



Universidad Nacional Autónoma de
México

Facultad de Química



LA FOTOGRAFIA EN LA INDUSTRIA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

TRABAJO MONOGRAFICO

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

OSCAR CONTRERAS MUÑOZ

México, D. F.

1982



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

	Pags.
Capítulo I	
OBJETIVO	1
Capítulo II	3
GENERALIDADES	
Historia de la fotografía.	4
¿Qué es una película?	14
Diferentes tipos de películas (cuadro sinóptico)	22
Criterio para la selección de una película.	28
Almacenamiento y cuidado de las películas.	30
Capítulo III	42
DIFERENTES PROCESOS EXISTENTES	
El control químico en el laboratorio de procesado de película.	43
Procesos para películas de color, blanco y negro.	45
Control del proceso.	52
Pasos del proceso para color, blanco y negro.	53
Análisis cuantitativos de cada baño de proceso.	56
Concepto de reforzamiento.	65
Reactivos que se pueden recuperar de los baños agotados por economía y para evitar contaminación.	68
Equipo de proceso.	71

	Pags.
Condiciones de operación.	74
Diagramas de flujo del proceso de color.	78
Capítulo IV	84
APLICACIONES	
Técnicas fotográficas.	85
Análisis de flujo de fluidos.	91
Estudio de tiempos y movimientos.	140
Estudios mecánicos.	142
Fotomicrografía.	165
Estudios de propiedades de líquidos.	175
Estudios de rayos laser.	197
Otras aplicaciones.	204
Capítulo V	211
Discusión.	212
Capítulo VI	217
Conclusiones	218
Capítulo VII	220
Bibliografía.	221

En la presentación de este trabajo se persigue el siguiente objetivo: El uso de la fotografía en los procesos industriales.

Para lograr dicho objetivo se presentan una serie de experimentos, en los cuales se usa la fotografía en diferentes formas y técnicas, que pueden servir para control (uso de la fotografía para el estudio de tiempos y movimientos), observación (en experimentos de crecimiento de cristales, observación de los fenómenos que se forman en el flujo de fluidos), aplicación de soluciones a diferentes problemas (estimación de velocidades de sedimentación en líquidos opacos, cálculo del esfuerzo a la tensión de líquidos) y otros servicios que se pueden obtener con la fotografía.

Al usar la fotografía en los procesos industriales, a través de sus diferentes técnicas (fotografía de rayos X, fotografía ultrarrápida, fotomicrografía, etc) se obtienen grandes beneficios al estudiar fenómenos que a simple vista no es posible observar y que al detectarlos cuando se inician pueden evitar problemas posteriores.

Para demostrar el beneficio que se puede obtener de la fotografía, los experimentos que se presentan aquí dan información del equipo fotográfico necesario (tipo de cámara fotográfica, tipo de película y el equipo de iluminación adecuado), el equipo experimental que se usa según el

fenómeno que se va a observar, los resultados obtenidos --
y finalmente la relación cuando este es el caso, de estos --
resultados con algunos modelos matemáticos.

Con el fin de complementar el estudio en los experi--
mentos de aplicación, dentro de este trabajo se da informa--
ción de los diferentes tipos de películas que existen en --
el mercado nacional, sus características, el criterio para --
su selección, almacenamiento y cuidado y los procesos que --
se siguen para su tratamiento, esto es con el fin de lo---
grar resultados y calidad óptima en la imagen y los estu--
dios que sobre esta se realicen sean lo mas satisfactorio--
posible.

Dentro del tratamiento del material fotográfico, se --
enfoca un tema muy importante en nuestro país, que es el --
de la contaminación que pueden ocasionar las sustancias --
usadas en dicho tratamiento y se plantea información de --
como se puede evitar.

Capítulo 2

- 1.- Historia de la fotografía.
- 2.- ¿Qué es una película?
- 3.- Diferentes tipos de películas (cuadro sinóptico).
- 4.- Criterio para la selección de una película.
- 5.- Almacenamiento y cuidado de las películas.

HISTORIA DE LA FOTOGRAFIA: La fotografia es esencialmente, una imagen obtenida sin la acción directa del hombre, el cual se limita a poner en marcha un aparato y a utilizar unos productos químicos para que la luz reproduzca una parte de la vista percibida por el ojo.

La fotografia se obtiene formando en el interior de una caja cerrada, que solo tiene un orificio, una imagen que impresiona una superficie sensible a los rayos luminosos en la que queda fijada.

El primer dato que se tiene sobre la historia de la fotografia, es del año 1649 cuando el alemán Wilhelm Homberg descubre que la luz ennegrecía los huesos de buey impregnados de ácido nítrico en una solución de plata (1).- Johan Heinrich Shulze, vierte creta, plata y ácido nítrico en una botella; notando que la parte expuesta a la luz se ennegrecía (1).

El físico Guiseppe Battista descubre la acción de la luz sobre el cloruro de plata; el químico Carl Wilhelm de muestra que el negro que la luz da al cloruro de plata es plata reducida.

Thomas Wedwood moja papel o cuero blanco en una solución de nitrato de plata y lo recubre con un dibujo translúcido con lo que obtiene una imagen perceptible a la luz de una vela, pero la luz del día la ennegrecía y la hacía desaparecer (2).

Fueron cuatro los hombres que aportaron la solución a la fotografía, Niepce quien hizo la primera fotografía, Daguerre encontró el primer procedimiento práctico. Talbot inventó el negativo para producir positivos y Bayard el positivo directo sobre papel (1).

Joseph Nicephore Niepce, en el año de 1816, en una cámara oscura, obtuvo una imagen sobre papel impregnado de cloruro de plata y de ácido nítrico; pero los tintes estaban invertidos. Niepce logró lo que hoy llamamos un Negativo; pero para él fué decepcionante, ya que lo que buscaba era realizar directamente una imagen en su cuadro natural. Hace otras pruebas cambiando el soporte, superficie sensible e ingredientes; inventando en 1822 el fotograbado. Realiza fotografías de hombres ilustres de su tiempo, llamándolas "puntos de vista" (2).

Louis Jacques Mandé Daguerre logró en diciembre de 1829, que Niepce firmara un contrato con él, con el fin de encontrar un método más práctico. Niepce muere en 1833, por lo que Daguerre prosigue las investigaciones solo. Encontró la fórmula para impresionar una placa de metal mediante un baño de yodo y realizó la fijación con NaCl y mercurio. Su invento lo bautizó como "daguerrotipo" (1).

Otro lugar preferente, es el del matemático y filólogo William Henry Fox Talbot. Con la idea de imprimir imágenes por sí mismas y fijarlas sobre papel, a partir de

1834 prepara papel mojándolo en una solución de NaCl, lo seca y luego lo mete en una solución de nitrato de plata, obteniéndose así imágenes por contacto que lava con agua salada y yoduro de potasio. Los tintes estaban invertidos, pe-ro Talbot declaró que si la imagen obtenida podía soportar la luz del sol y ser conservada podía también emplearse como objeto para copiar y, en la segunda operación, sombras y luces se volverían a colocar en su posición inicial. Con este argumento, Talbot descubre el negativo y los positivos creando así la fotografía tal y como se practica hoy en día (1).

En septiembre de 1840, descubre la imagen latente; --- una hoja de papel fotogénico parecía integralmente virgen, - y cuando Talbot intenta utilizarla de nuevo, sensibilizando la con ácido gálico y nitrato de plata, entonces aparece la imagen. Talbot bautiza su método "calotipo" (3).

Por último, Hippolyte Bayard, el 28 de marzo de 1839, - con una pose de una hora, logró los primeros positivos di-rectos sobre papel (2).

Con la aportación básica de estos cuatro hombres, los investigadores prosiguen el trabajo; así en 1850, Frederick Scott Archer usa en su método, colodión húmedo como superficie sensible, el colodión húmedo está hecho a base de celulosa disuelta en éter alcohólico y mojado en nitrato de plata. El problema de este método era que la placa tenía que -

ser preparado poco antes de la toma y revelada rápidamente (1).

Le tocó al médico Richard L. Maddox, introducir un nuevo procedimiento, el cual, tras ciertos perfeccionamientos, es el que se emplea actualmente. Usa como superficie sensible o emulsión, la gelatina disuelta en agua y añade una solución de bromuro de cadmio y luego una de nitrato de plata. Este procedimiento es llamado "gelatinobromuro" (1).

También el soporte de la emulsión es perfeccionado. El vidrio es sustituido primero por el papel, este a su vez por celuloide, en 1887 se patenta el uso de la nitrocelulosa y en la actualidad se usa el triacetato de celuloosa (1).

La fotografía en color fue una obsesión para los inventores incluso antes de que se inventara la fotografía en blanco y negro.

En 1891 Gabriel Lippman, basándose en la teoría de las ondas luminosas, obtuvo magníficas fotografías en color; pero, la técnica era tan complicada, que no se pudo llevar a cabo la aplicación práctica (3).

Se sabía que la descomposición y la composición de los colores, a base de tres colores fundamentales, era posible, Jacob Le Blond fue el primero que descompuso los cuadros en tres imágenes: amarilla, roja y azul, que re--

producía en tres impresiones sucesivas, dando un color distinto a cada uno de los tres grabados. En 1861, James Clark Maxwell, hace tres tomas, utilizando filtros rojo, verde y azul y proyecta sobre una pantalla los tres positivos que obtuvo con las soluciones líquidas roja, verde y azul, formando así una imagen coloreada. La reproducción no era buena, porque los negativos que utilizó no eran sensibles a todos los colores, en particular al rojo. A este método se le llamó "aditivo" (1).

En 1896, John Joly, colocó sobre una placa una pantalla de líneas muy finas, cien por centímetro, de los tres colores sucesivamente. Durante la proyección, dicha pantalla se colocaba delante de la superficie proyectada. Los hermanos Auguste y Louis Lumière esparcían sobre la placa miles de granitos microscópicos, de fécula, de 15 a 20 micrómetros y en 1907 lanzan al mercado su placa "autocromo" (2).

Pero el procedimiento de fotografía en color, del que han nacido todos los procedimientos que actualmente se usan, es el procedimiento sustractivo, que fue enunciado en 1869 simultáneamente por Louis Ducosdu Hauron y Charles Cross (1).

El principio consistía en tomar tres negativos de la misma vista, con filtros rojo, violeta y naranja; colores complementarios del rojo del amarillo y del azul, y a tra-

ves de cada uno de ellos solo se filtraba uno de dichos colores. De cada negativo se tiraba un positivo, que se coloreaba respectivamente de rojo, de amarillo y de azul; estas tres pruebas transparentes se sobreponían, con lo cual se distinguían directamente, los verdaderos colores (1).

En 1935, Loepold Mannés y Leopold Gogowsky lanzan al mercado la película Kodachrom, la cual está compuesta de tres películas y tres filtros coloreados, En 1942, Kodacolor permite obtener un negativo en color y hacer copias de positivos en color (2).

LA INDUSTRIA CINEMATOGRAFICA: La técnica actual en la cinematografía, se ha desarrollado a través de más de 80 años de intensa investigación en los campos de la física, química, óptica, electrónica, mecánica y otras más.

Hombres como Plateau y su "fenaquistiscopio" en 1832; Sellers y su "cinematoscopio" en 1861; Marey y su "pistola fotográfica" en 1882 y otros muchos, vislumbraron la posibilidad de fotografiar imágenes en movimientos, pero ninguno de ellos imaginó siquiera algo parecido a la industria cinematográfica actual.

En 1889, se introdujo la primera película comercial transparente, en rollo, hecha sobre base de nitrato de celulosa. Esta película se usó durante más de 50 años pero presentaba un gran problema: la gran inflamabilidad del nitrato de celulosa que constituía un serio riesgo de incen-

dio en las salas de proyección, en los laboratorios de proceso y en otros lugares en los que se manejaba la película.

Kodak, en 1908, fabricó la primera película fotográfica de seguridad, hecha sobre base no flamable de acetato de celulosa. Pero, para las salas de exhibición, la película de acetato de celulosa no era satisfactoria. Los solventes en el acetato de celulosa se evaporaban en corto tiempo, haciendo que la película tomara una curvatura excesiva y se volviera quebradiza (4).

Fue hasta 1948, tras muchos años de investigación, se fabricó la película con base de triacetato de celulosa. Además de no ser flamable, esta base tenía una vida más larga que la de nitrato.

También se dedicó años de investigación y experimentación para encontrar una película que registrara todos los colores y a su vez los registrara en tonos de gris que tuvieran aproximadamente la misma brillantez que los colores que representaban en blanco y negro.

Hacia 1925, el interés por el cine se había extendido a todo el mundo y esa demanda presentó nuevos retos. En esas fechas, la única forma de hacer copias de alta calidad para proyección, era partiendo del negativo original. Esa circunstancia ofrecía dos alternativas: que un solo laboratorio hiciera todas las copias para distribución mun--

dial o que el productor prestara ese negativo original -- irremplazable, a los laboratorios de otros países. Ninguna de esas soluciones era práctica.

Así que en 1926, se fabricó la primera película para-duplicación. Con ella podrían hacerse negativos duplicados para enviarlos a diversos lugares del mundo. Hacia 1930, - con la aparición de una película mejorada, las copias que-se producían eran casi tan buenas como las del original.

LA ERA DEL SONIDO Y DE LA CIENCIA: Con Al Jolson, como el "cantante de Jazz", se inició en 1927 una nueva era-la del cine sonoro, películas cinematográficas con sonido-sincrinizado. Aunque la sonorización de las primeras películas se hacía a base de fonógrafos sincronizados este nuevo estilo tuvo gran impacto entre los aficionados al cine-de aquella época.

Sin embargo, se comenzó a investigar y a experimentar diferentes métodos para grabar sonido directamente de la - película. Esto se logró por medio de registrar el sonido, - en forma de patrones visibles, a lo largo de una banda angosta colocada cerca de la orilla de la película que ahora se conoce como pista de sonido. En 1932, se puso a la venta la primera película, especialmente diseñada para grabar sonido en ella.

Al principio, las perforaciones o agujeros de engranaje de la película, se hicieron redondos, mas adelante rec-

tangulares, pero de todos modos, se rompían o gastaban rápidamente. Se analizó el problema y se encontró que las perforaciones rectangulares con esquinas redondeadas con gran precisión, era el tipo de perforación mas apropiado y resistente, para dar a la película una mayor duración.

Ademas se descubrió, que el parpadeo de las películas podía reducirse al mínimo proyectándolas a 24 cuadros por segundo, en lugar de 16 que era lo más común en esa época. Con esto, se encontró que el sonido era de mayor calidad, mientras mas rápidamente viajara la película a través del proyector, esta sigue siendo la norma de velocidad de proyección.

A principios de los años veintes, las películas de color a base de colorante, se pusieron de moda. En 1922, se filmó "La puerta del mar" y fué considerada como la primer película de color que constituyera un verdadero éxito. El proceso fué inventado por Technicolor Inc.

Funcionaba de la siguiente manera: se exponía simultáneamente en una cámara, dos películas blanco y negro separadas, cada una registraba un color de luz diferente. Posteriormente, el número se aumenta a tres, e imprimían dos colores individualmente, en una sola película transparente. La cantidad de color dependía de la exposición que hubiera recibido una de las películas originales en blanco y negro.

En 1950, nació uno de los grandes pilares de la cine-

matografía: el sistema Eastmancolor. Entonces ya se contaba con una película negativa de color, fácil de manejar -- que proporcionaba copias en color. Además se ofrecieron -- las películas positiva y para duplicar.

En 1968, salió la película Eastman reversible para duplicar negativos originales.

Se han realizado avances continuos en la tecnología - cinematográfica en color, ya que el aficionado al cine prefiere los colores naturales que dan sensación de realidad.

¿ Qué es una película ?.- Una película consiste esencialmente de 8 partes.

- 1.- Capa protectora de gelatina.
- 2.- Capa sensible al azul.
- 3.- Capa de plata color amarillo.
- 4.- Capa sensible al verde y al azul.
- 5.- Capa intermedia de gelatina.
- 6.- Capa sensible al rojo y al azul.
- 7.- Capa antihalo.
- 8.- Soporte.

Este es el arreglo general de una película de color, sin embargo, cada casa comercial tiene secretos propios en su fabricación.

Las técnicas empleadas para la preparación y recubrimientos de una emulsión fotográfica, representa una combinación de varias disciplinas, altamente especializadas, que bien podrían rivalizar con cualquier aspecto de la tecnología espacial. Por ejemplo, la película KODAK EKTACHROME EF, para cinematografía, tiene un espesor total promedio de 5.97 milésimas de pulgada. De ese espesor total, el 12.9% o sean, 0.77 milésimas de pulgada, constituyen la emulsión y el resto viene a ser el soporte. Un hecho casi increíble, es que esas 0.77 milésimas de pulgada están formadas por 10 u 11 capas separadas, cuyo espesor varía de 0.01 a 0.16 milésimas de pulgada.

Examinemos estas capas y sus respectivas funciones.

CORTE TRANSVERSAL DE LA PELICULA KODAK EKTACHROME EF (5).

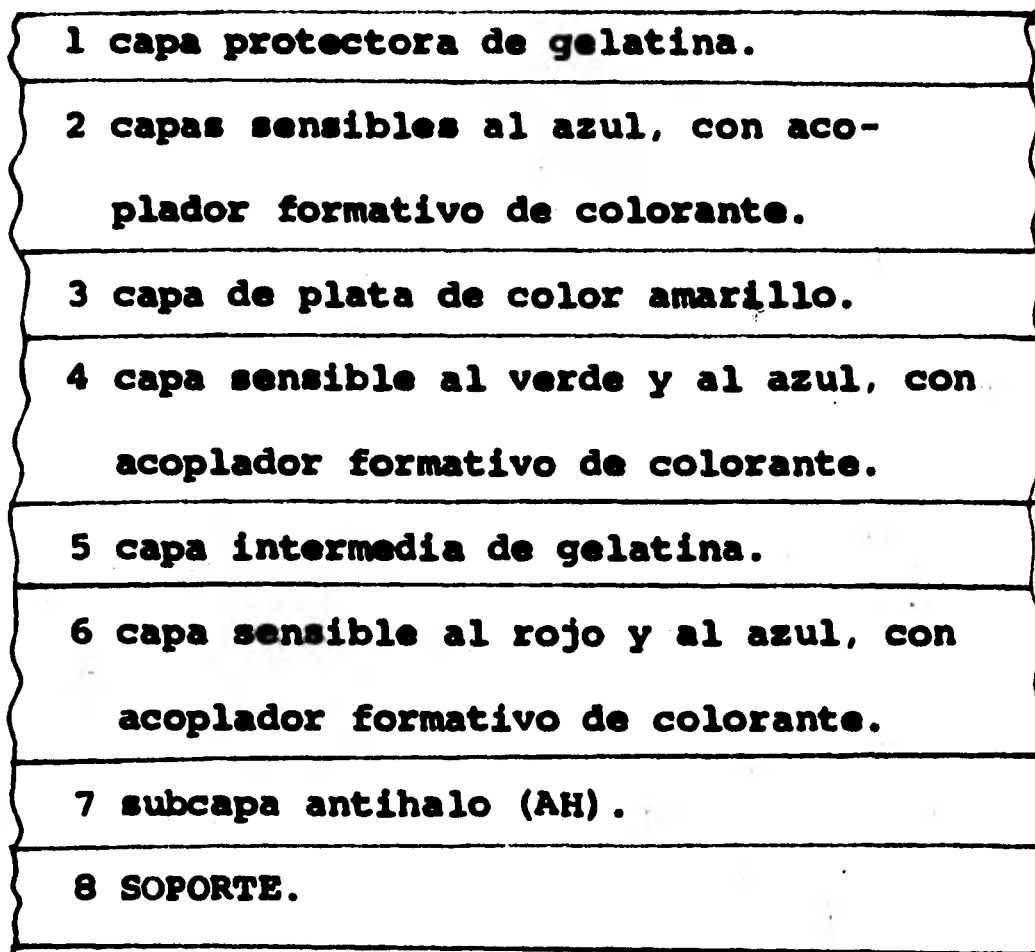


fig 1

Las funciones de cada capa son las siguientes:

1.- Esta capa protectora de gelatina, rara vez se usa, pero puede incorporarse como capa antiabrasiva o como filtro para radiación ultravioleta. Las emulsiones que son ligeramente mas sensibles a la radiación UV reciben mayor-exposición en la capa sensible al azul.

2.- La capa sensible al azul está formada por dos capas, una de baja sensibilidad y otra de mayor sensibilidad a la luz azul. Debido a que esta doble capa es sensible a la luz azul únicamente, registra solo la porción de la --

escena original que refleja luz azul ya sea pura o en -- combinación con los otros dos colores primarios aditivos. Durante el revelado de color, el acoplador formativo de colorante (AFC) incorporado en esta capa, produce una densidad de colorante amarillo que es inversamente proporcional a la exposición de la luz azul.

3.- Observando las capas 4 y 6 en el corte transversal ilustrado anteriormente, se puede ver que, además de su sensibilidad a los colores primarios verde y rojo, también son sensibles al azul. Esto significa que la luz azul que llegue a cualquiera de estas dos capas producirá una exposición indeseada. Para evitarla, entre las capas sensibles al azul, al azul/verde y al azul/rojo, se ha interpuesto un recubrimiento de plata coloidal que, debido al tamaño de sus partículas actúa como filtro amarillo. Esta capa de plata (Carey Lea), (CL) absorbe completamente toda la luz azul pero transmite la luz roja y verde -- permitiendo la exposición en las capas correspondientes.

4.- La capa sensible al verde está formada por dos recubrimientos, uno lento y otro rápido. Esta capa es sensible a la luz verde y registra únicamente la porción de la escena original que refleja luz verde pura o en combinación con los otros dos colores primarios aditivos. Durante el revelado de color, el acoplador formativo de colorante (AFC) incorporado en esta capa, produce una densi

dad de colorante magenta que es inversamente proporcional a la exposición original de la luz verde.

5. La capa intermedia de gelatina (5) que se muestra en el corte transversal sirve para separar las capas y también actúa como adhesivo.

6. La capa sensible al rojo consta de dos recubrimientos, uno que muestra baja sensibilidad y otro alta sensibilidad a la luz roja. Por ser sensible a la luz roja, esta capa registra únicamente la porción de la escena original que refleja luz roja pura o en combinación. Durante el revelado de color, el (AFC) incorporado en esta capa, produce una densidad de colorante cian que es inversamente proporcional a la exposición original de la luz roja.

