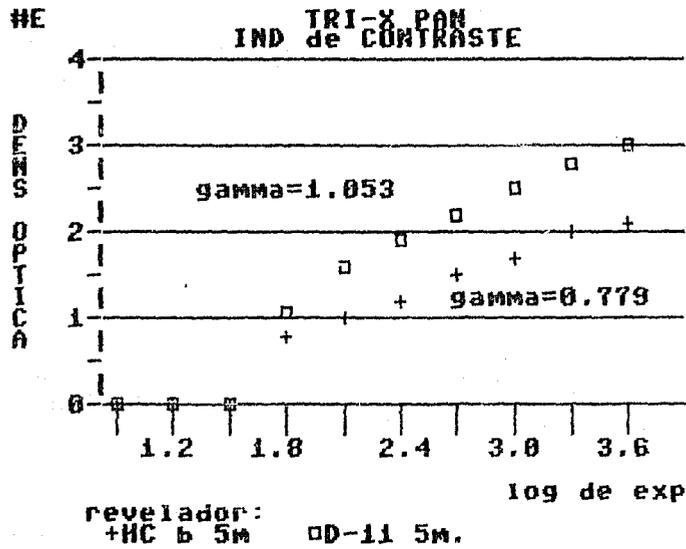
tiempo de rev: 21 min. (+)

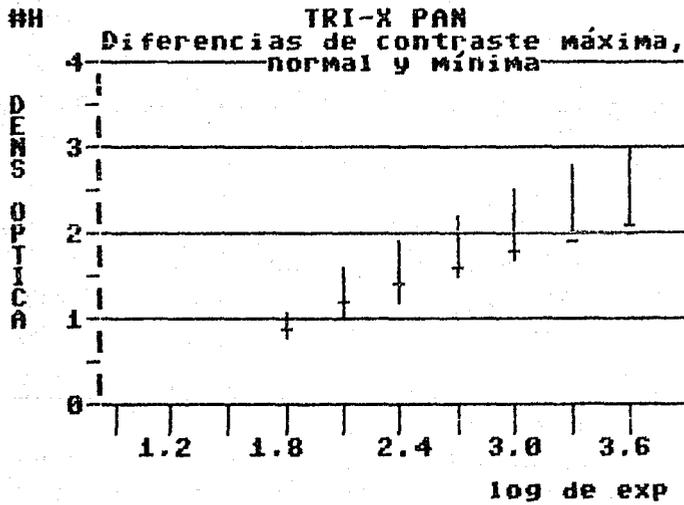
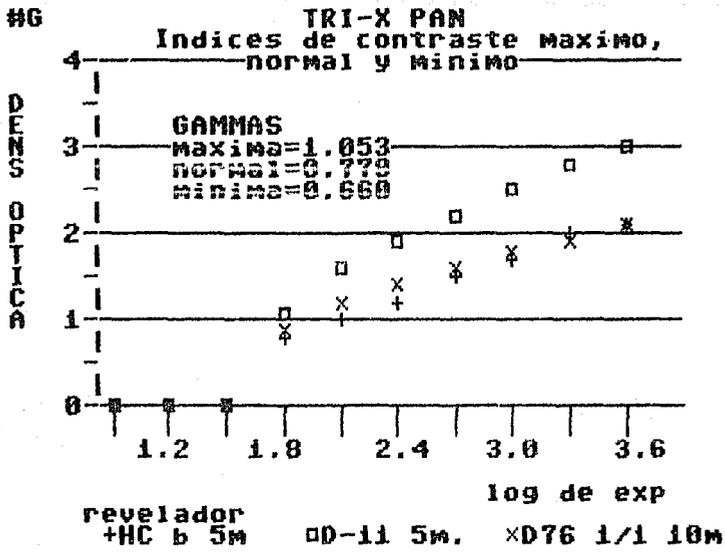


diferencias entre tiempos

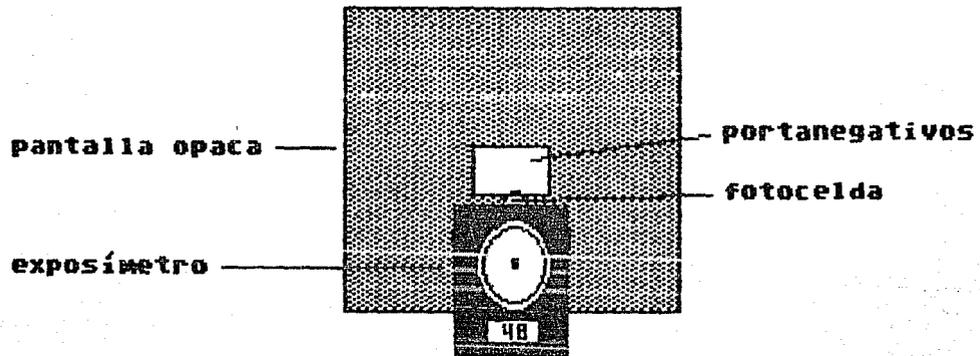
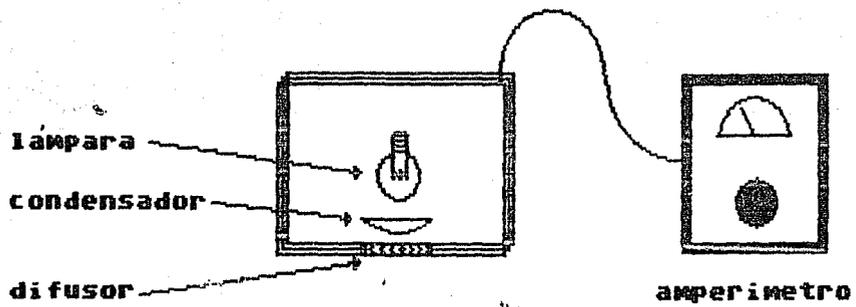








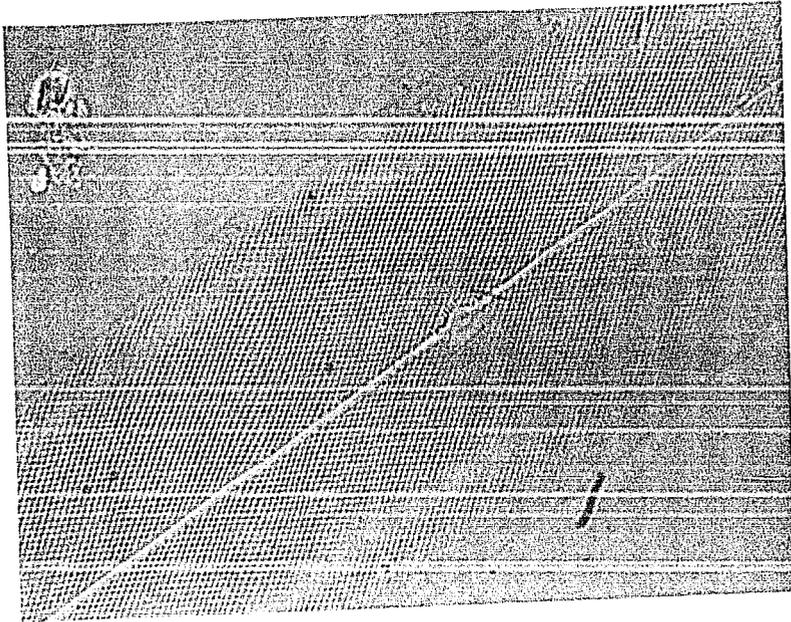
Apéndice C.