7. El recubrimiento antihalo (AH) es una suspensión coloidal de plata en gelatina. El tamaño de las partículas de plata es tal, que la capa es visiblemente negra y, por lo tanto, absorbe toda la luz incidente que haya sido transmitida hasta ese nivel. El propósito de esta capa es evitar que la luz sea reflejada por el soporte, produciendo una exposición indeseable en la emulsión. Este tipo de exposición secundaria indeseable aparece en los positivos como un "halo" similar al que se ve alrededor de los faros de los automóviles o de las luces de la calle, en las noches de niebla.

8. La base de seguridad de acetato, actúa como soporte de la emulsión y muestra un índice muy bajo de combustión, que satisface las normas fijadas por los reglamentos locales (5).

En la actualidad el soporte varía de acuerdo a la aplicación que se dará a la fotografía, para la película cinematográfica el soporte debe llenar los siguientes requisitos: Transparencia óptica, que esté libre de imperfecciones, estabilidad química, que sea fotográficamente inerte y resistente a la humedad y a las sustancias químicas del proceso. La resistencia mecánica, la resistencia a las roturas, la flexibilidad, la estabilidad dimensional y el no tener distorsiones físicas, son características que también resultan importantes para los modernos procesos continuos (6).

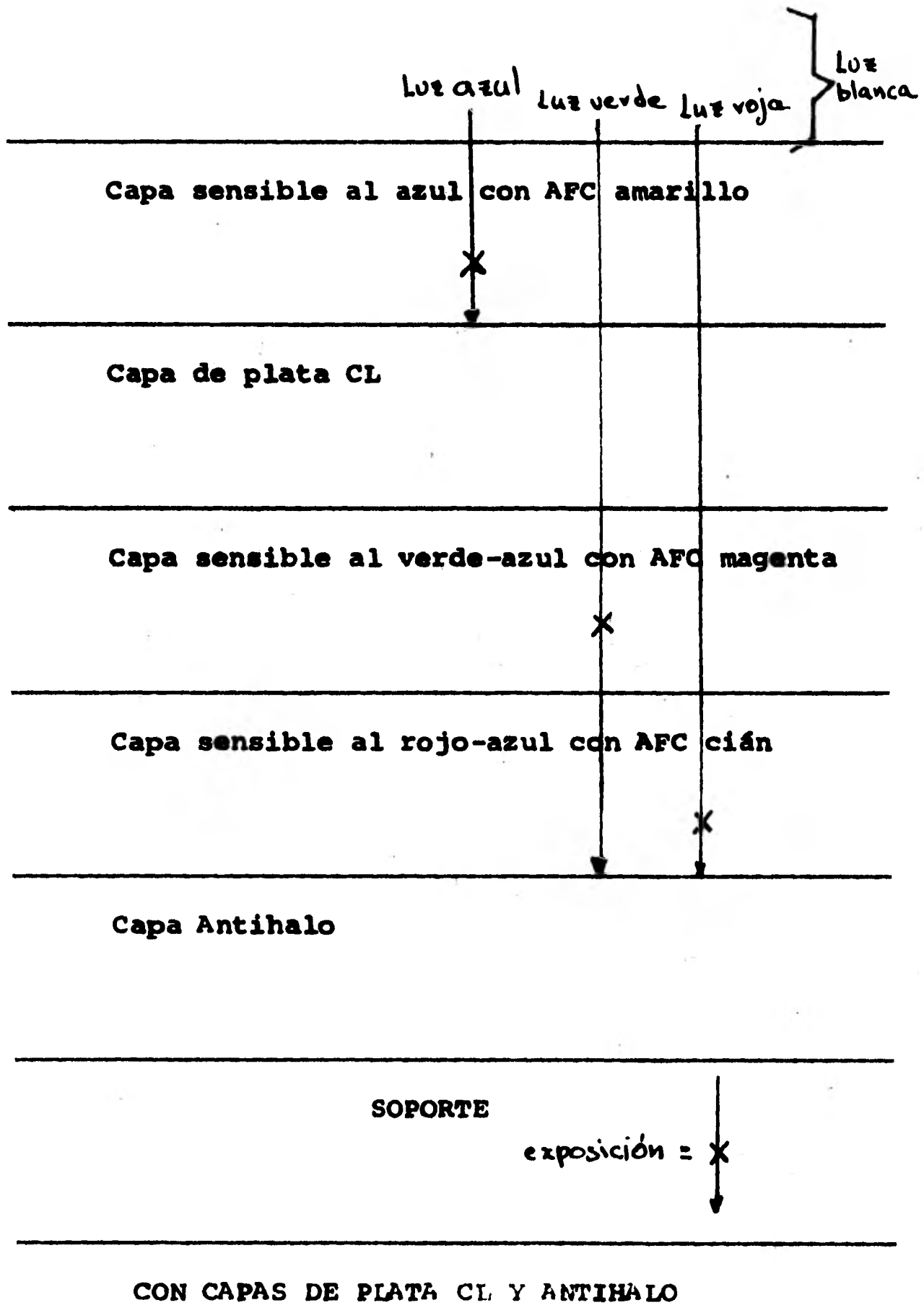
Existen dos tipos de soportes para películas, la de ésteres de celulosa y la de polímero sintético de poliéster, conocido como Base ESTAR. La base de éster de celulosa para película fotográfica, se hace combinando el éster de celulosa con los solventes adecuados y un plastificante. Actualmente, casi todas las películas cinematográficas, se recubren sobre una base de Triacetato de celulosa. Sin embargo, algunas películas reversibles para color se recubren sobre una base de propionato de acetato de celulosa, cuyas propiedades físicas son similares a las del

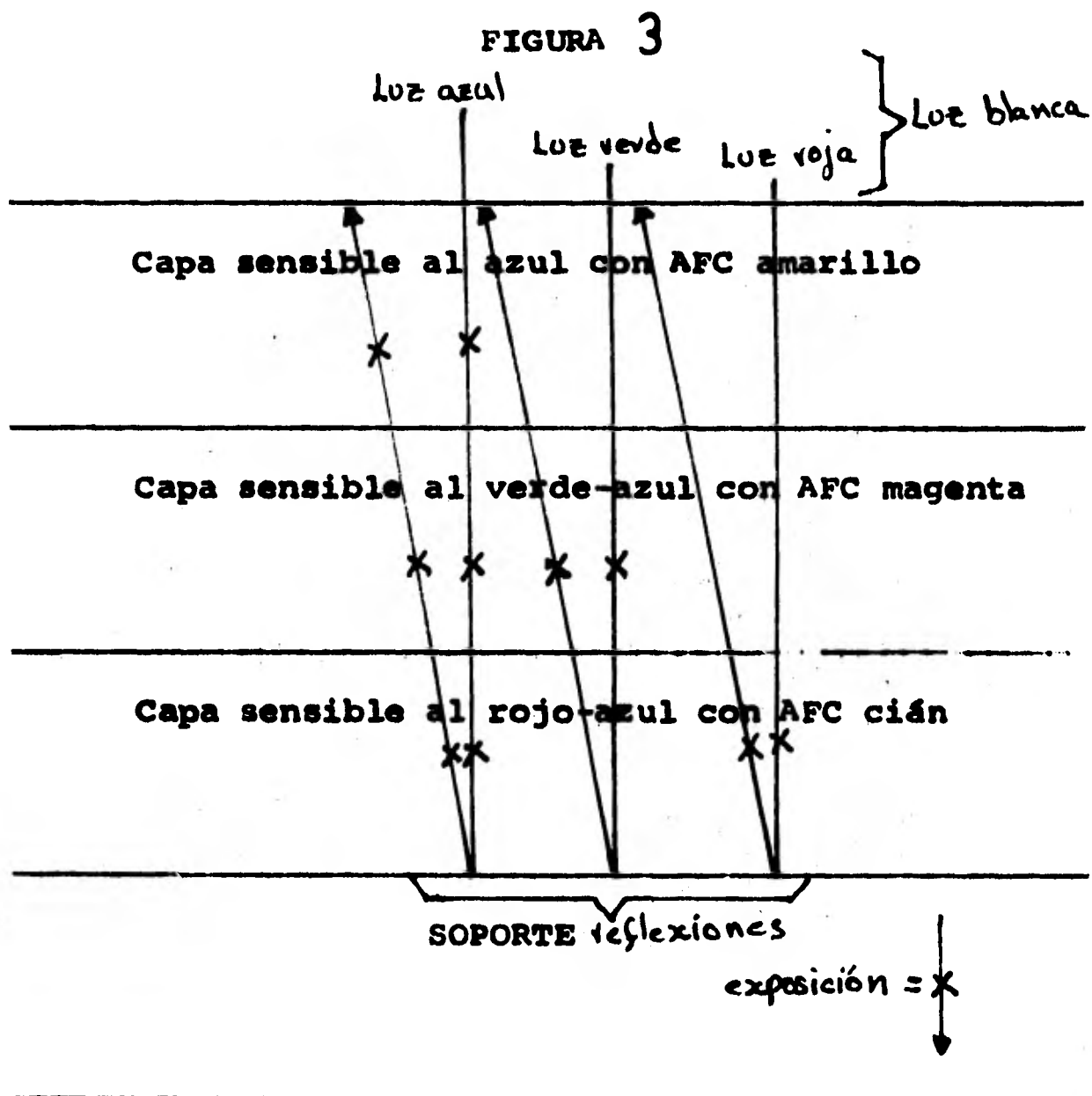
éster de celulosa.

La base ESTAR es un poliéster, tereftalato de polietileno, y se usa en algunas películas. Siendo esta Base de mayor resistencia, permitiendo la fabricación de películas más delgadas que, por lo mismo, requieren menor espacio para su almacenamiento. Por su estructura molecular, las películas con Base éstar o de poliéster, no pueden empalmarse con los cementos convencionales. Es necesario usar empalmadores a base de cinta, también pueden usarse empalmadores ultrasónicos (6).

Corte transversal condensado de película KODAK EKTA-CHROME, en el cual se ilustra la exposición secuencial a la luz blanca/azul/verde o roja (5).

FIGURA 2





SIN CAPAS DE PLATA CL Y ANTIHALO

Como se puede observar en el corte transversal ilustrado en la parte superior, si la película no tiene las capas de plata CL y AH, se producen exposiciones secundarias indeseables en las tres capas, lo cual origina imágenes distorsionadas, poco nítidas y con halo (5).

DIFERENTES TIPOS DE PELICULAS

MATERIALES REVERSIBLES: Cuando se trata de mantener el costo de la producción tan bajo como sea posible, la película reversible, tanto en blanco y negro como en color pueden resultar satisfactorias. Estas películas después de procesadas, dan una imagen positiva, directamente en la película expuesta en la cámara. Por lo tanto es posible proyectar la misma película de cámara.

El laboratorio puede producir copias reversibles, directamente del original o bien hacer un internegativo del cual se obtienen las copias necesarias. Este último método es el mas importante y mas económico, cuando se necesitan un número regular de copias (6).

Si se desean numerosas copias, debe usarse un original de cámara negativo y no uno reversible.

MATERIALES NEGATIVOS: El negativo de cámara en blanco y negro y de color, después de procesado, genera un original con imágenes negativas, lo que hace necesario imprimir a un positivo para evaluación, edición y proyección.

La disponibilidad de facilidades para procesar e imprimir debe confirmarse antes de proceder a filmar en este tipo de material.

Generalmente las películas negativas se emplean cuando el original no va a ser usado directamente o inmediata

mente; cuando se requieren efectos especiales o cuando se necesita una cantidad apreciable de copias (6).

PELICULAS KODAK BLANCO Y NEGRO

MATERIALES REVERSIBLES	RAPIDEZ	APLICACIONES	CARACTERISTICAS ESPECIALES
Película Kodak PLUS-X Tipo 7276	Media	Para interiores y exteriores con mucha iluminación artificial	Alto grado de definición, buen contraste y excelente reproducción de tonos
TRI-X Tipo 7278	Alta	Para fotografía en condiciones adversas de iluminación en interiores y exteriores, filmación de noticias y eventos deportivos	Excelente escala de tonos y control anti halo
4-X Tipo 7277	Alta	Para noticieros y eventos deportivos en condiciones adversas de iluminación, fotografía de alta velocidad	Alta sensibilidad, excelente control anti halo
MATERIALES NEGATIVOS			
Eastman PLUS-X Tipos 5231/7231	Media	Para uso general en producción en interiores y exteriores	
Eastman DOBLE-X Tipos 5222/7222	Alta	Filmación en interiores y exteriores en condiciones adversas de iluminación	Representa los últimos avances en la relación rapidez-granularidad.
Eastman 4-X Tipos 5224/7224	Alta	Para usar en condiciones adversas de iluminación	Habilidad excepcional para la reproducción del detalle de las sombras

PELICULAS KODAK COLOR

MATERIALES REVERSIBLES	APLICACIONES	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	MATERIALES PARA COPIA
Eastman Ektachrome Tipo 7252	Para Todo Tipo de producción en condiciones de alta iluminación	Diseñada para producir originales de bajo contraste, se pueden hacer copias con un contraste adecuado para proyección, no está diseñada ni se recomienda para ser proyectada.	Se usa un inter negativo Tipo 5271/7271 y las copias se hacen en película Eastman positiva Tipo 5381/7381
Ektachrome EF Tipo 5242/7242	Filmación en interiores con baja iluminación de eventos deportivos, noticieros y fotografía de alta velocidad	Para ser proyectada después de ser procesada, se pueden hacer copias de buena calidad para Televisión	Las copias se pueden hacer en película Eastman Ektachrome R para impresión Tipo 5389/7389
Ektachrome EF Tipo 5241/7241	Para condiciones de baja iluminación y fotografía de alta velocidad	De alta sensibilidad, balanceada para ser expuesta bajo luz de día, especialmente apropiada para proyección directa después de procesada, se pueden hacer copias de buena calidad	✓
Ektachrome M Tipo 5256/7256	Para análisis de datos y estudios de Ingeniería, fotografía de alta velocidad y fotografía deportiva bajo luz de día tenue.	Sensibilidad media, balanceada para luz de día, para proyectar después de procesada, se obtienen copias de buena calidad, excelente calidad de reproducción de colores y de imágenes con buena definición	✓
MATERIALES NEGATIVOS			
Eastman Tipo 5254/7254	Apropiada para filmar tanto en interiores como exteriores	De alta sensibilidad	✓

PELICULAS AGFA BLANCO Y NEGRO

MATERIALES NEGATIVOS	APLICACIONES	CARACTERISTICAS ESPECIALES	MATERIALES PARA COPIA
AGFA EFF (16mm)	Interiores y exteriores, excelente para usar en climas Tropicales	De baja sensibilidad, grano fino, excelente definición y gran poder de resolución	AGFA Positivo F (16 y 35mm) y AGFA Reversal Duplicating film (16mm)
AGFA IF (16mm)	✓	De media sensibilidad, grano muy fino, excelente definición	✓
AGFA ISS (16mm)	✓	De alta sensibilidad y grano excepcionalmente fino	✓
AGFA ISU (16mm)	✓	De máxima sensibilidad, excelente definición, grano relativamente fino	✓
AGFA IR (16 y 35mm)	Para exposiciones en condiciones de luz extremadamente pobres	De acuerdo con la sensibilidad el grano es excepcionalmente fino	✓
PELICULAS AGFA COLOR			
MATERIALES NEGATIVOS			
AGFA Color Tipos 3 y 4	Para interiores y exteriores con luz de Tungsteno o de día, para uso en climas Tropicales	Está disponible en todos los tamaños usuales	AGFA Color Positivo S (35mm) AGFA Color Positivo S3 (16mm)
MATERIALES REVERSIBLES			
AGFA Duplicating film (16mm) blanco y negro	Se pueden obtener copias de buena calidad	De grano fino	
AGFA Color Duplicating film (16mm)	Se pueden hacer copias del original sin el uso de un internegativo		

PELICULAS FUJI: Los materiales de esta marca se resumen en uno que ha sido lanzado al mercado hace poco tiempo, hablando de materiales negativos ya que, tiene una -- gran diversificación de aplicaciones (8).

FUJICOLOR NEGATIVE FILM A250 (35 mm tipo 8518 y 16mm 8525): Entre sus propiedades generales se puede mencionar que es una película de color de velocidad ultrarrápida -- con un índice de exposición de 250.

Con su velocidad alta es de grano fino y de alta definición, es adecuada para todo tipo de usos, pero especialmente para interiores y exteriores donde las condiciones de luz son bajas, incluyendo aplicaciones especializadas como tomas nocturnas submarinas y fotografía de alta-velocidad.

Este material se puede encontrar en diferentes tipos de paquetes, como los siguientes:

35mm	61m	(200ft), tipo 35 P2
	122m	(400ft), tipo 35 P2
	305m	(1000ft), tipo 35 P2
16mm	30.5m	(100ft)
	61m	(200ft)
	122m	(400ft)
	366m	(1200ft)

FUJICOLOR POSITIVE FILM HP (35mm tipo 8814, 35/16mm-tipo 8824, 16mm tipo 8824, 35/8mm tipo S 8824, 16/8mm ti-

po S 8824, 16/8mm tipo R 8824): Este es un material positivo a color de alta definición y grano fino. está diseñada para proceso rápido y de alta temperatura.

Las casas KODAK, AGFA y FUJI son las que dominan el mercado nacional.

CRITERIO PARA LA SELECCION DE UNA PELICULA

El criterio para la selección de una película se basa en los siguientes factores:

- 1) El tipo final de película deseada; color o blanco y negro con o sin sonido.
- 2) El tipo de iluminación y la sensibilidad o índice de exposición de la película que se va a usar.
- 3) Filtración requerida en caso de ser necesaria.
- 4) Formato final deseado: 35mm, 16mm, 8mm o super 8.
- 5) Número de copias requerido.
- 6) Tipo de proceso o impresión disponibles localmente.
- 7) Preferencia por alguna casa comercial.

El término índice de exposición se refiere a un número que puede usarse con medidores fotoeléctricos (exposímetros), para ayudar a determinar la exposición correcta.

La mayoría de los exposímetros tienen escalas marcadas en índices de exposición (I.E.) o bien en valores ASA.

Su magnitud varía con la sensibilidad y la latitud de la emulsión, con el revelador, con el uso que vaya a -

darse a la película y con la calidad espectral de la luz que ilumina al sujeto. Para poder proporcionar buenos resultados bajo condiciones variadas, el índice de exposición incluye un factor de seguridad, cuya magnitud depende de la latitud de la película y de los requisitos del proceso de reproducción. A la fecha de esta publicación no existen normas ANSI para determinar el índice de exposición de películas (6).

En situaciones en las que la iluminación es muy baja o en las que no puede medirse la luz reflejada, se pueden usar ciertos medidores para determinar la iluminación --- (luz incidente), directamente en bujías-pie.

Para lecturas hechas en esta forma, es conveniente referirse a una tabla de la abertura del lente para una determinada velocidad de cámara y valores de iluminación en bujías-pie. La información, tanto para luz de tungsteno como para luz solar, se incluye en las hojas de especificaciones de la películas para las que dicha información puede ser útil. Es esencial que el exposímetro esté calibrado para leer la iluminación en bujías-pie (6).

Como se puede observar es muy importante medir o saber el índice de exposición para lograr los mejores resultados posibles y que la película pueda dar toda la información necesaria al estudiarla posteriormente.

ALMACENAMIENTO Y CUIDADO DE LAS PELICULAS

Otro aspecto muy importante es el almacenamiento y cuidado de la películas, tanto en material virgen o sea sin exponer, en material que ya ha sido expuesto y todavía no está procesado y finalmente en película ya expuesta y procesada que se almacenará para estudios posteriores. Se da un resumen de las condiciones que deben imperar para mantener en óptimo estado el material fotográfico y poder obtener la máxima calidad.

Estas condiciones se dan en forma generalizada, aunque cada casa comercial tiene sus valores definidos, pero las condiciones dadas a continuación se pueden utilizar para cualquier material que se haya empleado.

ALMACENAMIENTO DE LA PELICULA VIRGEN

EN SU ENVASE ORIGINAL

HUMEDAD RELATIVA: La cantidad de humedad que contiene la película fotográfica al estar en equilibrio, la determinan sus propiedades químicas y la humedad relativa, no absoluta, del aire. La humedad relativa es la razón, expresada como porcentaje, entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la cantidad máxima de vapor de agua que puede retener el aire, a la misma temperatura.

Para medirla, se recomienda el uso de un sicrómetro; sin embargo, en una cámara pequeña para almacenamiento, resulta satisfactorio un indicador de humedad calibrado,

como los de uso doméstico.

La película virgen se empaqa en latas selladas con cinta adhesiva, que asegura el cierre hermético y por lo tanto, no es necesario almacenarla en áreas cuidadosamente controladas, MIENTRAS NO SE ROMPA EL SELLO. Con el fin de evitar el intercambio de humedad, entre el rollo y el medio ambiente, es recomendable conservar la cinta original que sella la lata, hasta que se vaya a usar la película. Debe evitarse la humedad relativa, excesivamente alta de 70% o mayor, en el area de almacenamiento, debido a que propicia el crecimiento de bacterias y ocasiona herrumbre en las latas. Antes de romper el sello, la baja humedad no afecta para nada a la película virgen (4).

TEMPERATURA: Entre mas baja sea la temperatura a la que se mantiene la película, más lento es el cambio de sus propiedades sensitométricas, con el tiempo. Para periodos de almacenamiento de aproximadamente seis meses, la película virgen, tanto para color como para blanco y negro, debe guardarse a una temperatura de 13°C (55°F) o menor, Además, se recomienda que esta temperatura sea constante durante todo el periodo de almacenamiento. Si se desea que los cambios en las propiedades originales sean mínimos.

La película cinematográfica, sin exponer, debe usarse dentro de los siguientes seis meses, a partir de la fecha

cha en la que la recibe el usuario. Aunque la película se puede conservar sin que cambien sus propiedades por periodos más largos, a temperaturas menores de 13°C, no es aconsejable hacerlo desde el punto de vista comercial. El deterioro fotográfico, independientemente de la temperatura a la que se mantiene la película, continúa lentamente, por lo que es preferible renovar la existencia con mayor frecuencia.