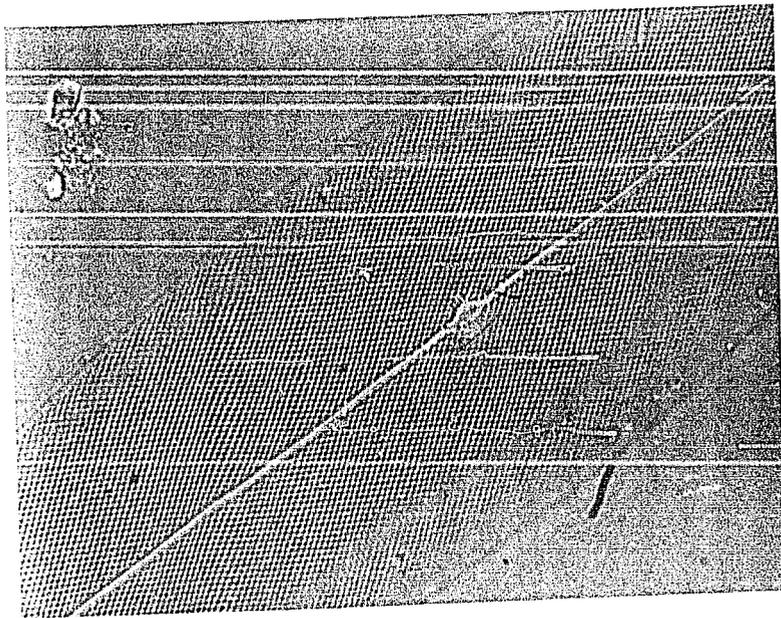
Esquema del densitómetro diseñado.

APENDICE D

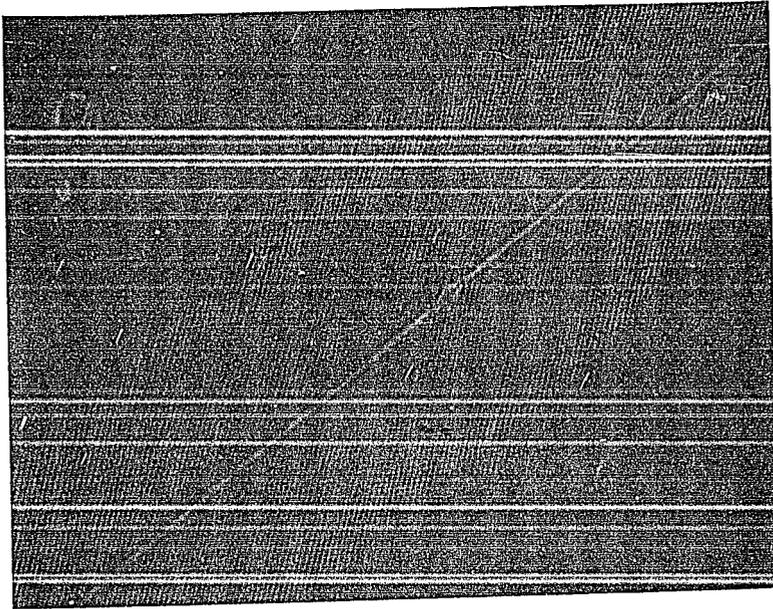
FOTOGRAFIAS.



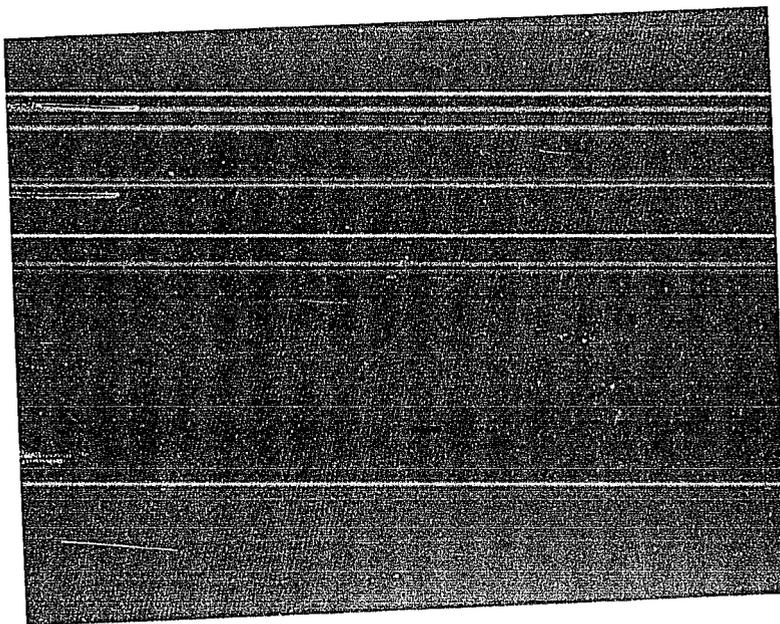
Fotografía tomada con película Plus-X Pan, revelada con HC-110, dilución B, durante 5 minutos.
Pleurosigma sp. (1040 x. aprox.)