La película virgen debe almacenarse en un congelador a temperaturas de entre -18 y -23°C (0a 10°F), en caso de que sea necesario almacenarla más de seis meses o también si se va a usar en situaciones que requieren resultados muy uniformes. Almacenando la película, bajo estas condiciones, es posible minimizar el deterioro, aunque no se evita completamente. Después de sacar la película virgen del congelador, debe dejarse ambientar hasta que ya no haya condensación de humedad en el exterior de la lata. El tiempo de ambientación depende del espesor del paquete, del tipo de aislamiento usado, de la temperatura y de la condensación que se forme al ser expuesta al aire exterior. Para película en paquetes normales, se puede usar la siguiente tabla como guía, para obtener tiempos de ambientación.

tiempo de ambientación
(horas)

Empaque de película	tiempo de ambientación (horas)	
	aumento de 14°C (25°F)	aumento de 55°C (100°F)
8mm	1	1-1/2
cargador super 8	1	1-1/2
16mm	1	1-1/2
35mm	3	5

Cualquier condensación de humedad que ocurra dentro de una lata sellada cuando está refrigerada, es inofensiva porque hay tan poco aire adentro, que la cantidad de vapor de agua que puede contener, es prácticamente infinitesimal. La única posibilidad de daño, por la condensación de la humedad, ocurre cuando la lata se saca de un lugar frío y no se le da el tiempo necesario para ambientarse antes de romper el sello.

PROTECCION CONTRA GASES DAÑINOS Y RADIACION: Ciertos gases, como el formaldehído, el sulfuro de hidrógeno, el amoniaco, el que se usa para iluminación, el de los escapes de los motores y los vapores que producen los solventes, las bolas de naftalina, los limpiadores, el aguarras los fungicidas y el mercurio, pueden dañar las emulsiones fotográficas (6).

Las latas que se usan para empacar las películas cinematográficas, dan una protección adecuada contra algu--

nos gases, pero otros pueden penetrar lentamente, a través del sello de cinta adhesiva. Lo más seguro es mantener la película alejada de este tipo de sustancias.

La película virgen expuesta, no debe guardarse o embarcarse cerca de fuentes de rayos roengten (rayos X), radio u otros materiales radioactivos. Por ejemplo, película almacenada a 8 metros de distancia de 100 miligramos de radio, debe protegerse con una lámina de plomo de 8.89 centímetros de espesor, en torno a la fuente radioactiva.

Cuando el material virgen se embarca por la vía aérea, su empaque debe marcarse visiblemente con etiquetas, para que no se expongan a rayos X.

PROTECCION CONTRA DAÑOS FISICOS: Los cuartos donde se almacena la película cinematográfica virgen, deben estar diseñados de tal manera, que la película no pueda ser dañada por inundaciones accidentales causadas por tormentas o tubos de agua o de drenaje en mal estado. La película debe ser almacenada a por lo menos 15 cm. del suelo.

Los cuartos cuyo enfriamiento sea artificial, deben construirse y aislarse de manera que la humedad no se condense sobre las paredes. Como se indicó, el control de humedad relativa abajo de 70% no es crítico, mientras las latas no se hayan abierto.

Las películas no deben almacenarse cerca de tuberías para agua caliente o en lugares en los que el sol llegue-

diréctamente, aunque el local tenga acondicionamiento de aire. La temperatura del lugar que se use para almacenamiento, debe mantenerse lo más uniforme posible, mediante una circulación de aire adecuada, para que todos los rollos de película se mantengan en idénticas condiciones.

Si el edificio no es a prueba de fuego, se debe instalar un sistema automático de extinguidores (6).

ALMACENAMIENTO DE LAS PELICULAS SIN PROCESAR ANTES Y DESPUES DE LA EXPOSICION: Después de haber abierto el empaque de la película, esta queda sin protección y está sujeta a las condiciones del ambiente. La humedad relativa y las temperaturas altas, frecuentemente causan cambios indeseables en la imagen latente. La película expuesta, especialmente la película para color, se deteriora más rápidamente que la que no está expuesta. Es importante, por esta razón, que las películas se expongan y se procesen lo más pronto posible después de abrir la lata.

No debe dejarse la película en la cámara o en el magasin, más del tiempo estrictamente necesario. En casos en los que sea necesario cargar los magazines con mucha anticipación, deben guardarse en una caja metálica hermética hasta que se vayan a usar. Tanto las cámaras que contengan película, deben protegerse del sol directo, aún en climas templados y no deben dejarse en lugares cerrados, donde el calor del sol o de otras fuentes, eleven la tem-

peratura. Sin aire acondicionado, la temperatura en los --
 automóviles cerrados, en los aviones o en las bodegas de -
 los barcos, puede llegar a 60°C (14°F) o más. Si la peli--
 cula es sometida unas cuantas horas a estas condiciones, -
 antes o después de ser expuesta, su calidad fotográfica --
 puede verse afectada severamente.

Por lo lento de la transferencia de humedad, a través
 de un rollo grande de película cinematográfica, no es recom
 mendable usar desecantes. Es, por lo tanto, más fácil evi-
 tar que se someta a altas humedades relativas. Si, por al-
 guna razón, hay retrasos de un día o más en la filmación, -
 cualquier magasin que contenga película, debe quitarse de
 la cámara y guardarse en una caja a prueba de humedad. Con
 esto se evita una absorción excesiva de humedad, hasta la-
 reanudación de la filmación. Inmediatamente después de ser
 expuesta la película debe regresarse a su lata, la cual se
 sella nuevamente, para que la humedad no sea mucho mayor -
 que la que haya absorbido durante la filmación. Si no exist
 te forma de procesar inmediatamente la película expuesta, -
 debe guardarse a -18°C (0°F).

ALMACENAMIENTO DE LA PELICULA PROCESADA: La película-
 cinematográfica, ya procesada, no exige los mismos requisit
 os que la película virgen, puesto que ya no es fotosensi-
 ble y los periodos de almacenamiento son, generalmente a -
 largo plazo. Las condiciones de almacenamiento a emplear, -

dependen de ciertas consideraciones tales como el valor de los originales o copias y el tiempo durante el cual se vayan a almacenar.

El proceso es uno de los factores más importantes en lo que respecta a la permanencia de las imágenes fotográficas. La efectividad del lavado es particularmente importante, pues las sales de tiosulfato que quedan en el material procesado, pueden desaparecer la imagen de plata, de una película en blanco y negro, sobre todo bajo condiciones de alta humedad y temperatura, al convertir la imagen, parcialmente, en sulfuro de plata. Las sales de tiosulfato -- que quedan en las películas de color, también pueden ocasionar la desaparición de las imágenes de colorante. El efecto que tengan estas sales, depende del tipo de colorante, pero si causan un cambio indeseable en el balance de color y otros deterioros en la imagen.

Se sugieren a continuación algunas formas para almacenar la película en color, siendo válidas algunas para blanco y negro también.

1.- Cada rollo de película, debe recibir un lavado adecuado para eliminar los residuos de sustancias químicas.

Es importante asegurarse de que el nivel de hiposulfito que permanece en la película no sobrepase el máximo recomendable.

2.- La película debe tratarse con el baño estabiliza-

dor recomendado, durante el tiempo necesario para dar a la imagen la máxima estabilidad.

3.- Los agentes humectantes para evitar manchas de -- agua así como los detergentes para limpiar la película procesada, deben seleccionarse con mucho cuidado. Los compuestos fungicidas que contienen algunos humectantes, pueden -- ser perjudiciales para los colorantes.

4.- Si se usan soluciones alcalinas o detergentes para la limpieza, la película debe lavarse y volverse a lu--bricar, si va a usarse nuevamente.

5.- La película no debe guardarse en lugares en los -- que haya vapores de ácidos, emanaciones de bióxido de sulfuro, de peróxido o de sulfito de hidrógeno.

Para almacenar películas cinematográficas en blanco y negro, durante periodos cortos, la película debe mantenerse abajo de 24°C (75°F) y la humedad relativa a menos de -- 60%. Para guardarla durante periodos más largos, se reco--mienda una temperatura menor de 21°C (70°F) y una humedad--relativa de entre 15 y 50%. Para el material que se va a -- usar con muy poca frecuencia pero cuya vida útil debe conservarse al máximo, la temperatura que se recomienda es de --18°C (0°F) o menor.

En el caso de las películas cinematográficas en color si el tiempo de almacenamiento es corto, la temperatura de --be ser de 21°C, (70°F) aproximadamente y la humedad relati

va de entre 40 y 50%. Existen varios métodos para almacenar películas con imágenes de colorante, durante periodos largos, que no se van a discutir en esta obra por requerir bastante detalle (6).

LIMPIEZA Y LUBRICACION: Las copias para exhibición, deben limpiarse y lubricarse siempre, antes de usarse, para evitar que se atoren y que las perforaciones se dañen prematuramente en proyección. La emulsión, a base de gelatina, de una copia recién procesada, generalmente está -- blanda y tiende a pegarse. Se endurece hasta que el filme se proyecta varias veces. En esta etapa de fraguado final el filme tiene tendencia a frenarse en la ventanilla del proyector, lo cual aumenta las posibilidades de que se dañen las perforaciones. La acumulación de pequeñas partículas de gelatina, en las superficies metálicas de la ventanilla, forma depósitos que rayan el filme y, al mismo --- tiempo, aumenta la tensión de la ventanilla. Si un filme, en su primera proyección, tiene vibración y hace ruido, - es muy posible que no haya sido lubricado en el laboratorio de proceso.

Es posible limpiar y lubricar los filmes en formatos de 8 y de 16mm., usando telas suaves, limpias y que no -- desprendan pelusa, humedecidas con lubricante Kodak o un equivalente. Los limpiadores que contienen detergentes no son recomendables porque producen decoloración o remoción

parcial de los colorantes, en algunos materiales positivos. En los filmes en blanco y negro, pueden producir una pérdida de densidad después de varias limpiezas. Los siguientes tipos de textiles se pueden usar para limpiar filmes: Franela de buena calidad, terciopelo de pelo corto, de rayón o de nylon o una batista de algodón suave.

Las telas deben ser blancas, sin tinte, sin agregados para atiesar o mejorar la textura y estar recién lavadas.

Es necesario seguir los siguientes pasos cuando se limpie un filme: (1) pasar el filme a una bobina receptora; (2) regresarlo a la bobina de alimentación, pasándolo en medio de la tela humedecida con CCl_4 con cera de abeja (3) con una mano se mantiene una ligera presión para que haya contacto entre la superficie del filme y la tela humedecida; (4) llevar a cabo esta operación, lentamente, para que el limpiador se evapore completamente antes de reenrollar el filme; (5) humedecer la tela frecuentemente ya que el solvente se evapora rápidamente; (6) voltear la tela varias veces para que únicamente se toque la película con áreas limpias y así evitar la acumulación de partículas que rayen la película. Si el limpiador no contiene lubricante, es necesario repetir la operación para lubricar la película.

Si aparecen bandas sobre la superficie del filme des

pués de lubricarlo, generalmente se quitan pasándolo por una tela suave.

Si se aplicó pista de sonido magnético, es conveniente hacer una prueba, antes de usar el solvente o aplicar laca, sobre un tramo que no sirva. Esto es para asegurarse que el limpiador o la laca no deterioran la pista magnética. Si se llegara a ablandar o a deformar la pista, habrá que usar otro limpiador o laca.

Capítulo 3

- 1.- El control químico en el laboratorio de procesado de películas.
- 2.- Procesos para película de color, blanco y negro.
- 3.- Control del proceso.
- 4.- Pasos del proceso para color, blanco y negro.
- 5.- Análisis cuantitativos de cada baño de proceso.
- 6.- Concepto de reforzamiento.
- 7.- Breve resumen de reactivos que se pueden recuperar de los baños agotados, por economía y para evitar contaminación.
- 8.- Equipo de proceso.
- 9.- Condiciones de operación.
- 10.- Diagramas de flujo del proceso de color y la codificación del equipo.

EL CONTROL QUIMICO EN EL LABORATORIO DE
PROCESADO DE PELICULAS

El procesado fotográfico envuelve muchos controles - individuales, tales como: asegurar la adecuada calidad de los productos químicos empleados en la preparación de las soluciones de revelado, determinar las condiciones óptimas de almacenaje de dichos químicos antes y después de la preparación de las soluciones, asegurar que se mantenga - el standard de concentración químico o grado de pureza.

Los principios de Química o Ingeniería aplicada al - procesado de películas pueden resultar en bajo costo con alta calidad fotográfica de los materiales procesados. En un laboratorio de procesado fotográfico funciona una serie de procesos químicos controlables y son: Los métodos analíticos, preparación y almacenaje de soluciones y el - proceso fotográfico. Cuando estos son controlados correctamente, los costos bajan y la calidad del material procesado es evidente.

El departamento químico hace el papel de una llave - maestra al regular cada uno de los procesos, aplicando en todos sus aspectos el control de calidad.

Como los análisis químicos deben hacerse tanto de -- las soluciones de refuerzo como de las soluciones de trabajo de las máquinas, es deseable instalar el laboratorio químico en un lugar que sea conveniente tanto al departa-

mento de preparación de baños como al departamento de revelado.

PERSONAL: Para un laboratorio pequeño, una persona bien entrenada puede hacerse cargo de todos los ajustes y controles del proceso, esto incluye: muestras y análisis de soluciones nuevas para refuerzos y soluciones de trabajo de las máquinas, exposición y lectura de las tiras sensitométricas de control, revisión de gráficas de control, velocidad de las máquinas, control mecánico de temperatura, control e interpretación de todos los resultados.

Puesto que todo esto significa una considerable responsabilidad, es recomendable emplear un Químico o Ingeniero Químico para este puesto.

El químico puede determinar cuales análisis deben hacerse y con que frecuencia. Al implantar un proceso se recomienda hacer análisis frecuentemente, quizás cada dos o tres horas, para obtener la información necesaria para regular las fórmulas y volúmenes de realimentación. Una vez establecido el proceso, los análisis pueden hacerse de acuerdo a un esquema definitivo tal como lo amerite el trabajo, la máquina, etc. (9).

**PROCESOS PARA LA PELICULA DE
COLOR Y BLANCO Y NEGRO**

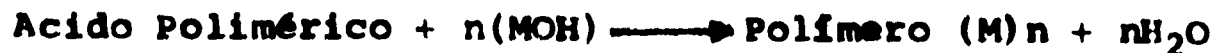
PASOS DEL PROCESO PARA PELICULA NEGATIVA (COLOR)

Dichos pasos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- 1.- Prebaño
- 2.- Removedor del respaldo antihalo y enjuague
- 3.- Revelador
- 4.- Detenedor o solución de paro
- 5.- Lavado
- 6.- Blanqueador
- 7.- Lavado
- 8.- Fijador
- 9.- Lavado
- 10.- Estabilizador
- 11.- Photo-Flo o Humectante
- 12.- Secado

Paso 1.- Prebaño.

En este primer paso del proceso, la capa antihalo es ablandada para quitarla posteriormente mediante rociado de agua, antes de entrar al revelador. Se usa una solución alcalina con pH mayor de 8, la reacción que se lleva a cabo es la siguiente (11).



Composición de la solución alcalina:

Agua	800 ml.
Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	20 gr.
Sulfato de sodio (Na_2SO_4)	100 gr.
Sosa (NaOH)	1 gr.
Agua hasta	1 lt.

pH de la solución 9.30 ± 0.1 (11).

Paso 2.- Removedor del respaldo antihalo y enjuague.

La película es rociada con agua a presión por ambos lados, este enjuague remueve el respaldo antihalo. El enjuague debe realizarse con aguas blandas para evitar la formación de sales poliméricas de calcio y magnesio y haciendo que se aglutine el respaldo.

Dureza del agua: 60 mg/l máximo de iones calcio.

Paso 3.- Revelador

Cuando la película es expuesta a la luz, en el seno de la emulsión se produce una modificación invisible, que lleva el nombre de imagen latente. Esta aparece cuando se hace actuar sobre ella, una sustancia denominada revelador, este hace que la imagen latente se vuelva visible.

El revelador debe contener cuatro ingredientes principales.

- a) Un agente revelador.
- b) Un acelerador.
- c) Un preservador.

d) Un inhibidor.

Una composición cuantitativa es la siguiente:

Agua (20-30°C)	850 ml.
Anti-calcio Kodak No. 4	2 ml.
Sulfito de sodio (Na ₂ SO ₃)	2 gr.
Antivelo Kodak No. 9	0.22 gr.
Bromuro de sodio (NaBr)	1.2 gr.
Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃)	25.6 gr.
Bicarbonato de sodio (NaHCO ₃)	2.7 gr.
CD-3	4 gr.
Agua hasta	1 lt.

a) Agente revelador.

El CD-3 actúa como agente revelador, va a reducir los bromuros de plata de la emulsión en plata. Esta queda en la gelatina y forma la imagen fotográfica (11).



El producto de la oxidación reacciona con los copulantes cromógenos incorporados en cada capa, produciendo así las imágenes coloreadas.

b) Sustancia aceleradora.

Su función es activar la reacción química y el mantener un pH alto en la solución reveladora.

Na₂CO₃ sustancia principal

NaHCO₃ sustancia secundaria

También neutraliza el ácido bromhídrico que se forma al reducir el bromuro de plata (11).



c) Preservador

Durante el revelado hay oxidación por el aire y por el bromuro de plata, el revelador al oxidarse se ennegrece y pierde su poder reductor.

En este caso el sulfito de sodio actúa como preservador, ya que, reacciona con los productos formados al oxidarse el revelador.

d) Inhibidor

El inhibidor o retardador, reduce la acción demasiado rápida del agente revelador sobre la emulsión de la película.

Factores que afectan el revelado:

- 1.- Tiempo de revelado.
- 2.- Temperatura de la solución.
- 3.- Agitación durante el baño.
- 4.- Actividad del revelador, determinada por su composición inicial, pH y grado de agotamiento.

Paso 4.- Detenedor o solución de paro.

Cuando la película es retirada del revelador, está saturada de este, y no solamente continúa el revelado, sino que la solución que lleva consigo puede ejercer una in

fluencia desfavorable sobre la actividad y estabilidad -- del baño siguiente. Es por ello que se usa un baño de paro después del revelador. Este baño está constituido de -- una solución ácida, fuertemente diluida.

Agua (20-38°C)	900 ml.
Acido sulfúrico 7N	50 ml.
Agua hasta completar	1 lt.

Frena rápidamente la acción del revelador sobre las -- capas sensibles por neutralización del álcali. La brusca -- disminución del pH que se produce, disminuye la energía -- del revelador.

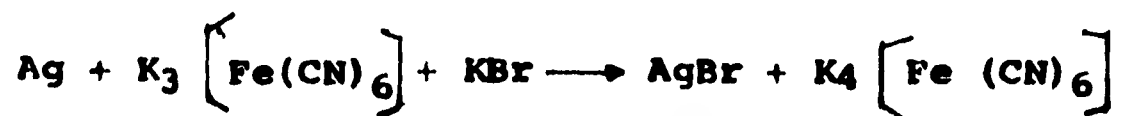
Paso 5.- Lavado.

Este lavado se realiza con el fin de evitar el trans -- porte de productos químicos al siguiente recipiente, el -- del blanqueador.

Paso 6.- Blanqueador.

La función del blanqueador es convertir la plata me -- tálica de la imagen fotográfica formada durante el revela -- do en haluros de plata, los cuales serán eliminados en el -- fijador.

La reacción química que se efectúa es: en forma es -- quemática.



La acción del ferricianuro de potasio, es relativa -- mente lenta. Para que el blanqueo se desarrolle de una --

forma suficientemente rápida, se hace necesaria la intervención del bromuro de potasio (11).

Composición de la solución de blanqueo.

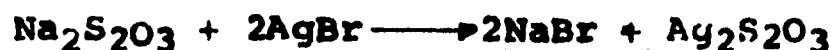
Agua	800 ml.
Ferricianuro de potasio $K_3 [Fe(CN)_6]$	50 gr.
Bromuro de potasio (KBr)	20 gr.
Agua hasta	1 Lt.

Paso 7.- Lavado

El propósito, es eliminar de la película el blanqueador que no haya reaccionado, impidiendo así la contaminación del fijador.

Paso 8.- Fijador.

Aquí es donde los haluros de plata sin exponer de la película, se eliminan. En el fijado los haluros de plata se convierten en sales solubles en agua.



El $Ag_2S_2O_3$ también es insoluble en agua, pero en presencia de exceso de tiosulfato, se forma una sal doble en una reacción ulterior que es soluble en agua (12).

Composición del fijador.

Agua	600 ml.
Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$)	240 gr.
Sulfito de sodio (Na_2SO_3)	15 gr.
Acido cérico al 28%	48 ml.
Acido Bórico	7.5 gr.

Alumbre de potasio con $12H_2O$ 15 gr.

Agua hasta 1 Lt.

El tiosulfato de sodio actúa como preservador.

Paso 9.- Lavado.

El propósito de este lavado, es el de eliminar de la película los residuos del complejo soluble de sales de tiosulfato de plata y el tiosulfato de sodio no usado (12).

Paso 10.- Estabilizador.

Este baño es para estabilizar los colorantes de la imagen y reducir su tendencia a decolorarse después del proceso.

Composición del estabilizador

Agua 750 ml.

Fosfato dibásico de sodio (NaH_2PO_4) 8 gr.

Acido acético 4.5 ml.

Agua hasta 1 Lt.

Paso 11.- Photo-flo

Antes del secado de la película, se recomienda emplear un baño de humectación. Este tratamiento acelera el secado, permite un secado uniforme y evita la formación de manchas.

Composición de la solución.

Humectante 5 ml.

Agua hasta 1 Lt.

Composición del humectante.

Tergitol 2.8 ml.

Agua hasta 1 Lt.

Paso 12.- Secado.

Esta es la parte del proceso durante la cual, la humedad que absorbió la película se evapora, reduciéndola a un nivel satisfactorio (12).

CONTROL DEL PROCESO

A causa de la complejidad del tratamiento, el control debe extenderse a diferentes dominios. Se usan tres procedimientos:

- a) Control mecánico y físico.
- b) Control químico.
- c) Control fotográfico y sensitométrico.
- a) Control mecánico y físico.

Este control es el más detallado y su frecuencia es mucho más grande. Hay que efectuar un buen número de verificaciones.

- 1.- Control de temperatura.
- 2.- Control de la velocidad de pasada de la película
- 3.- Control de la agitación.
- 4.- Control de la circulación y la filtración.
- 5.- Control de los filtros y de las láminas de aire.
- 6.- Control del aparato de regeneración.

b) Control químico.

Este tiene por misión, el verificar la composición - de las diferentes soluciones o baños y, como consecuencia remediar las anomalías en el caso de que los resultados - fotográficos no den ninguna satisfacción.

c) Control fotográfico o sensitométrico.

Sensitometría puede definirse como la evaluación --- científica de la respuesta de los materiales fotográficos a la luz y a su proceso químico.

Este tipo de control sirve para vigilar la calidad - del tratamiento sobre la base de resultados prácticos y - de ensayos sensitométricos. Con este control se da una i- dea general del desarrollo del tratamiento en conjunto.

Los resultados se presentan generalmente bajo forma- de curvas sensitométricas (11).

PASOS DEL PROCESO PARA PELICULA

POSITIVA COLOR

- 1.- Prebaño.
- 2.- Enjuague a presión con espreas.
- 3.- Revelador.
- 4.- Enjuague a presión con espreas.
- 5.- Primer baño fijador.
- 6.- Lavado.
- 7.- Blanqueador.
- 8.- Lavado.

- 9.- Revelador de la pista de sonido.
- 10.- Lavado
- 11.- Segundo baño fijador.
- 12.- Lavado.
- 13.- Baño estabilizador.
- 14.- Secado.

La mayoría de los pasos del proceso tienen la misma función sobre la película tanto negativa como positiva.

Por lo tanto, se mencionarán solo los pasos en los cuales hay alguna diferencia.

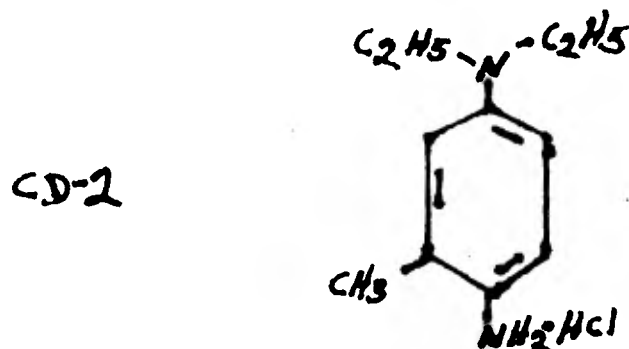
Paso 3.- Revelador.

El revelador actúa igual que en negativo, lo mismo, - que cada uno de los componentes de la fórmula, solo cambia el agente revelador propiamente dicho.

Composición del revelador:

Agua a 21-24°C	800 ml.
Hexametafosfato de sodio	2 gr.
Sulfito de sodio	4 gr.
Agente revelador CD-2	3 gr.
Carbonato de sodio	20 gr.
Bromuro de potasio	2 gr.
o Bromuro de sodio	1.7 gr.
Agua hasta	1 Lt.

pH a 21°C es de 10.65 ± 0.05



Paso 7.- Blanqueador.

Composición del blanqueador:

Agua a 21-24°C	800 ml.
Bromuro de potasio	20 gr.
o Bromuro de sodio	17 gr.
Dicromato de potasio	5 gr.
Alumbre de potasio dodecahidratado	40 gr.
Agua hasta	1 Lt.

El dicromato de potasio actúa como agente oxidante -- además endurece la emulsión.

El alumbre facilita el blanqueo.

Paso 9.- Revelador de la pista de sonido.

El sonido se registra en las películas en dos formas; magnéticamente o por un sistema fotográfico, donde la luz se modula ópticamente.

La pista magnética se puede aplicar a la película antes o después de que ésta haya sido expuesta y procesada.

El sonido fotográfico, se hace generalmente, al mismo tiempo que se imprime la imagen.

La pasta o revelador de sonido, revela las haluros de plata, solo en el área de la pista de sonido, convirtiéndolos en imagen de plata metálica.

COMPOSICION DEL REVELADOR DE LA PISTA DE SONIDO

Parte A

Agua	500 ml.
Goma Tragacanto	28 gr.

Parte B

Agua	300 ml.
Hidroquinona	120 gr.
Sulfito de Sodio	120 gr.
Hidróxido de Sodio	160 gr.

Mezclar la parte A con la B y adicionar 45 ml. de --- Etilendiamina, acompletar con agua a 2 litros de solución.

Paso 11.- Segundo baño fijador.

En este paso se fija la imagen en el área de la película que todavía contiene haluro de plata. Los cuales fueron formados durante el blanqueo.

La composición del fijador es la misma que la del proceso negativo.

Para el control del proceso es el mismo que para el proceso negativo.

Análisis cuantitativos de los principales componentes de los baños que forman el proceso de revelado de películas de Color (13).

Prebaño	pH
	Gravedad Específica
Revelador Positivo	pH
	Gravedad Específica
	Sulfato
	Agente revelador CD-3
	Bromuro
	Alcanilidad Total
Revelador Negativo	pH
	Gravedad Específica
	Sulfato
	Agente revelador CD-3
	Bromuro
	Alcanilidad Total
Blanqueador	pH
	Gravedad Específica
	Dicromato
	Bromuro
Fijadores (primero y segundo)	pH
	Gravedad Específica
	Índice de Hiposulfito
	Tiosulfito
	Sulfito
Estabilizador Negativo	pH
Estabilizador Positivo	Formol

DETERMINACION DEL AGENTE REVELADOR CD-2 O CD-3**REACTIVOS**

Bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB) solución al 1%

Cloroformo

Acido sulfúrico 7N

Indicador Ferroin

Sulfato Cérico 0.0500N

A) Extracción del agente revelador

1) Medir con pipeta volumétrica, 50 ml. de muestra del revelador a 20°C, vaciar dentro de un embudo de separación de 250 ml.

2) Agregar 1 ml. de CTAB y mezclar.

3) Agregar 50 ml. de cloroformo y agitar vigorosamente.

4) Poner dentro de un vaso de 1 lt. 400 ml. de agua destilada y añadir 25 ml. de Acido Sulfúrico 7N agitar vigorosamente.

5) Cuidadosamente vaciar el cloroformo en el agua acidificada, es muy importante no perder ni una gota de cloroformo.

6) Repetir los pasos 3 y 5.

B) Titulación de la mezcla Acido, cloroformo con Sulfato Cérico.

1) Agitando magnéticamente la mezcla, agregar 4 gotas de indicador Ferroin.

2) Titular la solución con sulfato cérico, hasta el -- cambio de color del durazno al verde pálido.

Cálculos:

Positivo.

(ml. Sulfato cérico - 0.10) (0.107) = CD-2, gr/lt.

Negativo.

(ml. Sulfato cérico - 0.10) (0.218) = CD-3, gr/lt.

DETERMINACION DE SULFATO DE SODIO

EN REVELADORES

REACTIVOS:

Yodato de potasio 0.1000N

Acido sulfúrico 7N

Yoduro de potasio 0.6M

Tiosulfato de potasio 0.1000N

Indicador de almidón

PROCEDIMIENTO:

- 1) Vaciar 50 ml. de yodato de potasio en un matraz --- erlenmeyer de 500 ml.
- 2) Añadir 25 ml. de ácido sulfúrico.
- 3) Agregar 25 ml. de yoduro de potasio.
- 4) Agregar 50 ml. de la muestra.
- 5) Titular con el tiosulfato de sodio hasta un color - amarillo, agregar 5 ml. de almidón y continuar la titula--- ción hasta que el color desaparezca.

Cálculos:

(N yodato X 50 - ml tiosulfato) (0.1261) = sulfito sodio $\frac{\text{gr}}{\text{lt}}$

DETERMINACION DEL DICROMATO DE POTASIO

REACTIVOS:

Yoduro de potasio	0.6M
Acido clorhídrico	3N
Tiosulfato de sodio	0.1000N
Indicador de almidón	

A) 1.- Vaciar 25 ml. de yoduro de potasio a un matraz erlenmeyer.

2.- Agregar 50 ml de agua destilada.

3.- Añadir 25 ml de ácido clorhídrico.

4.- Se añaden 25 ml de la muestra, se agita la mezcla y se deja reposar durante 3 min.

B) 1.- Titular con tiosulfato de sodio hasta el color café claro.

2.- Añadir 1 ml de indicador de almidón y continuar titulado hasta que la solución oscura cambie a azul pálido.

Cálculos:

(ml tiosulfato de sodio) (0.916) = Dicromato de potasio, gr/lt

DETERMINACION DEL INDICE DE HIPOSULFITO Y CONTENIDO

DE TIOSULFATO Y SULFITO EN BAÑO FIJADOR

REACTIVOS

Yodato de potasio	0.1000N
-------------------	---------

Acido sulfúrico	7N
Yoduro de potasio	0.6M
Tiosulfato de potasio	0.1000N
Indicador de almidón	
Formalina (37.5%)	
Indicador de fenolftaleina	
Hidróxido de sodio	0.2N
Acido acético	2N
Yodo	0.1000N

I) Índice de Hiposulfito: total de tiosulfato y sulfito (H.I.)

A) 1.- Vaciar 50 ml de yodato de potasio en un matraz erlenmeyer.

2.- Añadir 25 ml. de ácido sulfúrico.

3.- Agregar 25 ml. de yoduro de potasio.

4.- Añadir 3 ml. de baño fijador.

5.- Titular con tiosulfato de sodio hasta un color amarillo, agregar 5 ml. de indicador de almidón y continuar titulado hasta que el color azul desaparezca.

Cálculos:

$(50 - \text{ml. tiosulfato}) = \text{Índice de Hiposulfito.}$

II Tiosulfato (Hypo)

A.- Tratamiento de la muestra.

1.- Medir 3 ml. del baño fijador y vaciarlos dentro de un matraz erlenmeyer.

2.- Agregar 5 ml de formalina.

3.- Añadir de 4 a 4 gotas de indicador de fenolftaleína.

4.- Agregar con mucho cuidado hidróxido de sodio hasta que aparezca el color rosa.

5.- Agregar 10 ml de ácido acético.

B).- Titulación de la muestra con yodo.

1.- Añadir a la muestra 5 ml de indicador de almidón.

2.- Titular con yodo hasta el primer color azul distinto.

Cálculos:

$$(\text{ml Yodo}) (8.27) = \text{Hiposulfito gr/lt.}$$

La determinación del pH se lleva a cabo con un potenciómetro y la de gravedad específica con un hidrómetro.

DETERMINACION DE BROMUROS EN REVELADORES

REACTIVOS:

Acido sulfúrico	7N
Acido sulfúrico	27N
Cloruro de sodio	0.10N
Nitrato de plata	0.0500N

Foamex (antiespumante)

PROCEDIMIENTO (Proceso negativo).

1) Pipetear 100 ml de muestra del revelador dentro de un matraz.

2) Adicionar una gota de antiespumante.

3) Adicionar lentamente 50 ml de ácido sulfúrico 7N.

4) Adicionar 1 ml de cloruro de sodio

(Proceso positivo).

1) Pipetear 100 ml de muestra del revelador a un matraz

2) Adicionar una gota de antiespumante.

3) Se agita lentamente.

4) Adicionar lentamente 150 ml de ácido sulfúrico 27N.

5) Se enfría al matraz a temperatura ambiente.

Titulación de las muestras.

La muestra se titula con nitrato de plata, usando un potenciómetro para detectar el punto final de la titulación

Cálculos para ambos procesos:

$$\frac{(\text{ml AgNO}_3)(N \text{ AgNO}_3)(\text{eq. wt. NaBr o KBr})(1000)}{(\text{ml de muestra})(1000)} \quad \text{NaBr o KBr gr/lt}$$

esta es la forma general de cálculo.

$$(\text{ml AgNO}_3)(0.05950) \text{ KBr gr/lt}$$

$$(\text{ml AgNO}_3)(0.05146) \text{ NaBr gr/lt}$$

estas son la formas de cálculo cuando se usa un factor constante, cuando se cumple con la normalidad del nitrato de plata.

DETERMINACION DE LA ALCALINIDAD TOTAL

La alcalinidad total (T. ALK.) de una solución de proceso está definida como los mililitros de ácido sulfúrico 0.1000N requeridos para ajustar, un volumen específico de

solución de proceso a un pH de 4.3. Este pH se seleccionó - porque en la curvas de titulación, las sales derivadas del ácido muestra un punto de inflexión cerca del pH 4.3.

Titulación de la muestra y reporte de resultados.

1) Pipetear el volumen de muestra que debe ser menor - de 150 ml a un matraz conteniendo 50 ml de agua destilada.

2) Titular la muestra usando el potenciómetro, con --- ácido sulfúrico 0.1000N hasta alcanzar el pH de 4.3.

Se recomiendan los siguientes volúmenes para los diferentes baños:

a) Para el prebaño 20 ml de muestra.

b) Para reveladores de negativo 5 ml de muestra.

c) Para reveladores de positivo 10 ml de muestra.

El reporte de resultados se hace indicando la cantidad del ácido sulfúrico gastado y el tamaño de muestra usado.

Los baños de reforzamiento tienen la misma composición de los baños iniciales deñ proceso, se da aquí una tabla, - que indica proporcionalmente de acuerdo a la película que - va pasando las cantidades promedio del reforzamiento.

Pasos del proceso	Proporción del reforzador - por cada 100 ft. ó 30.5 m. de película de 35 mm.
Prebaño	400 ml.
Removedor y enjuague	-----
Revelador	900 ml.

Detenedor	600 ml.
Blanqueador	200 ml.
Fijador	600 ml.

Estas cantidades fueron obtenidas, después de un estudio de reforzamientos y se obtuvo, las cantidades promedio anteriores tomando como base 100 ft. de película de 35 mm.

Reforzamiento se le llama a la cantidad de baño nuevo al baño de proceso para mantenerlo en la composición correcta y no varíe la calidad de la película procesada.

Las cantidades de refuerzo para la película de 16 mm, son aproximadamente la mitad de las mencionadas para 35 mm. en la misma base de 100 ft. de película.

De acuerdo a la información recaudada de varios laboratorios, la frecuencia recomendada para efectuar los análisis de los baños, se estima que para una producción de ---- 50,000 ft. diarios de película, esto es, entre negativo y positivo tanto de color como de blanco y negro de 35 y 16 mm., los análisis se deben efectuar cada 7 horas: a) al empezar un turno, (matutino), b) al acercarse el cambio de -- turno y c) al término del turno vespertino.

PROCESO DE REVELADO PARA PELICULA

BLANCO Y NEGRO

Los pasos a los que se sujeta la película blanco y negro son los siguientes:

- 1) Revelador
- 2) Detenedor
- 3) Fijador
- 4) Lavado
- 5) Agente humectante
- 6) Secado

Estos pasos son tanto para negativo como para positivo, la única diferencia que se encuentra es en la formulación de los reveladores para cada proceso.

La forma en que actúa cada baño sobre la película es la misma que al descrita para el proceso de color.

A continuación se dan las formulaciones más generales de cada baño para el proceso blanco y negro.

Composición del revelador

Agua	750 ml.
Agente revelador ELON (p-metilaminofenol)	1.5 gr.
Sulfito de sodio	75 gr.
Agente revelador HIDROQUINONA	1.5 gr.
Bromuro de potasio o sodio	0.4 gr. o 0.35 gr.
Borax decahidratado	4.5 gr.
Agua hasta	1 Lt.

Composición del Detenedor**Solución de ácido acético al 1%****Composición del fijador**

Tiosulfato de sodio (hypo)	240 gr.
Sulfito de sodio (anhidro)	15 gr.
Acido acético glacial	17 ml.
Acido bórico (cristalizado)	7.5 gr.
Alumbre de potasio	15 gr.
Agua hasta	1 Lt.

Con respecto a los dos procesos: positivo y negativo - estas formulaciones son las mismas, solo cambian algunos -- productos químicos, por ejemplo, en el revelador, en el positivo se usa carbonato de sodio y en el negativo borax.

Los análisis cuantitativos de los baños del proceso de película blanco y negro, son los mismos que los de película de color en los reactivos respectivos.

Con el fin de evitar o disminuir la contaminación ambiental y también por razones económicas se deben recuperar o destruir, algunos reactivos de los baños antes de tirarlos al drenaje.

Este es un pequeño resumen de los reactivos que se deben recuperar o destruir en los baños que ya están agotados

RECUPERACION DE PLATA: Son varias las ventajas resultantes de recuperar la plata; (1) limpiar el agua que se descarga al drenaje pues la plata se considera como contaminante del agua; (2) economía, por el valor monetario de la plata recuperada y porque, en algunos casos, se obtiene mayor eficiencia del fijador; (3) la conservación de la plata producto esencial en la fabricación de materiales fotográficos fotosensibles.

Existen tres métodos que se usan comunmente para recuperar la plata de las soluciones del proceso: Intercambio metálico, electrolítico y precipitación química. Estos métodos pueden usarse solos o en combinación, dependiendo de cual sea el más adecuado para las necesidades particulares del usuario. La selección del sistema y la capacidad del equipo dependen, en general, del volumen y del tipo de película que será procesada, así como del espacio y del equipo para control químico disponibles (11).

Los desperdicios del proceso deben recibir un tratamiento de naturaleza biológica, que se vale de microorganismos

mos cultivados, bacterias, etc. para atacar las sustancias biodegradables de las descargas (11).

REGENERACION DEL BLANQUEADOR: La regeneración del blanqueador a base de ferricianuros, se recomienda como medida para evitar la contaminación y por razones de economía. El método usualmente empleado para regenerar, consiste en almacenar el derrame del baño y agregarle peroxidisulfato de potasio, hasta igualar las especificaciones del refuerzo.

El blanqueador de dicromato se usa en algunos procesos es potencialmente tóxico para las bacterias existentes en las plantas de tratamiento de aguas, por lo que es recomendable destruirlo antes de que salga del laboratorio.

Si se mezcla el blanqueador de dicromato con otras soluciones alcalinas del proceso que contengan agentes reductores, tales como tiosulfato, parte del cromo se precipita como hidróxido de cromo equivalente. Esta mezcla puede removerse en las plantas donde se efectúa el tratamiento de aguas (11).

CONSERVACION DEL AGUA: En todo proceso fotográfico, se usan cantidades considerables de agua; por lo tanto, es recomendable examinar los procesos y prácticas de laboratorio a fin de encontrar las formas de economizar en este espacio. Aunque no es posible ahorrar en el volumen de agua necesario para la preparación de las soluciones del proceso, si lo es en el lavado de las películas. Es posible desperdi

ciar muchos litros de agua en el lavado, sin obtener ningún beneficio. Empleando una de las siguientes prácticas o todas ellas, puede lograrse una reducción en el volumen de agua, con poco riesgo de afectar la eficacia del lavado: -- volviendo a usar el agua para enfriar o calentar; lavando a contracorriente, controlando el flujo de agua; controlando las espumas de lavado; mayor temperatura del agua, usando escobillas de goma (squeegees) y baños con sales.

En este capítulo se dan los diagramas de flujo que son básicos para los procesos vistos en el capítulo anterior.

EQUIPO DEL PROCESO

La procesadora debe ser una máquina continua convencional, de tanques profundos. Es necesario que los rodillos y bastidores para el revelador y las demás soluciones, estén sumergidas con el objeto de minimizar la oxidación por contacto con el aire, así como el que las soluciones salpiquen.

Es recomendable usar escurridores después de cada solución, excepto en el prebaño.

Los tanques bastidores de las máquinas se fabrican generalmente de acero inoxidable AISI tipo 316, excepto los que se usan para el blanqueador que contiene ferricianuro de potasio, los cuales normalmente son de latón rojo o de alguna aleación de bronce que contenga por lo menos 85% de cobre; el Titanio es un material que también resulta satisfactorio. Se pueden usar ciertos plásticos, hule o elastómeros con el blanqueador de ferricianuro, si las características de baja transferencia de calor no son de importancia. Los materiales sugeridos son: Cloruro de polivinilo, Polipropileno, Hule duro o Fibra de vidrio reforzada con Poliésteres o resinas epóxicas. Para la fabricación de todos los tanques de la máquina pueden usarse materiales de fibra de vidrio.

Existen diversos materiales que resultan apropiados para la tubería de la máquina procesadora. El acero inoxidable AISI tipo 316, es adecuado para la tubería, las válvulas y las bombas, excepto en el blanqueador de ferricianuro. En las secciones del prebaño alcalino y del revelador de color, puede utilizarse el acero negro. El cloruro de polivinilo rígido, el polipropileno o el polietileno, son materiales adecuados para todas las soluciones.

Para las tuberías de las soluciones que siguen al revelador de color, se pueden emplear materiales con un alto contenido de plastificante.

El cobre resulta adecuado para la tubería de agua y de blanqueador, se acumulan residuos en la tubería de cobre, que reducen el flujo de la solución. Pueden usarse válvulas de nylon en la sección de este blanqueador (11).

Deben usarse controladores de temperatura, sobre todo en el revelador, puesto que la temperatura es crítica para el proceso.

Es conveniente el uso de bombas auxiliares en el revelador de color, ya que la agitación es un punto determinante en la calidad del proceso realizado.

Aunque es posible adaptar la máquina del proceso Negativo, para procesar material positivo, es recomendable tener una máquina para cada proceso. Para procesar el material positivo solo hay algunas pequeñas diferencias en el -

equipo: deben usarse también sistemas de recirculación independientes para el primero y segundo fijadores, aún cuando inicialmente se parta de la misma fórmula. Si los dos fijadores se mezclan en un sistema de recirculación común, la película se manchará debido a las mezclas que hay entre el revelador de color arrastrado al tanque del primer fijador y el blanqueador acarreado al tanque del segundo fijador.

En el proceso positivo se incluye el revelado de la pista de sonido. Esta etapa del proceso se lleva a cabo entre el lavado que sigue al blanqueador y el lavado anterior al segundo fijador. La pista de sonido es revelada mediante una rueda giratoria que aplica la solución reveladora únicamente sobre la pista de sonido.

El revelado de una pista de sonido requiere de 10 a 20 segundos y la trayectoria de la película debe arreglarse de tal forma que permita que esta operación se realice antes del siguiente lavado.

El exceso de revelador debe eliminarse de la pista de sonido, por medio de unas espreas que inyectan agua, antes de que la película vuelva al tanque de lavado. Estas espreas deben colocarse de manera que el chorro de agua cruce la superficie de la película hacia la pista de sonido, alejando la solución del área de imagen. El agua de estas espreas debe recolectarse en un recipiente que tenga su propia conexión al drenaje.

CONDICIONES DE OPERACION

Hay cuatro factores principales que deben controlarse - dentro del proceso:

- 1.- Tiempo de revelado.
- 2.- Temperatura de las soluciones.
- 3.- Agitación en los baños.
- 4.- Actividad del revelador, determinada por su composición inicial, pH y grado de agotamiento.

TIEMPO DE REVELADO: Este es sumamente crítico. Cuando ocurre alguna alteración en el proceso, cualquiera de las capas de la emulsión pueden verse afectadas por algunos cambios.

Al aumentar el tiempo de revelado, la reproducción de color puede verse afectada por cambios en la rapidez, en el contraste, aumento de velo, etc., en cualquiera de las capas. Una disminución de tiempo tiene efectos opuestos.

TEMPERATURA DE REVELADO: Para películas en color, particularmente en el revelador, la tolerancia en temperatura es bastante crítica.

Una desviación considerable puede resultar en cambios de velocidad y balance de color. Si se aumenta la temperatura, se produce una elevación de velo reduciéndose el contraste; a temperaturas bajas, disminuye la rapidez y el velo en la película.

Cuando hay variaciones excesivas en la temperatura, se

producen defectos físicos en la película.