Fotografía tomada con película Plus-X Pan, revelada con HC-110, dilución A, durante 9 min.
Pleurosigma sp. (1040 x. aprox.).



Fotografía tomada con película Tri-X Pan, revelada con HC-110, dilución B, durante 5 minutos.
Pleurosigma sp. (1040 x. aprox.)



Fotografía tomada con película Tri-X Pan, revelada con D-11, dilución stock, durante 9 min.
Pleurosigma sp. (1040 x. aprox.).

Fotografía tomada con película Plus-X Pan, revelada
con HC-110, dilución A, durante 9 minutos.
Pleurosigma sp. (1760 x. aprox.)

APENDICE E

**Información presentada por Kodak de las películas
Plus-X Pan y Tri-X Pan. (tomada de Kodak. 1969. Películas
Kodak para fotografía profesional en blanco y negro.
Publicación Kodak XF-56. pp. 13 y 25).**

Características de la Emulsión

Grano: Muy Fino.

Poder de Resolución: Alto.

Grado de Ampliación: Alto.

Sensibilidad al Color: Pancromática.

Ajustes por el Efecto de Reciprocidad:

Si el Tiempo de Exposición Indicado es de (segundos)	Utilícese		En Cualquier Caso, Utilícese Este Ajuste en el Revelado
	Este Ajuste en la Abertura del Diafragma	o Este Tiempo de Exposición Ajustado (segundos)	
1/1000	Ninguno	Sin ajuste	10% más
1/100	Ninguno	Sin ajuste	Ninguno
1/10	Ninguno	Sin ajuste	Ninguno
1	1 paso más	2	10% menos
10	2 pasos más	50	20% menos
100	3 pasos más	1200	30% menos

Revelado:

Revelar de acuerdo con los tiempos y temperaturas que se proporcionan a continuación:

Revelador KODAK	Tiempos de Revelado (en Minutos) ^a									
	Tanque Pequeño - Agitación a Intervalos de 30 Segundos					Tanque Grande - Agitación a Intervalos de 1 Minuto				
	18°C (65°F)	20°C (68°F)	21°C (70°F)	22°C (72°F)	24°C (75°F)	18°C (65°F)	20°C (68°F)	21°C (70°F)	22°C (72°F)	24°C (75°F)
HC-110 (Solución B)	6	5	4 ^{1/2}	4	3 ^{1/2}	6 ^{1/2}	5 ^{1/2}	5	4 ^{1/4}	4
POLYDOX	6 ^{1/2}	5 ^{1/2}	4 ^{3/4}	4 ^{1/4}	3 ^{1/2}	7 ^{1/2}	6	5 ^{1/2}	4 ^{1/4}	3 ^{1/4}
MICRODOX	8	7	6 ^{1/2}	6	5 ^{1/2}	10	9	8	7 ^{1/2}	7
MICRODOX X (1:1) †	—	—	11	10	9 ^{1/2}	—	14	13	11	—
D-76	6 ^{1/2}	5 ^{1/2}	5	4 ^{1/2}	3 ^{1/4}	7 ^{1/2}	6 ^{1/2}	6	5 ^{1/2}	4 ^{1/2}
D-76 (1:1)	8	7	6 ^{1/2}	6	5	10	9	8	7 ^{1/2}	7

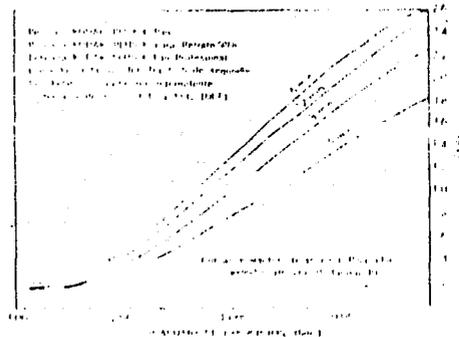
^a Los tiempos de revelado menores de 5 minutos, deben evitarse porque pueden producir resultados no uniformes.