Para obtener resultados uniformes, las variaciones de temperatura de los baños deben mantenerse dentro de los siguientes límites.

Solución reveladora $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (0.3°F)

Otras soluciones $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ (2°F)

Para el agua de lavado, la variación de temperatura debe mantenerse en $\pm 2.7^{\circ}\text{C}$ (5°F), (11).

Como se ve, estas son las variaciones de temperatura que debe controlar el equipo, en tanto que, el valor de la temperatura cambia de acuerdo a la marca y al tipo de material que se va a procesar, información que debe dar la casa comercial que vende material.

AGITACION: La agitación tiene efectos importantes en el grado de calidad del proceso. Si un material fotográfico expuesto se introduce en la solución de proceso y no se da movimiento ni a la película ni a la solución, la acción se retarda, porque tanto las sustancias de los baños embebidas en la solución, como las que están en contacto con la superficie de la película, se agotan. En cambio si se agita el material o las soluciones, hay una renovación constante de las sustancias que están en contacto con la superficie de la emulsión y el proceso no se ve afectado. Otro efecto de la agitación, igualmente importante, es evitar que ocurra un revelado desigual, el cual puede afectar adversamente la

uniformidad de la densidad, lo que visualmente se traduce--
en manchas.

Si no hay agitación, la solución agotada, cargada de -
haluros provenientes de la emulsión, puede influir lentamen-
te por las áreas densas a lo ancho de la película y produ--
cir bandas con densidades disparejas.

La agitación hace que haya uniformidad evitando el re-
velado desigual. El movimiento de la película al pasar por-
las soluciones, por lo general no es suficiente para crear-
la agitación adecuada.

Por ello se hace necesario el instalar una o dos bom--
bas en la recirculación, produciendo una mayor agitación en
el tanque de cada solución.

No obstante, no debe ser excesiva porque aumentaría el
contraste y la densidad de los colores.

ACTIVIDAD DEL REVELADOR: La inestabilidad del baño re-
velador se debe principalmente a dos factores: deterioro rá-
pido de la sustancia reductora, por el revelado de las imá-
genes y oxidación por el oxígeno del aire en las cubas, ca-
nalización y aparatos de filtración. Así que, a medida que-
la solución se agota, por uso o envejecimiento, es necesaa--
rio reforzar la solución.

El hacer uso apropiado de reforzadores, aumenta la ca-
pacidad de la solución, su vida útil y además se ahorra ---
tiempo de preparación. La finalidad de este refuerzo es man

tener la concentración inicial de las sustancias, logrando así, uniformidad en la rapidez de revelado como un adecuado balance de color.

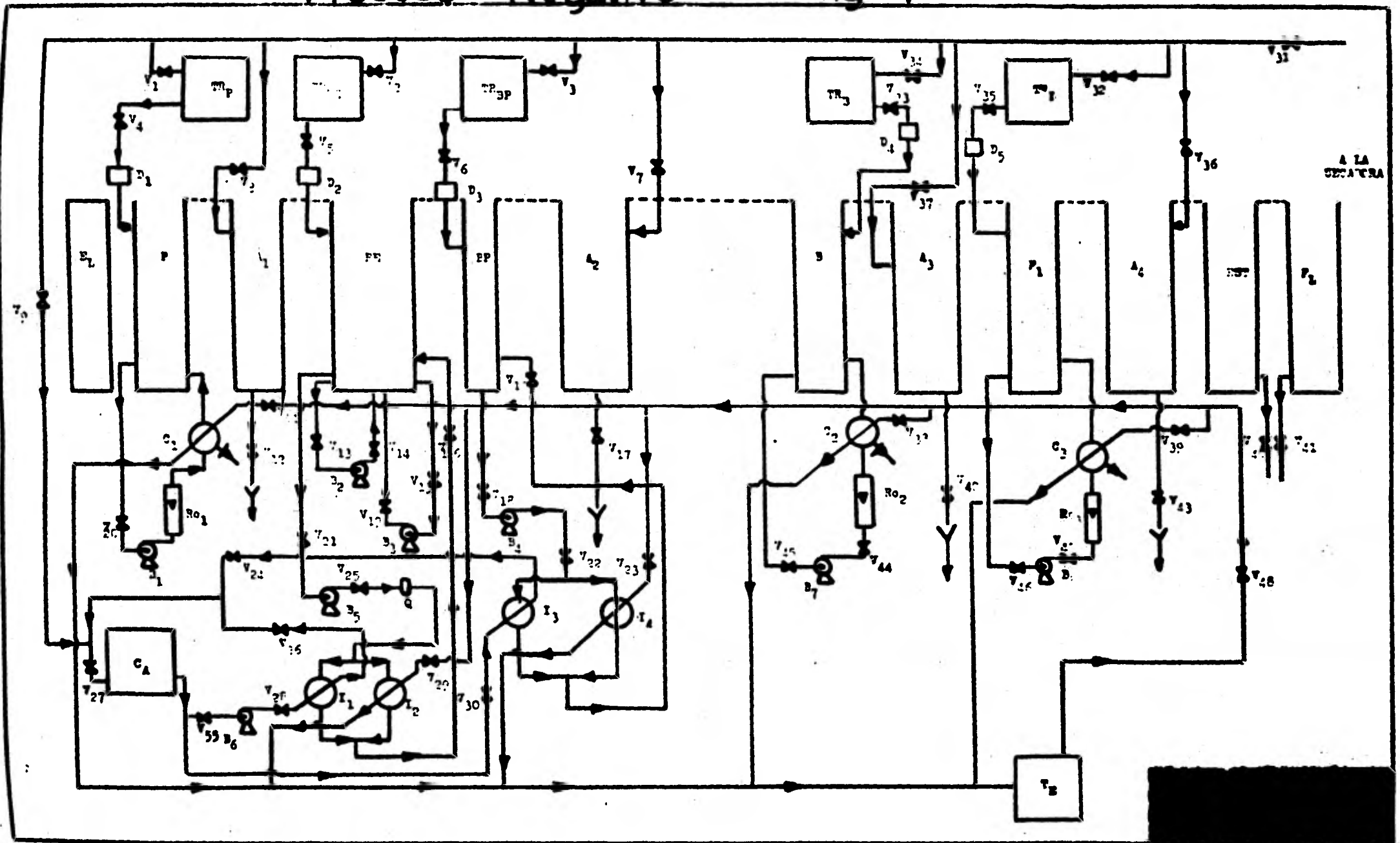
Además, para que la solución actúe con regularidad, es preciso mantener constante su pH. Esta función la tiene el carbonato de sodio, por ello se hace necesario agregar un exceso de esta sustancia alcalina.

El pH es de gran importancia para mantener la rapidez, el velo y el contraste en las capas. Las variaciones demasiado grandes de pH provocan defectos físicos. Todas estas condiciones de operación son válidas tanto para el proceso de color como de blanco y negro.

Los valores exactos de tiempo, temperatura, los proporciona el fabricante de materiales fotográficos para cada uno de sus productos (11).

Proceso Negativo

fig 4



CODIFICACION (PROCESO NEGATIVO)

TR_p. - Tanque de refuerzo del prebaño.

TR_{RE}. - Tanque de refuerzo del revelador.

TR_{BP}. - Tanque de refuerzo del baño de paro.

TR_B. - Tanque de refuerzo del blanqueador.

TR₁. - Tanque de refuerzo del primer fijador.

E_L. - Elevador.

P. - Prebaño.

C_A. - Caldera.

A₁, A₂, A₃, A₄. - Cubas de agua.

R_E. - Revelador.

BP. - Baño de paro.

B. - Blanqueador.

F₁. - Cuba del primer fijador.

EST. - Estabilizador.

F_L. - Photo-flo.

T_E. - Tanque de enfriamiento de agua.

B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇, B₈. - Bombas centrífugas.

C₁, C₂, C₃. - Calentadores, enfriadores y filtros.

I₁, I₂, I₃, I₄. - Intercambiadores de calor.

D₁, D₂, D₃, D₄, D₅. - Dosificadores.

Q. - Filtro.

V₃₁. - Válvula alimentadora general.

V₁, V₂, V₃, V₃₂, V₃₄. - Válvulas alimentadoras de agua-

a los tanques de refuerzo res--

pectivos.

V4, V5, V6, V33, V35.- Válvulas alimentadoras de re---
fuerzo a las cubas respectivas.

V9, V27.- Válvulas alimentadoras de la caldera.

V7, V8, V36, V37.- Válvulas alimentadoras de las cubas
de agua.

V12, V17, V40, V41, V42, V43.- Válvulas de desagüe.

V13, V18, V19, V20, V21, V45, V46, V55.- Válvulas ali-
mentadoras de
recirculación
a las bombas.

V11, V38, V39.- Válvulas de paso a los cambiadores ---
(alimentadoras de agua fría).

V8, V24, V25, V26, V44, V48.- Válvulas de paso.

V28, V30.- Válvulas alimentadoras de agua caliente a -
los cambiadores.

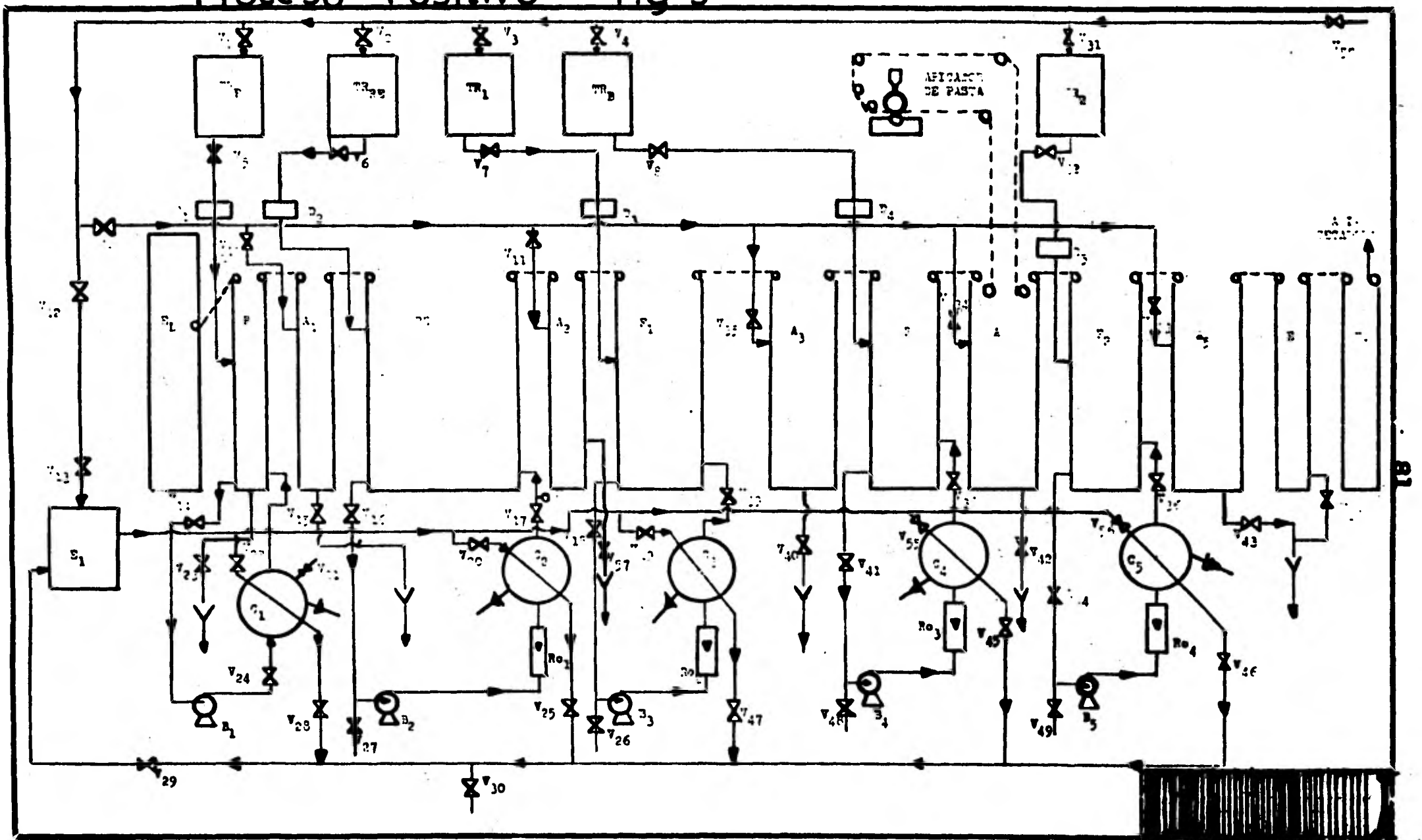
V23, V29.- Válvulas alimetadoras de agua fría a los --
cambiadores.

V10, V14, V15, V16.- Válvulas de retorno.

▼.- Resistencias.

R01, R02, R03.- Rotámetros.

Proceso Positivo fig 5



CODIFICACION (PROCESO POSITIVO)

TR_P. - Tanque de refuerzo del prebaño.

TR_{RE}. - Tanque de refuerzo del revelador.

TR₁. - Tanque de refuerzo del primer fijador.

TR_B. - Tanque de refuerzo del blanqueador:

TR₂. - Tanque de refuerzo del segundo fijador.

E₁. - Tanque enfriador de agua.

C₁, C₂, C₃, C₄, C₅. - Calentadores, enfriadores y filtros.

E_L. - Elevador.

P. - Prebaño.

A₁, A₂, A₃, A₄, A₅. - Cubas de agua.

RE. - Revelador.

F₁. - Primer fijador.

F₂. - Segundo fijador.

B. - Blanqueador.

E. - Estabilizador.

FL. - Photo-flo.

R01, R02, R03, R04. - Rotámetros.

D1, D2, D3, D4, D5. - Dosificadores.

M. - Manómetro.

B1, B2, B3, B4, B5. - Bombas centrífugas.

V50. - Válvula alimentadora general de agua.

V1, V2, V3, V4, V31. - Válvulas alimentadoras de los tanques de refuerzo.

V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V32, V33, V34, V35.-
Válvulas de paso a las cubas respectivas.

V12, V13.- Válvulas alimentadoras de agua fría a los -
calentadores, enfriadores y filtros.

V29, V46.- Válvulas de recirculación de agua a E₁.

V15, V23, V26, V30, V37, V40, V42, V43, V49, V57.-
Válvulas de desagüe.

V25, V28, V45, V47.- Válvulas de recirculación de ---
agua a E₁.

V14, V16, V18, V41, V44.- Válvulas de paso a las bom--
bas.

V17, V36, V38, V39.- Válvulas de retorno a las cubas -
respectivas.

V21.- Válvula de venteo.

V24.- Válvula de paso a C₁.

✚.- Resistencias.

Capítulo IV**Aplicaciones.****Técnicas fotográficas.**

- 1.- Análisis de flujo de fluidos.
- 2.- Estudio de tiempos y movimientos.
- 3.- Estudios mecánicos.
- 4.- Fotomicrografía.
- 5.- Estudios de propiedades de líquidos.
- 6.- Estudios de rayos laser.
- 7.- Otras aplicaciones.

Debido a las características que presentan los diferentes materiales fotográficos, que a últimas fechas se han fabricado, cada vez es mayor la tendencia de usarlos en diferentes campos, como pueden ser: Medicina, Televisión, Cine, Educación, Gobierno e Industria, esta última siendo el interés principal de esta tesis.

Hay varios temas dentro de los cuales, se considera -- que los materiales fotográficos tienen aplicaciones especiales, estos son: Películas con fines de registro, Animación, Tomas en movimiento lento, Cine ultrarrápido, Tomas a intervalos, Evaluación de métodos, Cinemicrografía y Cinematografía infrarroja.

PELICULAS CON FINES DE REGISTRO: Las películas que se hacen con el solo propósito de registro son sin duda las -- más simples de realizar. Muchos usuarios asignan cámaras -- especiales para registrar la instalación de nuevos métodos -- con fines de comparación; filmar operaciones en el terreno -- de la acción, para estudio por el personal de la oficina -- central; documentar procedimientos utilizados por otras firmas que podrían adaptarse en la propia y otras aplicaciones de interés (14).

ANIMACION: La animación es un medio fotográfico extremadamente eficaz a pesar de su falta de realismo. La animación puede producir efectos imposibles de obtener con tomas en vivo y cuando no se usa con fines de entretenimiento, es

una técnica frecuentemente más eficaz que las tomas de acción real.

La técnica, en su forma más simple, consiste en tomar un fotograma a la vez de figuras recortadas, dibujos u otras formas de ilustración. Para que estos objetos se "muevan" en la pantalla, es necesario desplazarlos un poco en cada fotograma. Para completar el ciclo del movimiento, debe haber un dibujo distinto, o una nueva posición del modelo, por cada fotograma que se filme. Cuando se proyecta la película, se produce la impresión de acción continuada. El tiempo de cada movimiento es determinado por el desplazamiento de la imagen, de un fotograma a otro. A veces se repite un dibujo o posición en varios fotogramas para limitar la animación o producir movimientos muy lentos. Los cambios que se verifican en las gráficas, diagramas, esquemas y tomas similares pueden hacerse de esta manera, agregando componentes progresivamente, mientras los títulos y el comentario explican las funciones y su relación con las otras partes (14).

TOMAS EN MOVIMIENTO LENTO: Estas tomas se hacen a velocidades de filmación que exceden la velocidad normal de proyección (24 fotogramas por segundo). Cuando la escena se proyecta a esta velocidad, la imagen se mueve con lentitud en comparación con la acción original. Esto permite hacer análisis de movimientos que normalmente son demasiado rápidos.

dos. Las tomas más efectivas se consiguen, generalmente, -- cuando la velocidad de filmación excede la velocidad de proyección en la proporción de 2:1 ó de 4:1. Al filmar en movimiento lento es necesario reforzar la iluminación, abrir -- más el diafragma o usar película más sensible (a veces son necesarias las tres cosas), para compensar por la menor intensidad de luz que llega a la película, consecuencia natural de una obturación más rápida.

CINE ULTRARRAPIDO: La cinematografía ultrarrápida es -- una actividad que exige técnicas y equipos altamente especializados. Con una cámara de alta velocidad pueden tomarse varios millares de fotogramas por segundo. Cuando la película se proyecta a la velocidad normal, el tiempo se dilata y los movimientos extremadamente veloces parecen desarrollarse a velocidad de tortuga. Esto facilita el estudio de movimientos mecánicos o de defectos operativos que solo se presentan cuando la máquina está funcionando a máxima velocidad.

El equipo consiste en una cámara ultrarrápida con un -- buen juego de objetivos y lentes adicionales y un adecuado equipo iluminador. Es sumamente importante poner la cámara sobre un soporte firme. A menudo, al estudiar el funcionamiento de una máquina es necesario reemplazar sus paneles -- con láminas de plástico transparente para poder fotografiar el mecanismo interno (14).

TOMAS A INTERVALOS: La fotografía a intervalos de tiempo comprime a una fracción del tiempo original la acción o los sucesos que tienen lugar en tiempo considerablemente largo. Capta la acción en un mínimo de película. Esto permite que acciones excesivamente prolongadas se proyecten en pocos minutos en la pantalla.

Se dispone de una gran variedad de equipos para este tipo de filmación; algunos exponen la película, un fotograma por vez, a intervalos regulares predeterminados, encendiendo y apagando automáticamente las lámparas de exposición. Por medio de las tomas en lapsos de tiempo es posible, por ejemplo, filmar cada fotograma a intervalos de 10 segundos, para comprimir ocho horas de acción en 22 metros de película de 16 mm. (14).

EVALUACION DE METODOS: La cinematografía ya se acepta como uno de los métodos fundamentales en el estudio de movimientos y métodos industriales de trabajo. La técnica usada más frecuentemente en estos estudios se llama micromoción. Para ejecutarla se toman películas de una operación industrial con una cámara que funciona a velocidad conocida y constante, casi siempre de 1000 fotogramas por minuto. Si la velocidad es desconocida o no es constante, se incluye en la escena un cronómetro. El estudio de los micromovimientos es sumamente útil para obtener información que: (1) mejora los procedimientos de trabajo, (2) permite establecer-

normas de producción de las plantas de montaje, (3) facilita el estudio de operaciones mecánicas (prensas, troqueladoras, taladradoras, etc.), o (4) facilita en análisis de operaciones que consisten en rápidos y diestros movimientos de manos (15).

CINEMICROGRAFIA: La cinemicrografía, o cine a través de un microscopio, facilita el análisis detallado de objetos microscópicos en acción, aún después de hecha la observación con el instrumento. En algunos casos este análisis sería absolutamente imposible de otra manera.

La mayoría de las reacciones químicas, físicas y biológicas observables con el microscopio, pueden filmarse.

Los beneficios derivados de esta técnica son aún mayores si además de filmar a la velocidad normal, se aplica la filmación de movimiento lento o la de lapso de tiempo (16).

CINEMATOGRAFIA INFRARROJA: A veces es difícil, si no imposible, filmar con las técnicas comunes, actividades que se desenvuelven en espacios muy mal iluminados, o en condiciones especiales de iluminación. Cuando la luz es tan mala que casi no se puede ver lo que se debe afocar y encuadrar y no es factible usar luz suplementaria, lo indicado es hacer tomas de cine en película infrarroja valiéndose de una fuente de radiación infrarroja (17).

Las aplicaciones de la fotografía infrarroja son muy numerosas, por ejemplo: La determinación de funciones químicas

cas por el estudio de sus espectros de absorción.

Análisis espectrográficos, la diferenciación de isótopos y espectrografía estelar.

En fotografía la radiación infrarroja es fuertemente afectada por niebla y humo, esto permite hacer películas de talladas de algunos fenómenos como pueden ser el disparo de un proyectil, etc. La fotografía aérea es una importante aplicación ya que se puede localizar plagas en los plantíos con esta técnica.

Finalmente las aplicaciones de variaciones en absorción y reflexión de infrarrojo en la fotografía en especímenes biológicos y anatómicos, investigaciones biológicas, paleontología, metalografía, examinación de manuscritos y muchas más que no se podría mencionarlas todas (3).

A continuación se presentan varias aplicaciones de fotoinstrumentación, para dar al lector un panorama general de las diversas áreas de aplicación, sin hacer el intento de cubrir exhaustivamente cada una de ellas. La información mas completa se puede encontrar en las referencias que se encuentran en la bibliografía. Sin embargo, se da suficiente información con la idea de que alguno de los métodos discutidos sean adaptados y modificados por el lector, para resolver problemas similares que pueden presentarse en los campos de la tecnología.

Las aplicaciones se restringen al área industrial.

Se tocarán los siguientes puntos:

- 1) Análisis de flujo de fluidos.
- 2) Estudio de tiempos y movimientos.
- 3) Estudios mecánicos.
- 4) Fotomicrografía.
- 5) Estudios de propiedades de líquidos.
- 6) Estudios de rayos laser.
- 7) Otras aplicaciones.

1) ANALISIS DE FLUJO DE FLUIDOS: El campo experimental de la dinámica de los fluidos, incluyendo flujo de gases y de líquidos, ofrece muchas áreas de aplicación para técnicas fotográficas de medición.

Las expresiones teóricas para flujo de fluidos son muchas veces demasiado complejas por su tratamiento matemático y el análisis teórico requiere generalmente de muchas suposiciones y aproximaciones que en los resultados finales dejan mucho que desear en cuanto a exactitud se refiere. Se encuentran algunas técnicas experimentales para filmar la aerodinámica y los efectos dinámicos de un fluido, estas técnicas abarcan: (1) tiras de trola que giran en un aspa y que se alinean en una dirección paralela a las líneas de flujo en el fluido, (2) la adición de trazadores al fluido abarcando materiales opacos, reflejantes, refractantes o coloreados, (3) el uso de efectos ópticos creados por gradientes de densidad en el fluido en movimiento.

Estas técnicas son aplicables tanto a gases como a líquidos.

El primer método tiene algunas desventajas como son: -
(1) atar las bandas en el volumen entero de la corriente es un problema, (2) la presencia de las bandas puede alterar o distorsionar el modelo de flujo, (3) la dirección de flujo está indicada solamente en los puntos aislados que marcan las bandas y (4) la velocidad de respuesta de los indicadores no es instantánea y puede no ser aplicable a estudios que involucren efectos en la corriente que varían rápidamente con el tiempo (18).

El segundo método presenta algunas ventajas sobre el primero. Se puede distinguir fácilmente la presencia de remolinos, separación de corrientes y la diferencia entre el flujo laminar y el turbulento.

En el caso de flujo laminar de líquidos, un trazador de tinta se puede usar para indicar las líneas de flujo.

Para el estudio de gases a velocidades subsónicas, se usan comúnmente como trazadores humos o vapores. Los trazadores se introducen en la corriente mediante boquillas localizadas convenientemente. La densidad de los trazadores o contaminantes debe ser parecida a la del gas en estudio.

En el caso de líquidos, la densidad del contaminante es menos importante cuando el tamaño de partícula es muy pequeño. Los contaminantes que se usan en el estudio de gases --

son: el humo de la viruta al quemarse, de la paja del trigo o de cigarro, cloruro de amonio o tetracloruro de titanio.

Dos contaminantes excelentes para propósitos fotogr \acute{a} fi-
cos son los producidos por la combustión lenta de la paja -
de trigo o de cigarros mojados en aceite.

Cuando se usan humos y la velocidad de flujo es muy ba-
ja se debe tener cuidado de que las partículas de humo no -
se desvien de las líneas verdaderas de flujo como resultado
de la gravedad. A velocidades altas es muy difícil mantener
un filamento continuo de humo para cualquier distancia, pa-
ra lograr esto es necesario usar indicadores con tamaño de-
partícula más grande, como puede ser, partículas de madera-
de balsa, pequeños fragmentos de papel, borlitas de trapo -
y polvo de yeso, estas sustancias se usan cuando hay flujo-
turbulento a muy altas velocidades (18).

En el caso de líquidos se pueden usar prqueñas burbu--
jas de aire, glóbulos de líquidos inmiscibles, polvo de alu-
minio, astillas de plástico y prqueñas piezas de corcho.

Realmente la elección del contaminante se escoge ade--
mas de tomar en cuenta todos los factores anteriores, por -
la respuesta que se espera de él, esto es, si se quieren --
efectos reflejantes, refractantes, opacos, etc.

El tercer método elimina todos los problemas que se --
pueden presentar al usar los métodos anteriores, ya que, se
basa en las variaciones de densidad que ocurren en el líqui

do y que corresponden a cambios en el índice de refracción que pueden ser registrados por técnicas ópticas apropiadas. Aunque este método es sensible solo a las variaciones de densidad dentro del líquido, otras características de flujo incluyendo velocidad y presión se pueden calcular.

Cuando un rayo de luz se pasa a través de un fluido y se recibe sobre una pantalla, tienen lugar tres cambios observables y medibles, (1) la mancha de luz en la pantalla es desplazada una distancia x de su posición original, (2) el rayo que emerge es desviado un ángulo α de su posición original y (3) ya que la densidad de un medio transparente determina la velocidad de luz transmitida, el tiempo que tarda un rayo de luz en llegar a un punto dado de la pantalla está determinado por la densidad del fluido por el que atravesó (18).

Cada uno de estos efectos depende de una función diferente de densidad: La Interferometría, basada en el tercer efecto, detecta la densidad o refractividad; el sistema Schlieren, basado en el segundo efecto percibe el gradiente de densidad y la gráfica de sombras, basada en el primer efecto, responde a la velocidad de cambio del gradiente de densidad.

En el sistema de gráfica de sombras, una fuente de luz generalmente una chispa de corta duración, se usa para iluminar una pantalla o placa fotográfica. Si el medio entre

la chispa y la placa está libre de obstáculos, la placa -- se iluminará en forma pareja, pero si hay obstáculos en dicho espacio, ocurren gradientes de densidad a través de toda el área afectada y los rayos de luz son desviados, produciendo los cambios correspondientes en la iluminación de la placa.

La sensibilidad del sistema de gráfica de sombras a la detección de un disturbio en el medio está directamente relacionada a la velocidad de cambio del gradiente de densidad que ocurre en el medio.

La fotografía Schlieren se basa en la filmación de la deflexión angular de un rayo de luz por un medio heterogéneo y no su desplazamiento como en la gráfica de sombras.

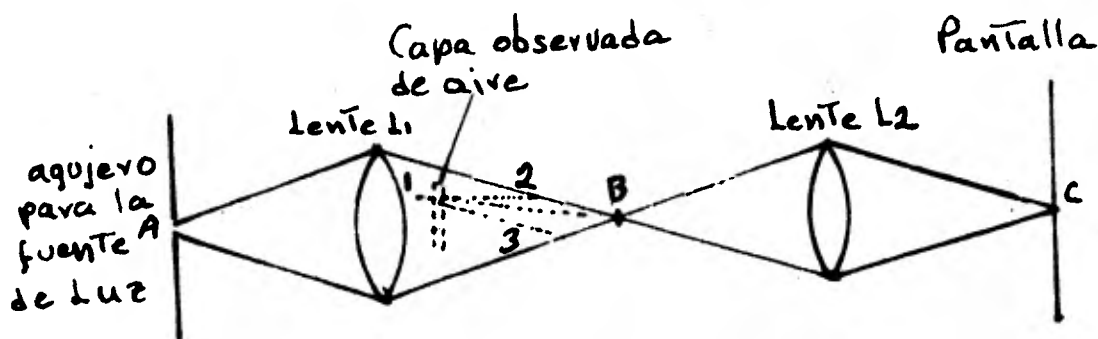
Como la desviación angular del rayo es proporcional a la primera derivada de la densidad normal al rayo, la variación de luz en la película es proporcional a la densidad -- dentro del disturbio. Los aparatos Schlieren se han producido en muchas formas pero el principio de operación es el -- mismo en todos ellos. Se presenta un esquema en la fig. 6.

La Interferometría se compone de una fuente de luz, un medio de rompimiento de la luz en dos rayos separados y paralelos y un medio de recombinación de los dos rayos en una película fotográfica. En la ausencia de un disturbio, las -- trayectorias ópticas atravesadas por los dos rayos son idénticas y la película fotográfica estará iluminada uniforme--

mente. Si aparece un disturbio en el medio que atraviesa -- uno de los rayos, el tiempo requerido para pasar a traves - del aparato no será el mismo que para el rayo cuya trayecto ria está libre, por lo tanto, se producen cambios en la ilu minación de la película fotográfica.

El análisis de estas fotografias da datos cuantitativos de los cambios de densidad que ocurren dentro del fluido, - basado en cálculos relativamente simples para flujo en dos- dimensiones (18).

fig 6



UN ESTUDIO ESTEREOSCOPICO VISUAL DE ESTRUCTURAS COHERENTES EN FLUJO CORTANTE TURBULENTO: Se dirigió un estudio visual de un flujo turbulento en las capas límites fotografiando los movimientos de pequeñas partículas trazadoras usando una cámara estereoscópica de velocidad media moviendo se con el flujo. La técnica permitió que los aspectos tridimensionales del flujo se estudiaran con algún detalle, y en particular permitió identificar los movimientos axiales de remolinos en la región de la pared.

En el flujo se encontró que exhibió tres regiones características que se pueden dividir en: región de la pared, región externa de la capa límite y una región irrotacional, sin marca de tinte, los bordes instantaneos exteriores de la capa límite.

Brevemente, la región externa de la capa límite fue dominada por movimientos de un remolino transversal que se formó como resultado de una interacción entre elementos del fluido en la región de baja y alta velocidad.

Los resultados muestran claramente que las curvas en el borde de la capa límite están asociadas con los movimientos del remolino transversal. En suma, los movimientos del remolino transversal parecen inducir afluencias masivas de líquido desde la región irrotacional profunda a la región exterior de la capa límite. El borde exterior de la capa límite viene a ser además retorcido, contribuyendo a la inter

mitencia de la región. Además, los movimientos en la región exterior dan un aumento a las condiciones necesarias para la actividad dominante en la región de la pared de expulsiones y movimientos de remolinos axiales. No es la expulsión-energética en la región de la pared que mueve a la región exterior y da un aumento al borde retorcido de la capa límite como ha sido sugerido por otros (19).

Los movimientos del remolino axial en la región de la pared son violentos y sostenidos, por un tiempo corto comparado con el tiempo de vida de los movimientos del remolino-transversal en la región exterior. Los resultados presentes sugieren que los movimientos del remolino en la región de la pared son un resultado de la interacción entre el fluido entrando a velocidad más alta desde la región exterior de la capa límite y el fluido saliendo a baja velocidad en la región de la pared. Esto es contraste directo con todos los modelos que sugieren que el par de remolinos axiales en la región de la pared son el factor que da aumento a la salida de fluido a baja velocidad.

Finalmente la afluencia masiva desde la región irrotacional se observó que precedía la aparición de elementos de fluido a baja velocidad en la capa límite, completando así el ciclo determinado de eventos coherentes individuales.

La fotografía estereoscópica, sugerida por Praturi --- (1972), fue seleccionada como la técnica de visualización -

para obtener una imagen tridimensional de las estructuras coherentes que ocurren en todas las regiones de una capa límite turbulenta. El propósito del presente estudio fue clarificar la naturaleza de tales estructuras y encontrar las interacciones entre ellas (Praturi 1975; Praturi, Hershey & Brodkey 1975).

El programa experimental: La fotografía estereoscópica se usa para filmar el movimiento tridimensional de elementos del fluido a lo largo de un plato plano de la capa límite en flujo turbulento. Pequeñas partículas sólidas fueron suspendidas en el flujo para trazar los movimientos de fluido y se usó una cámara de velocidad media con lentes estereoscópicas para fotografiar los movimientos de las partículas. La inyección de tinte al borde principal del plato en algunas de las películas ayudó a delinear el borde exterior de la capa límite.

El agua se usó como medio de flujo con partículas de Pliolite (butadienpoliestireno) en un rango de tamaño de 62-74 μm como partículas trazadoras. Se usó una cámara modelo HS-16C Benson Lehner con un lente estereo Bolex para filmar el movimiento de las partículas. Se usó película reversible Kodak No. 7278 a una velocidad de filmación de 66 cuadros/seg.

La longitud focal del estereolente es de 12.5 mm. siendo la apertura máxima de 2.8. La torrecilla del estereolente

te permitió fotografiar a una distancia focal de 2 ft. El campo de vista obtenido con el sistema foto-óptico y el punto de vista de la cámara están mostrados en la fig. 7. Las dimensiones del campo de flujo corresponden a cerca de $950x^+$ unidades en la dirección de la corriente, $850y^+$ unidades en la dirección transversal y $1000z^+$ unidades en la dirección de la pendiente. Una discusión completa de los méritos y posibles limitaciones de la técnica visual del uso de pequeñas partículas trazadoras con iluminación de campo oscuro se puede encontrar en Corino (1965), Corino y Brodkey (1969), Brodkey, Hershey y Corino (1971) y Nychas (1972).

La velocidad de convección usada para la mayoría de las películas fue emparejada a la velocidad promedio a y^+ aprox. 60, que fue cerca del 70% de la velocidad de corriente libre u_0 . Algunas películas emparejando el 100% de la velocidad de corriente libre y una sin ningún tipo de movimiento fueron también tomadas.

De interés particular en este trabajo fueron los movimientos de remolinos axiales en la región de la pared. Algunos movimientos preliminares indicaron que la región de la pared extendida fueron a cerca de $100y^+$ unidades; así después de varias pruebas, se seleccionó la velocidad de emparejamiento a y^+ aprox. 60. El número de Reynolds Re_0 fue de cerca de 900 y la velocidad de fricción se estimó de

0.8 m/s. El número de Reynolds es relativamente bajo y el modelo general que va a ser descrito es sin duda alguna, -- cambiado a números de Reynolds más altos.

Los resultados experimentales: El sistema estereoscópico desarrollado en el estudio presente se usó para producir 150 películas de una capa límite de flujo turbulento sobre un plato plano. En 38 de estas corridas, fue inyectada una solución de tinte violeta al borde principal y resbalada en el frente de las capas. Estas películas serán referidas como películas tinte-violeta. Fue hecha una corrida del flujo con la cámara sostenida estacionariamente (vista Euleriana). Como las estereopelículas no pueden ser satisfactoriamente reproducidas en tres dimensiones, los fenómenos de flujo -- son presentados en forma de diseños y descripciones sim--- ples. La estructura del flujo se puede ver en las películas con un gran esfuerzo. La ventaja principal de las vistas es tereoscópicas fue permitir la identificación de los movi--- mientos de remolinos axiales, esto no podría ser hecho en -- forma satisfactoria en películas en dos dimensiones, que -- dan esencialmente vistas en x, y. Para vistas estereoscópi- cas es necesario equipo especial de proyección, pantalla es- pecial y anteojos especiales. El análisis de las estereope- lículas consistió de la observación de eventos individuales identificando estos en un número de corridas y haciendo un- estudio completo de cada uno de ellos y sus relaciones con-

otros eventos.

Naturaleza del campo de flujo: Nychas (1972), quien usó el mismo sistema de flujo, describió el régimen de flujo como una capa límite turbulenta con un espesor promedio de aprox. $420y^+$ unidades (4cm.). Una examinación visual de las películas tinte-partícula confirmó esta descripción. El espesor de la capa límite, determinado por el promedio cerca de $450y^+$ unidades. El análisis de las estereopelículas reveló la existencia de tres regiones características: la región de la pared ($0 < y^+ < 100$), la región exterior de la capa límite ($100 < y^+ < 450$) y una región irrotacional de $(450 < y^+)$ más allá del borde instantáneo de la capa límite. Los límites de estas regiones son aproximados y hay traslapamiento. El borde de la capa límite fue determinado por la observación de las películas tinte-partícula. La región irrotacional es el flujo no marcado por el tinte y de este modo incluye regiones que penetran profundamente hacia la pared.

Nomenclatura de coordenadas y remolinos: Aquí se aclara al lector el sistema de coordenadas y la terminología usada para describir los eventos, la convención usada para describir remolinos (y circulaciones) se muestra en la fig. 8. La coordenada $+x$ es paralela al plato plano y en la dirección de flujo. La coordenada $+y$ es perpendicular al plato y lejos de él. La coordenada $+z$ para el plato orientado-

verticalmente es paralela al plato y baja desde lo más alto (regla de la mano derecha). El remolino en dirección de la corriente \underline{w}_x mostrado en la figura tiene su eje de rotación paralelo a la coordenada \underline{x} . Si el sentido de circulación es descendente desde el plato en lo más alto del remolino, este es llamado un remolino en dirección de la corriente positivo y se denota por \underline{w}_x , esto es, el avance de un tornillo de mano derecha sería en la dirección $+\underline{x}$. Esto se puede ver mejor en la vista final, pero está mostrado en todas las -- vistas. Los remolinos axiales orientados son también aca--- rreados hacia adelante por el flujo relativo al plato, de modo que las partículas formando el remolino parecen tener trayectorias helicoidales. La vorticidad de un remolino --- transversal solo tiene un componente \underline{z} y la circulación en un remolino negativo \underline{w}_{-z} parece (visto desde lo más alto) - como la rotación de un cronómetro desde el punto de vista de la cámara. Este remolino transversal negativo corresponde a lo que observó Nychas y otros (1973) y que llamaron re molino transversal hacia adelante. Un remolino en dirección de la corriente con un pequeño componente de vorticidad en la dirección \underline{z} se denotará $\underline{w}_{x,z}$. Similarmente, un remolino en dirección de la corriente $\underline{w}_{x,y,z}$ tendrá pequeños compo-- nentes de vorticidad en las direcciones \underline{y} , \underline{z} . Si un remolino tiene componentes significativos de vorticidad en más de una coordenada, será llamado remolino inclinado y se denota

rá como w_{x-z} , no se usa (,) es decir w_{x-z} es un remolino---
 inclinado con un eje apuntando igualmente corriente abajo -
 (+x). El eje de rotación de este remolino es, por supuesto-
 en el plano x,z paralelo al plato plano y las partículas en
 las que un remolino puede y algunas veces los hace tener --
 trayectorias helicoidales.

Elementos de fluido desacelerados y de alta velocidad:

El fluido desacelerado tiene una tranquila estructura común
 laminar, excepto las muy cercanas a la pared, el flujo a ba-
 ja velocidad, parece ser un tapón flujo a través de la capa
 límite entera. En las películas, la desaceleración del flu-
 jo podría ser detectado solo después de la aparición de un-
 frente de alta velocidad. La línea de demarcación entre los
 elementos de fluido de baja y alta velocidad es más clara -
 en la región de la pared que en la región externa. El fren-
 te de alta velocidad penetra el campo de vista a cerca de -
 $y^+ = 200$ y gradualmente se expande y reemplaza el fluido des-
 acelerado. Sin embargo, siempre hay una región límite entre
 el plato plano y el fluido de alta velocidad que contiene -
 fluido de baja velocidad. La aparición del frente de alta -
 velocidad y su progresión gradual está representada en la -
 fig. 9. Las trayectorias de las partículas en el fluido de-
 alta velocidad son lineales y principalmente dirigidas ha--
 cia la pared a un ángulo pequeño. Los números marcando los-
 frentes muestran el orden en el tiempo.

Afluencias y Efluencias: Las afluencias y efluencias - observadas se asocian con la región irrotacional del flujo - que no es marcada por el tinte. Los movimientos rotaciona-- les están ausentes en esta región y solo se observan movi-- mientos de tipo lineal. Durante las etapas tranquilas del - flujo (periodos no activos en la capa límite), la región -- irrotacional asemeja una marcha potencial de flujo sobre -- una superficie ondulante (la interfase turbulenta/no turbu-- lenta marcada por el tinte).

Los eventos coherentes principales en la región irrota cional son afluencias masivas. Estos eventos ocurren solo - antes y durante los periodos de actividad turbulenta inten- sa en la capa límite. Ellos modificaron la forma de la in-- terfase turbulencia/no turbulencia marcada por el tinte co- mo se muestra en la fig. 10, un ejemplo típico de afluen-- cia. La extensión lateral (y) de tales afluencias son de -- 300 a 700y⁺ UNIDADES. La extensión en la dirección de la co rriente es de 100 a 300x⁺ unidades. La fig. 11 da el estado de desarrollo de la afluencia.

Como se muestra en la fig. 10 se observa un movimiento circulatorio común del remolino en la región exterior pinta da, de la capa límite inmediatamente detras de la afluen-- cia. Típicamente, se observa una afluencia casi al mismo -- tiempo que se observa un elemento de fluido de alta veloci- dad en la región externa de la capa límite. La aparición de

esta afluencia típica es normalmente seguida por la formación de un remolino transversal w_z en el frente de alta velocidad. Es difícil decir que llega primero pero parece que la afluencia inicia el espacio cortante necesario para la formación de remolinos negativos transversales w_z .

Las efluencias ocurren en conjunción con las afluencias y parecen ser la reacción al evento afluente que se requiere para satisfacer la continuidad local en la región. Las efluencias son menos coherentes y más pequeñas en magnitud y frecuencia que las afluencias. Los resultados de las películas tinte-partícula indican que las efluencias siempre se originan en la región externa de la capa límite mientras que los eventos de afluencia consisten de fluido desde la región irrotacional.

Remolinos en la región externa de la capa límite: El rasgo más significativo de la región externa de la capa límite es la formación y convección de remolinos transversales w_z . Como se mencionó anteriormente, los remolinos se forman en el frente de alta velocidad que existe entre los elementos de fluido de alta y baja velocidad, generalmente después de que se observa una afluencia. Los remolinos transversales se forman en un frente de alta velocidad, aparentemente debidos a una estabilidad de tipo Helmholtz. En la formación participan partículas de fluido tanto de baja como de alta velocidad. Los remolinos son altamente coheren

tes y permanecen en la película hasta que desaparecen del campo de vista. Se mueven en el flujo casi paralelos a él y casi con la misma velocidad que el flujo medio. Se observa también que crecen más débiles y largos conforme se alejan suavemente del plato hasta que vienen a ser circulaciones suaves como se muestra en la fig. 12.

La mayoría de los remolinos transversales ocurren entre $100y^+$ y $300y^+$ unidades con diámetros de $150y^+$ a $200y^+$ unidades. Los remolinos más lejanos del plato se observa que tienen diámetros más grandes y son más débiles que los que se observan cerca de la pared. El diámetro más grande observado es de $400y^+$ unidades. Aunque las vistas estereoscópicas hacen posible observar el flujo en tres dimensiones, se tienen algunas limitaciones. Una de ellas es la dificultad de estimar exactamente distancias en la dirección de las vistas en comparación con otras direcciones.

Expulsiones: Las expulsiones son movimientos externos-rápidos del fluido, desde el fluido desacelerado de la región de la pared y se observan después de la aparición de remolinos transversales en el frente de alta velocidad en la región externa de la capa límite. La fig. 13 ilustra un evento típico. La mayoría de las expulsiones, después de alcanzar una distancia de cerca de $100y^+$ unidades son arrastradas lejos por el frente de alta velocidad. Unas cuantas partículas expulsadas se ve que son atrapadas en el remoli-

no transversal en la región externa de la capa límite. Algunas de las partículas expulsadas, después de moverse a una distancia y^+ de cerca de 50, parecen iniciar movimientos de remolinos dentro de la región de la pared.