† Proporciona mayor definición que los otros reveladores incluidos en la tabla.

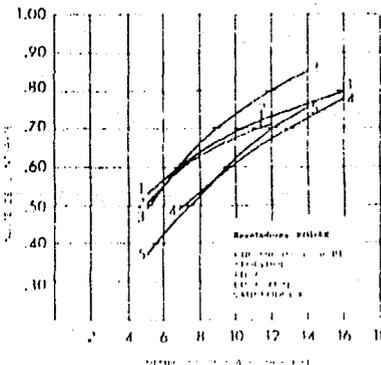
Nota: No deben usarse reveladores que contengan solventes de halogenuros de plata.

Para revelado de rollos largos, en carretes de espiral y para el revelado en cubeta de películas en hoja, consúltense las instrucciones que se proporcionan con las películas.

Curvas Características



Curvas del Índice de Contraste



Nota: Las curvas características anteriores son para películas con base antihalo gris. Para aquellas con base transparente, todas las densidades son 0.15 menos.

Grano: Fino Poder de Resolución: Mediano

Sensibilidad al Color: Pancromática

Revelado:

Revelar de acuerdo con los tiempos y temperaturas que se proporcionan a continuación:

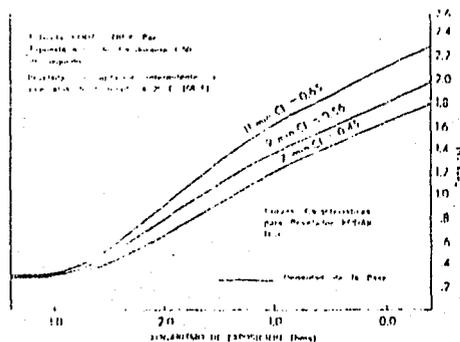
Revelador KODAK	Tiempos de Revelado en Minutos*									
	Tanque Pequeño — Agitación a Intervalos de 30 Segundos					Tanque Grande — Agitación a Intervalos de 1 minuto				
	18°C (65°F)	20°C (68°F)	21°C (70°F)	22°C (72°F)	24°C (75°F)	18°C (65°F)	20°C (68°F)	21°C (70°F)	22°C (72°F)	24°C (75°F)
HC-110 (Solución B)	8 1/2	7 1/2	6 1/2	6	5	9 1/2	8	8	7 1/2	6 1/2
POLYDOL	8	7	6 1/2	6	5	9	8	7 1/2	7	6
D-76	9	8	7 1/2	6 1/2	5 1/2	10	9	8	7	6
D-76 (1:1)	11	10	9 1/2	9	8	13	12	11	10	9
MICRODOL-X	11	10	9 1/2	9	8	13	12	11	10	9
MICRODOL-X (1:3) †	—	—	15	14	13	—	—	17	16	15
DK 50 (1:1)	7	6	5 1/2	5	4 1/2	7 1/2	6 1/2	6	5 1/2	5
HC-110 (Solución A)	4 1/4	3 3/4	3 1/4	3	2 1/2	4 3/4	4 1/4	4	3 3/4	3 1/4

* Los tiempos de revelado menores de 5 minutos, no se recomiendan porque pueden producir resultados no uniformes.

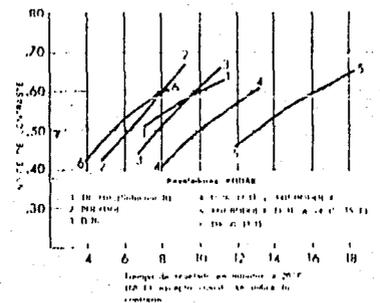
† Proporciona mayor definición que los otros reveladores incluidos en la tabla.

Nota: No deben usarse reveladores que contengan solventes de halogenuro de plata.

Curvas Características



Curvas del Índice de Contraste



Nota: Estas curvas representan películas de 35 y de 70 mm, con base antihalo gris. Para la película en rollo con base transparente, todas las densidades son de 0.15 menos.