Movimientos de remolino en la región de la pared: Los movimientos de remolino en la región de la pared consisten de (I) movimientos de partículas simples formando parte de un círculo, (II) remolinos en dirección de la corriente con pequeños componentes en otras direcciones ($w_{-x,y,z}$) y (III) remolinos transversales ($w_{-z,x,y}$). Los movimientos circulares observados son las líneas de trayectorias de partículas trazadoras simples, que no hacen una rotación completa. Estos ocurren a diestra y siniestra en espacio y tiempo en todos los lugares en la región de la pared. Tales movimientos pueden ser filmados como parte de una vista de turbulencia.

Los movimientos en dirección de la corriente de remolinos se observan en el fluido desacelerado en la región de la pared y algunos de esos movimientos parecen ser iniciados por expulsiones. La gran mayoría de los remolinos en dirección de la corriente, sin embargo, son el resultado de una interacción entre el fluido de alta velocidad y la región estrecha de fluido retardado atrapada entre el elemento de alta velocidad en la pared. Estos movimientos se muestran en la fig. 14. Las líneas sólidas representan la cima (hacia el observador o cámara) y las líneas de punteadas el

fondo (lejos del observador) de los remolinos. Sorprendentemente todos son negativos con la convención usada (w_{-z}). Esta es una segunda limitación de las vistas estereoscópicas, es decir, es difícil percibir cual es la dirección de rotación de un remolino en dirección de la corriente cuando se mira a lo largo de su longitud axial. Esta limitación está también asociada con la percepción de profundidad en que es difícil decir si es la cima o el fondo del remolino el que se está moviendo. Se perciben las profundidades más pequeñas, lo más difícil del problema. La percepción de rotación podría ser inequívoca si se mira en un plano y, z perpendicular al eje de rotación del remolino. Uno esperaría, por supuesto un balance aproximadamente igual entre w_{-z} y w_x . Los remolinos en dirección de la corriente típicamente tienen un diámetro de $50z^+$ unidades y longitud de $100y^+$ unidades. Sus ejes tienen componentes pequeños en y y en z .

El pequeño diámetro de $50z^+$ unidades (percepción de profundidad pequeña) es la razón por la que es difícil establecer la percepción correcta de rotación.

En grado considerable unos pocos de los remolinos en dirección de la corriente en la región de la pared cambian sus ejes de rotación mientras son arrastrados en el flujo. La mayoría de ellos tienden a ser remolinos transversales (ver la fig. 15).

Los remolinos transversales observados en la región de

la pared son iguales en magnitud y son formados por los mismos factores, es decir, expulsiones y zonas de alto corte. - Estos remolinos $w_{-z,x}$ no cambian sus ejes de rotación y permanecen como remolinos transversales.

Las estructuras del remolino en la región de la pared son más intensas que las estructuras de remolino en la región externa. Permanecen como una unidad coherente por un corto tiempo, haciendo raramente más de tres rotaciones completas cerca de sus ejes.

Los movimientos de remolino en la región de la pared también se pueden clasificar como eventos primarios y secundarios; las expulsiones y los remolinos asociados con expulsiones se pueden llamar eventos primarios en la región de la pared mientras que otros movimientos de remolino (movimientos formando parte de un círculo y remolinos no asociados con expulsiones) son llamados eventos secundarios.

El gradiente de alta velocidad entre elementos de fluido de alta y baja velocidad es más pequeño durante la ocurrencia de eventos secundarios en la región de la pared que durante la ocurrencia de eventos primarios. Los movimientos de remolinos secundarios son menos intensos o menos coherentes.

Otra diferencia mayor entre los dos tipos de eventos en la región de la pared es que los eventos secundarios no tienen relación con otros eventos en la región de la pared-

(19).

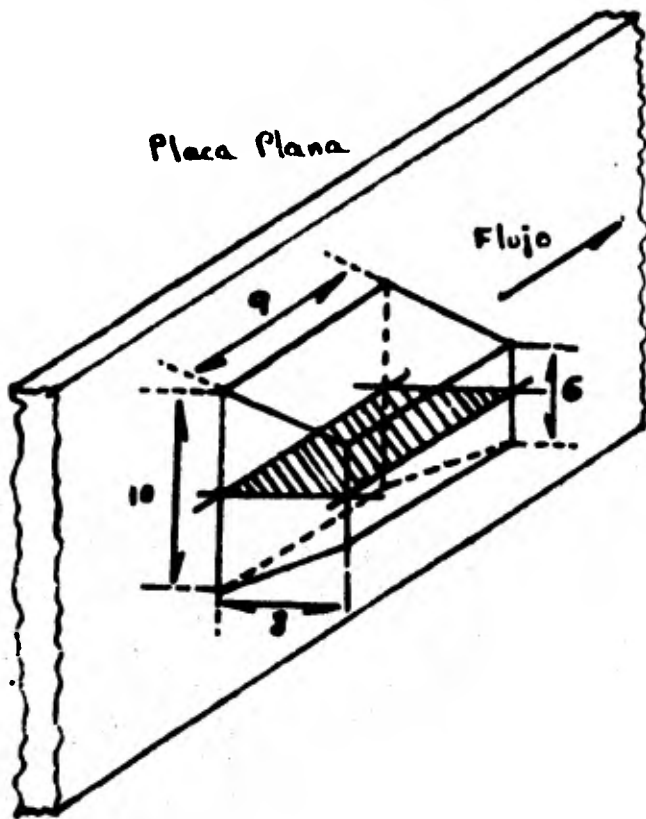


fig 7

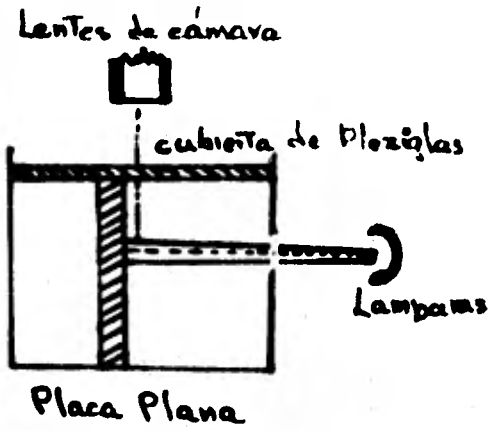
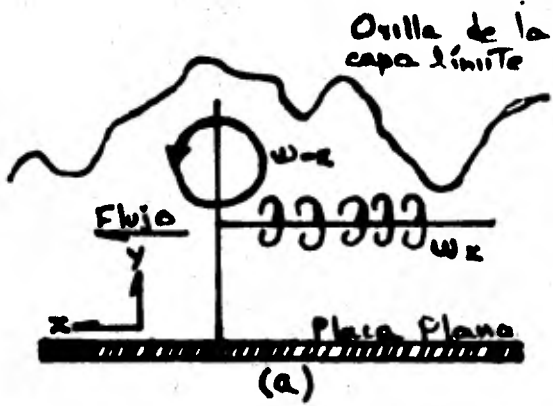
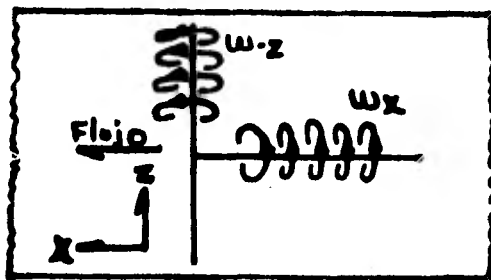


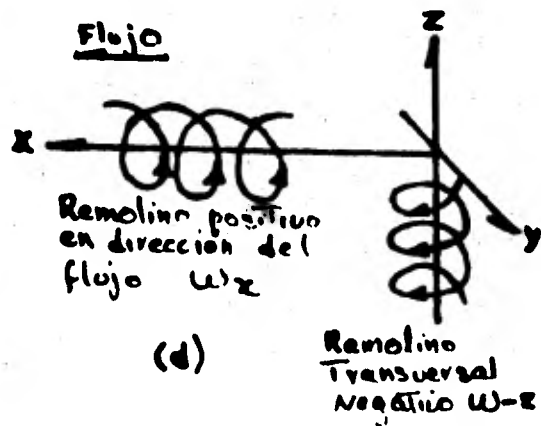
fig 8



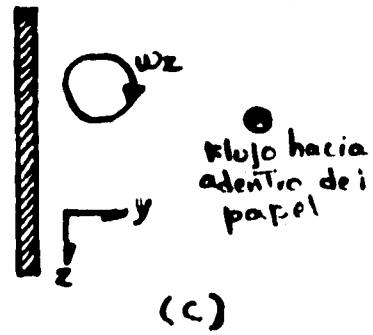
(a)



(b)



(d)



(c)

fig 9

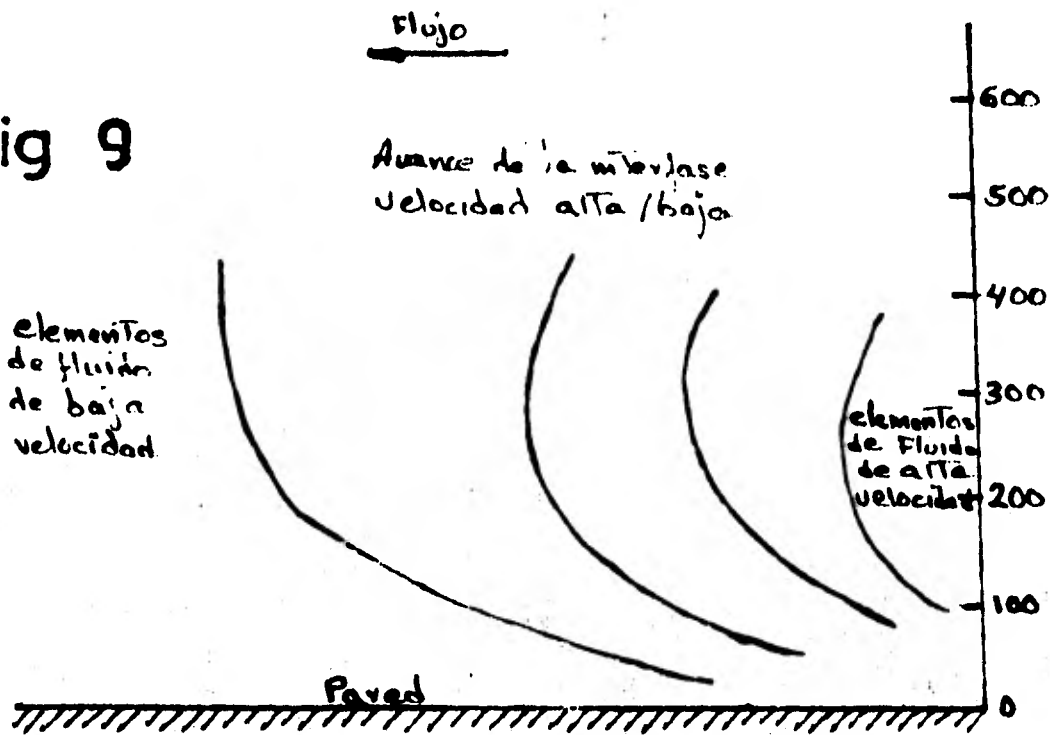


fig 10

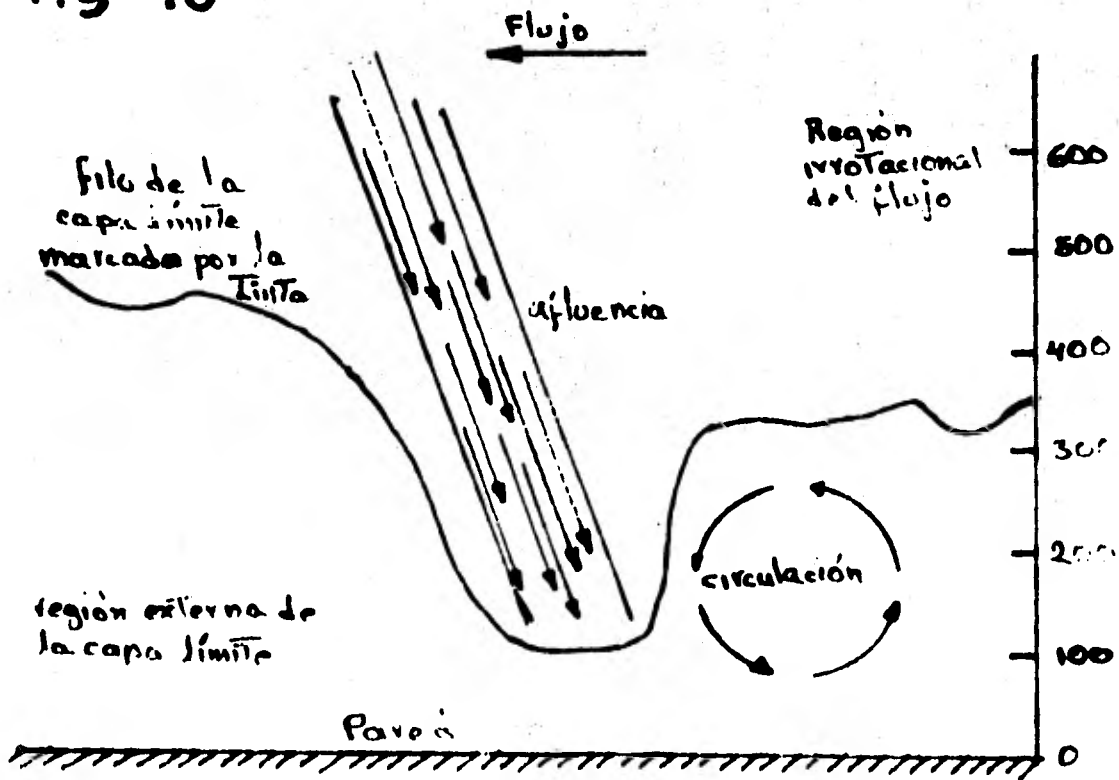


fig 11

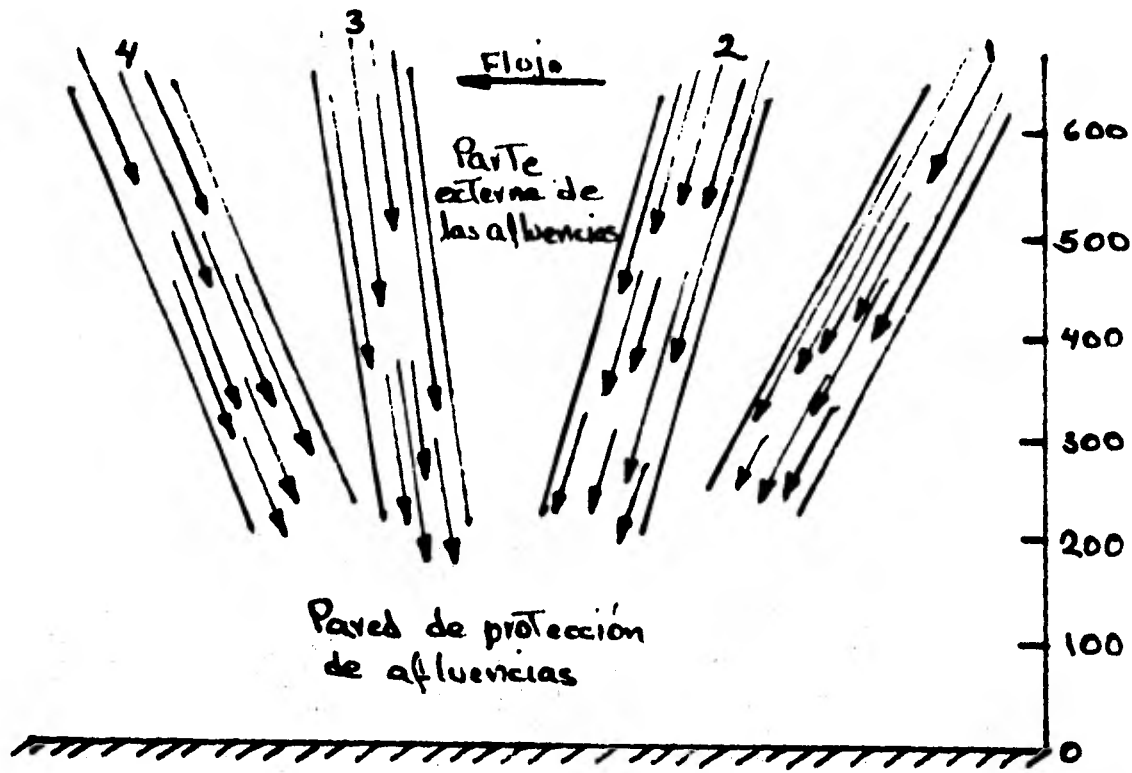


fig 12

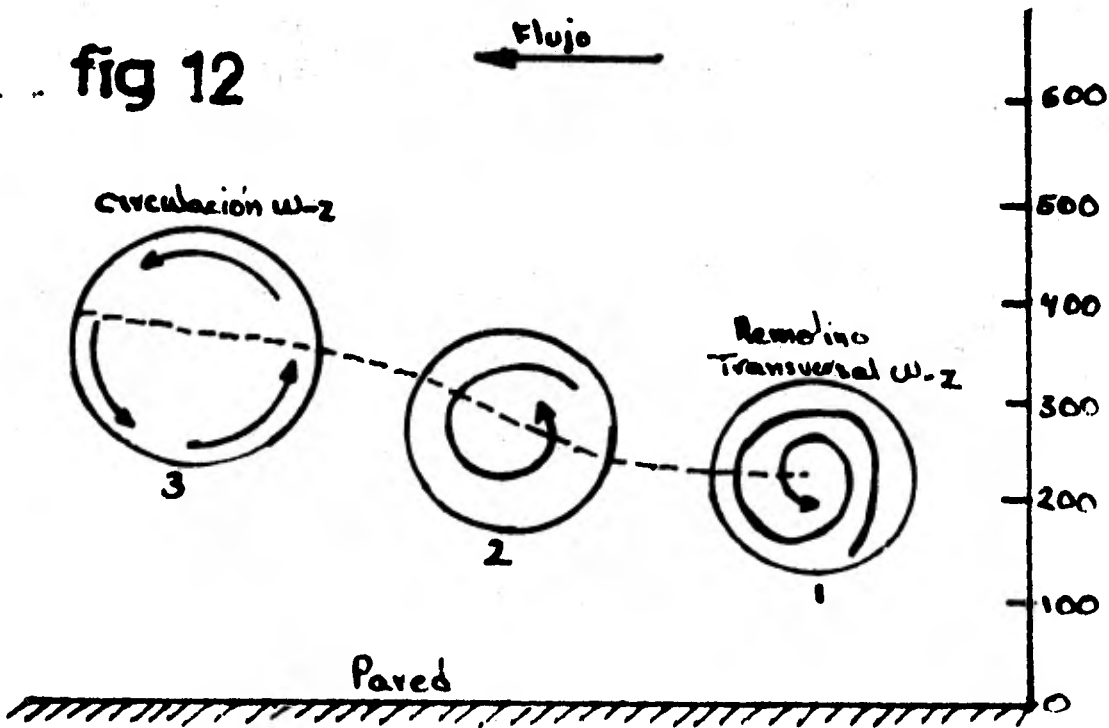


fig. 13

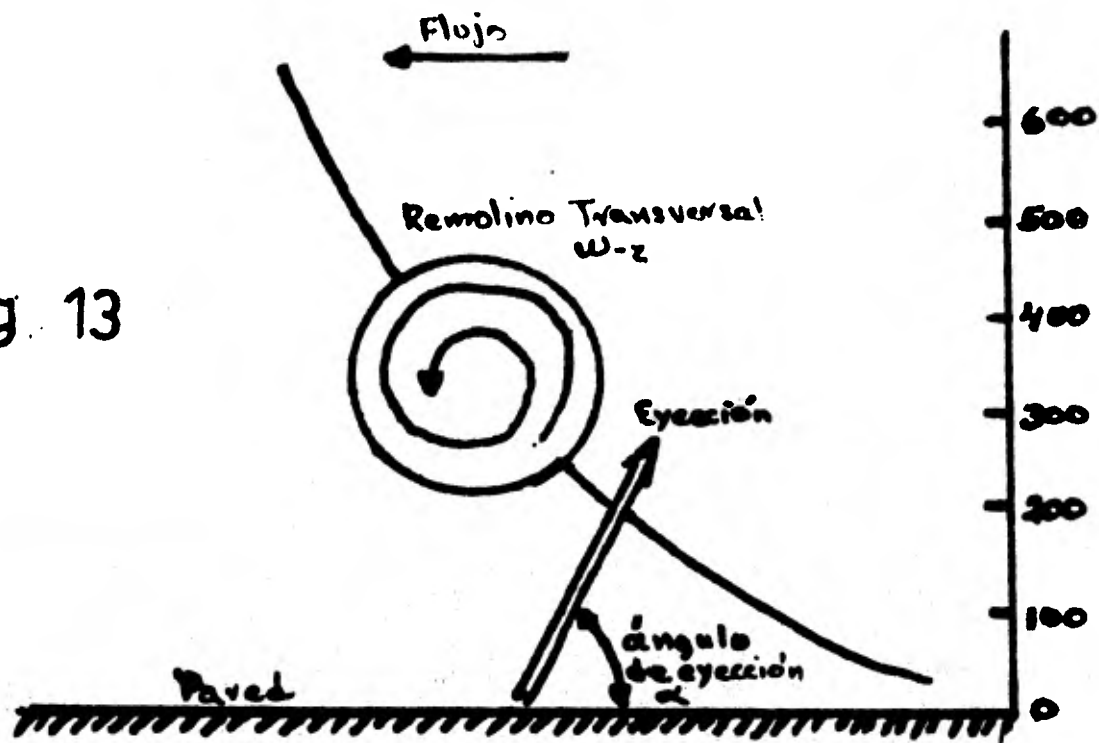


fig. 14

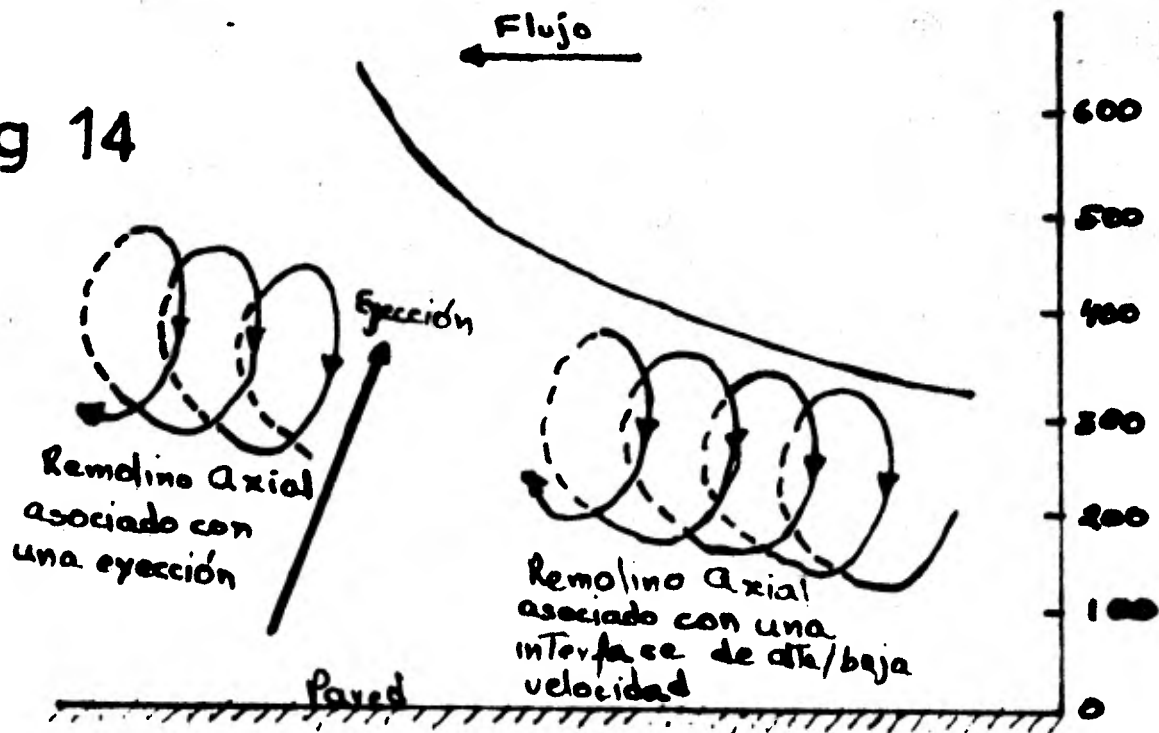
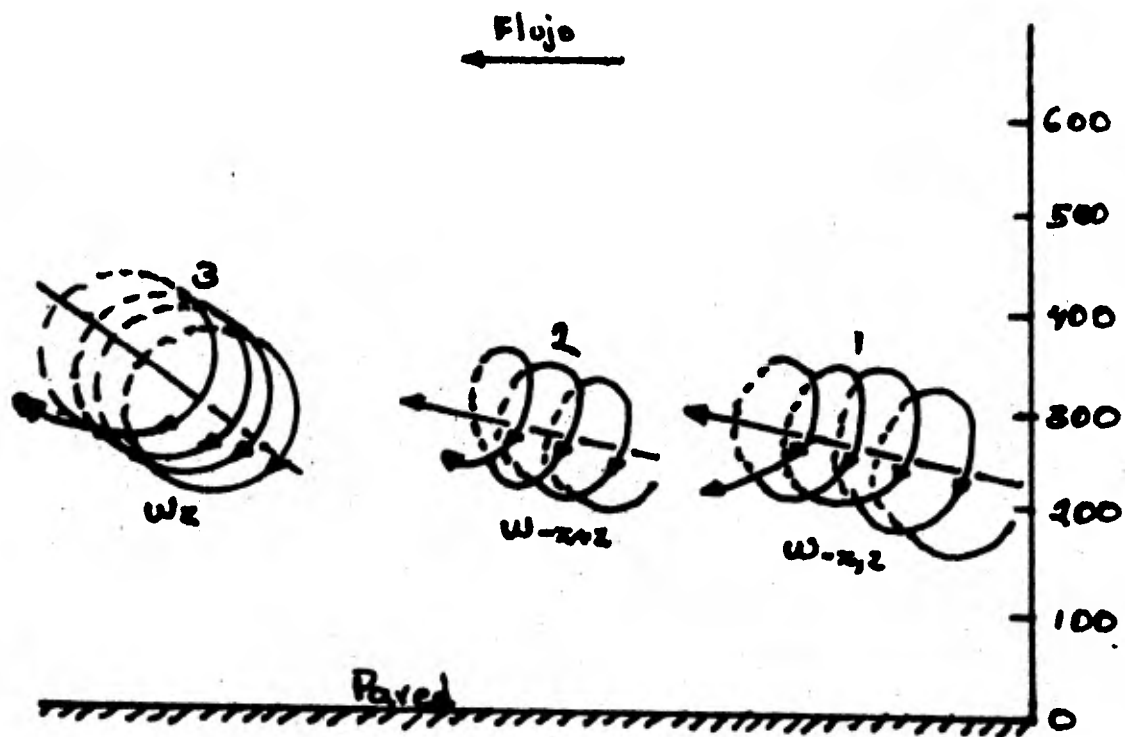


fig 15



CALIBRACION DE UN TUBO DE CHOQUE DE FLUJO POR EL ANÁLISIS DE LAS TRAYECTORIAS DE PARTICULAS: Se describe una técnica por la cual las propiedades de flujo en un tubo de diafragma convencional de choque fueron determinadas desde el análisis de las trayectorias de partículas dentro del fluido. Las trayectorias de partículas fueron obtenidas por fotografía de alta velocidad de trazadores de humo puestos a intervalos de 10 cm. a lo largo de 8 m. del tubo. El análisis subsecuente dió la variación en tiempo y espacio de la presión, densidad, velocidad y temperatura del gas por todo el tubo, para una fuerza de choque intermedia. Los resultados son comparados con algunos en los cuales se usaron otro tipo de formas de medición para presión y densidad y se concluyó que la técnica presente da las propiedades de flujo a una exactitud de cerca de 5%. La técnica reveló también algunas aberraciones del flujo que no habían sido detectadas por otros medios.

Introducción: El flujo dentro del tubo de choque convencional operado por diafragma difiere significativamente del caso ideal. Esto es debido principalmente a dos causas: los efectos de la capa límite y a las imperfecciones en el traslado del diafragma. La desviación de las propiedades físicas del flujo directamente detras del frente de choque ha sido observado por muchos investigadores y una inspección de estos efectos ha sido dada por Emrich y Wheeler (20). Es

tos problemas son particularmente significativos en estudios en los que se requiere un conocimiento muy detallado de las propiedades físicas de un gas por toda la región de flujo - detrás del frente de choque. Un ejemplo es el estudio de la resistencia y respuesta de una estructura cuando está en--vuelta por una onda de choque. Esto ha sido discutido por - Dewey y Anson (21), quienes sugirieron que un tubo de cho- que podría ser calibrado completamente por un análisis de - trayectorias de partículas observadas experimentalmente den- tro del flujo.

La divergencia observada más fácilmente de un tubo de- choque de flujo real del caso ideal es la fuerza variando - del choque mismo conforme se mueve hacia abajo del tubo. Medidas de velocidad de choque por toda la longitud del tu- bo de flujo de choque muestran que la fuerza de choque se - incrementa rápidamente en la región cercana al diafragma -- hasta que se alcanza un valor máximo, algo menor que el va- lor calculado desde las propiedades iniciales de los gases - en las cámaras de compresión y expansión. Desde entonces la fuerza de choque decrece uniformemente por todo el tubo. Es- te cambio en la fuerza viene a ser mucho más rápido si el - tubo es demasiado largo para permitir el progreso del enra- recimiento de onda reflejada desde el final cercano de la - cámara de compresión, para alcanzar el frente de choque mis- mo. Esta técnica ha sido usada para producir una onda pro--

porcionada, simulando la ráfaga de ondas de una explosión - centrada. La gran variación de la fuerza de choque producida por estos medios deja el gas detras del choque en un estado de variación de entropía. Como resultado no hay relación funcional valuada simple entre las propiedades termodinámicas del gas y cualquier propiedad física, tal como la presión, es medida a un punto fijo en el tubo, no es posible determinar directamente la variación de otra propiedad física, como la densidad a ese punto. Este problema se ha resuelto por una ráfaga de onda, expandiendose en tres dimensiones, por el análisis de las trayectorias de partículas dentro del flujo (22).

Aquí se describen los resultados de un análisis similar aplicado a un tubo de flujo de choque convencional, usando una fuerza de choque intermedia, como un número Mach de 1.35.

Teoría: Si las trayectorias de las partículas de gas en espacio y tiempo se conocen, entonces todas las propiedades físicas del gas a cualquier posición y tiempo se pueden calcular. La fig. 16 es un diagrama $x-t$ de un tubo de flujo de choque convencional mostrando el choque primario, el choque reflejado desde la pared final de la cámara de expansión, el progreso del abanico de enrarecimiento reflejado desde el final cercano de la cámara de compresión, la zona de contacto consistiendo de una mezcla de gases desde la cá

mara de expansión y compresión junto con las partículas del material del diafragma y varias trayectorias de partículas. En este momento se asumió que el flujo es unidimensional; - y que son conocidas las trayectorias de partículas; en --- otras palabras a cualquier tiempo t la posición R de un elemento del gas y su posición original son conocidas. Se puede entonces aplicar la ecuación unidimensional de conservación de masa,

$$\rho/\rho_1 = \partial x / \partial R$$

donde ρ es la densidad a cualquier tiempo y ρ_1 es la densidad inicial del gas. Puesto que R y x se conocen, es posible determinar una relación empírica entre ellas y calcular $\partial x / \partial R$. La densidad del gas puede ser determinada de este modo en todos los puntos del flujo en términos de la densidad del gas ambiente en la región 1. La ecuación de la conservación de masa no es afectada por los cambios de entropía a los frentes de choque primario y reflejado.

La determinación de la presión en cualquier punto en el flujo requiere un conocimiento de la ecuación de estado en cada posición en la variación de entropía del gas detrás del frente de choque. Puesto que se ha determinado la densidad a todos los puntos en el flujo, la densidad relativa ambiente, se puede aplicar la ecuación Rankine-Hugoniot usando la razón de densidad a través del choque primario, -- particularmente,

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{\frac{\rho_3}{\rho_1} - \frac{\gamma-1}{\gamma+1}}{1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \frac{\rho_3}{\rho_1}}$$

donde ρ_3 y P_3 se refieren a las propiedades del gas inmediatamente detrás del choque y γ es la relación de calores específicos. En la región entre los choques primario y reflejado de cada elemento de gas en la corriente libre fuera de las capas límites experimenta solo cambios isentrópicos y a lo largo de cualquier trayectoria de partícula, particularmente, una trayectoria con un valor constante de x , se puede por lo tanto aplicar la ecuación de estado.

$$P/P_3 = (\rho/\rho_3)^\gamma$$

Un proceso similar puede ser usado ahora a través del choque reflejado dentro de la región 5, y en esta forma la presión a través de todo el flujo se puede encontrar en términos de la razón de densidad previamente calculada.

La velocidad del sonido a , se puede ahora encontrar para cualquier parte del flujo en términos de la presión y densidad determinados previamente particularmente,

$$a^2 = \gamma P/\rho$$

asumiendo un gas perfecto, o

$$a^2 = \partial P/\partial \rho$$

si la ecuación de estado no es conocida. Esto conduce a la temperatura T de cada elemento del gas desde,

$$T/T_1 = (a/a_1)^2$$

El tiempo derivado de la trayectoria de partícula,

$$\left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)_x$$

da la velocidad local de partícula u y de este modo la presión dinámica definida como $\frac{1}{2} \rho u^2$, y el número local Mach, -
 $M = u/a$.

Todos los parámetros físicos de flujo por lo tanto son determinados por el trazo de los movimientos de partícula - originadas a varias posiciones en la cámara de expansión. - No es necesario hacer referencia a ninguna otra medida tal- como aquella por indicadores o un interferómetro.

En suma, no se asumió que la velocidad de choque es -- constante por todo el flujo, ya que los cálculos son igualmente válidos para choques inestables. Esto es particular-- mente conveniente en la examinación del flujo detrás de un- frente de choque reflejado.

En este punto es importante discutir las suposiciones- que se hicieron, particularmente que el flujo es unidimen-- sional, que hay conducción de calor sin importancia desde -a las paredes del tubo y que los efectos viscosos son despre- ciables. En las situaciones en las que se intentó el uso de la técnica del análisis de la trayectoria de partícula solo fueron consideradas ondas de choque relativamente débiles - en gases a presión atmosférica. Como resultado, para la dura- ción del flujo que se estudió, las capas límite permanecen- delgadas. Los resultados que serán dados más tarde muestran

que después de un tiempo de flujo de aproximadamente 6 mseg cuando el gas se ha movido más de 1 m. hacia abajo del tubo se detecta desviación del flujo unidimensional, tampoco ninguna capa límite crece para quitar el campo de vista dentro del que se tomaron las medidas. Esto confirma las observaciones de Glass y Patterson (23), quienes mostraron que para una onda de choque de la fuerza considerada aquí, en un gas a presión atmosférica y a una distancia de 4 m. detrás del frente de choque, el espesor de la capa límite es de -- aproximadamente 0.25 cm. En la capa límite, la superficie de contacto entre los gases conductor y conducido actúan -- como un pistón loco, pero con el arreglo usado en estos experimentos, un tubo de choque con un perímetro de sección transversal de 75 cm., una onda de choque con una velocidad Mach entre 1.37 a 1.31 en un gas a presión atmosférica y -- con la superficie de contacto aproximadamente de 4 m. de--trás del choque, la pérdida total de masa a través de la capa límite es solamente cerca de 4% y sería menor del 2% a una posición de 1 m. detrás del choque. El flujo transver--sal es por lo tanto muy pequeño, y en cualquier evento no -- afectaría las determinaciones de densidad y velocidad de -- partícula las cuales son medidas directamente desde las tra--yectorias de partículas experimentalmente observadas.

Para determinar la presión en el flujo se asumió que -- la ecuación isentrópica de estado se usaría y esto requiere

que haya transferencia de calor despreciable. En los flujos no radiantes que se estudian, la conducción y la convección turbulenta en las capas límite son las únicas formas importantes de transferencia de calor.

Estas solo ocurrirán cerca de las paredes del tubo de choque. Usando la temperatura máxima detrás del choque incidente y la temperatura ambiente de las paredes del tubo de choque para definir el gradiente más grande de temperatura que se espera, el error en el cálculo de la presión desde la densidad usando la ecuación isentrópica de estado a una distancia de 1 cm. de la pared del tubo es menor de 1%.

Los efectos de conducción de calor y viscosos son pequeños en la densidad ambiental alta y fuerzas de choque relativamente débiles las cuales están siendo aplicadas en la técnica del análisis de trayectoria de partícula. No ha sido posible aplicar la técnica a situaciones de densidad ambiental baja en las cuales se pueden usar fuerzas de choque altas, porque no han sido encontrados trazadores de partículas disponibles para gases de baja densidad.

Procedimiento experimental: Para evaluar la técnica -- del análisis de la trayectoria de partículas, el método se usó para calibrar un tubo de choque convencional de sección transversal rectangular operado por diafragma, produciendo una onda de choque de fuerza intermedia. Las trayectorias de partícula fueron determinadas por fotografía de alta ve-

locidad de corrientes de humo formadas en el tubo inmediatamente antes de que el diafragma fuera abierto. La sección transversal del tubo rectangular fué de 7.62 por 25.4 cm. La cámara de compresión era de 1.04 m. de largo. El diafragma de celuloide de 0.25 mm. era abierto por medio de una -- aguja corriendo por toda la longitud de la cámara de compresión. La cámara de expansión fué construida de varias secciones, 4 de longitud de 1.4 m., 1 de longitud de 1 m., 2 de longitud de 0.5 m. y 1 de longitud de 0.25 m. para dar una longitud total de 8.24 m. El movimiento de las corrientes de humo se observó en forma fotográfica entre ventanas de 30 x 25 cm. en una de las secciones de 0.5 m. Las ventanas se hicieron de Plexiglas de calidad óptica de 5 cm. de grueso. Las corrientes de humo serían formadas a través de la anchura del tubo de 25.4 cm. a intervalos de 10 cm. a lo largo de la sección de 1 m. y en la sección de las ventanas por un arreglo adecuado de varias secciones del tubo fué posible iniciar las corrientes de humo a cualquier distancia del diafragma y observar su movimiento subsecuente a cualquier posición en el tubo.

Una placa final de acer pulido fué empalmada a la sección final de la cámara de expansión para sellar el tubo y proveer una buena superficie para la reflexión normal del choque.

Formación de los trazadores de humo: Se escogió humo --

de tabaco como trazador del flujo. Estudios previos (24), han mostrado que el cigarro da una fuente conveniente y barata de partículas de tamaño pequeño que muestran inercia despreciable en aire a presión atmosférica cuando atraviesan por una fuerza de choque intermedia, $1.1 \leq M_g \leq 2.8$. Para producir y mantener una corriente de humo discreta y estable a través de la dimensión de 25.4 cm. del tubo de choque fué tirado a través de un orificio de 0.15 cm. de diámetro. La capacidad de la boquilla en la pared más baja del tubo era similar en diseño pero con un orificio de 0.24 cm. de diámetro para acomodar el ligero ampliamiento de la corriente de humo cruzada en el tubo.

El humo fué provisto desde un cigarro a través de la boquilla de entrada y atraviesa el tubo en un chorro laminar por conexión de la boquilla de salida a un pequeño aspirador de vacío conectado a una línea estable de aire. Se encontró que un vacío de aproximadamente 18 cm de agua medido por un manómetro simple de agua conectado a la cámara de expansión, era adecuado para producir una corriente de humo delgada y estable. Un vacío menor que este dió una corriente débil e inestable, mientras que un vacío mas alto dió un chorro turbulento. La presión diferencial a través de la cámara misma fué medida y se encontró de cerca de 2 mm. de agua. Una medida simultanea de la presión en la cámara de expansión a varias posiciones a lo largo del tubo in-

dicaron una variación menor de 1 cm. de agua sobre la longitud entera.

Las técnicas fotográficas: El movimiento de los trazadores de humo pasando por la ventana fué filmado por una cámara de película en movimiento de alta velocidad Hycam 16--mm. modelo K2004E operada a una velocidad de 5000 cuadros por segundo. Se usó película Kodak TRI-X negativa No. 7233--y revelada durante 12 min.

El tubo de choque fué encendido por un microswitch dentro de la cámara que fué disparado cuando se alcanzó una velocidad uniforme de 5000 cuadros por segundo. Se usó un aparato especial de tiempo para poner marcas en la película a intervalos de $1 \mu\text{seg}$. Se requirieron 27 experimentos para completar el plano de las trayectorias por todo el flujo y por lo tanto fué necesario relacionar el tiempo en cada experimento a una referencia común. Esta fué escogida como el arribo del frente de choque a una posición en la cámara de expansión de 1 m. del diafragma. El frente de choque pareció estar bien formado en esta posición y su tiempo de arribo sería medido exactamente durante cada experimento usando un medidor eléctrico. El pulso de voltaje del medidor fué amplificado y se usó para marcar la película.

Los trazadores de humo pasando por la ventana fueron iluminados por una fotolámpara estandar de 1000 W. La luz fué situada ligeramente arriba del campo de vista de los --

lentes de la cámara. Se colocó una pantalla negra detrás de la ventana del tubo en la vista completa de la cámara. Debajo de la pantalla se usó un espejo para regresar una parte de la luz reflejada por la superficie de las ventanas. Con una corriente de humo en la sección de ventanas la luz fuera de eje fué dispersada por las partículas de humo en la cámara. En esta forma se alcanzó un contraste máximo en la película entre el rastro de humo blanco y el fondo negro. Esta cantidad de luz permitió el uso de un obturador de 1 décimo en la cámara, el cual a una velocidad de 5000 cuadros por segundo produjo un tiempo de exposición para cada cuadro de 20 μ seg.

Traductor de medidas de presión: En ayuda a la fotografía de los rastros de humo se usaron series de 7 traductores o medidores eléctricos en cada experimento. Los traductores son similares a los descritos por Fenrick y Vesso (25). Pruebas extensas han mostrado que estos traductores van a estar relativamente libres de señales falsas generadas por luz, calor o condición de esfuerzo. La resistencia de cada traductor es de aproximadamente $5 \times 10^{10} \Omega$.

Los traductores dieron la variación de presión hidrostática con el tiempo a intervalos de 10 cm. por todo el tubo y estos resultados serían comparados con los derivados subsecuentemente del análisis de las trayectorias de partículas.

Método de análisis: Cada película fué analizada por --
 proyección de cada cuadro con una unidad de amplificación.-
 No se detectaron errores ópticos. Las mediciones de posi---
 ción serían hechas a una precisión de 1 mm. La amplitud de-
 cada corriente de humo filmada se encontró de cerca de 4mm.
 Esto se debió en parte a la exposición finita de tiempo de-
 20 μ seg. durante los cuales ha tenido lugar un pequeño movi-
 miento del trazador. Como resultado, las medidas de posi---
 ción fueron tomadas al punto medio del trazador donde se --
 observó el contraste máximo. La posición de cada corriente-
 de humo en cada cuadro fué medida relativa a la posición en
 la cámara de expansión, 1 m. desde el diafragma. Se analiza-
 ron un total de 27 películas para describir el movimiento -
 de las partículas trazadoras, originadas a intervalos de 10
 cm. por toda la longitud de la cámara de prueba. Debido a -
 la excelente concordancia entre los datos de un experimento
 y el siguiente, no se consideró necesario seguir los traza-
 dores de humo a todos los puntos en el tubo, así se hace --
 una interpolación confiable de una parte de la trayectoria-
 de partícula a la siguiente. Esto reduce el número de expe-
 rimentos requeridos a la mitad.

El análisis de los datos de la trayectoria de partícu-
 la se hizo usando un programa preparado por una computadora
 IBM 360/44. Para partícula trazadora, originada a una posi-
 ción x , los valores medidos de su posición R , a tiempos t , -

fueron separados en dos grupos, el primero conteniendo valores para tiempos entre el arribo del choque incidente y el arribo del choque reflejado y el segundo conteniendo valores después del arribo del choque reflejado. Usando una aproximación de mínimos cuadrados, se determinaron las curvas pasando a través de los puntos en cada grupo. En esta forma, se definió cada trayectoria de partícula por dos relaciones funcionales de la forma.

$$R = f_i(\tau)_x = \sum_{k=0}^n b_k T_k(\tau), \quad (1)$$

donde T_k es el polinomial Chebychev de orden k , b_k son coeficientes constantes determinados en la aproximación y n es el orden del ajuste.

En estas aproximaciones, fué aceptado un valor de 3 mm para la desviación promedio de R debida al error experimental y los ajustes resultantes de orden más bajo dentro de este error fueron entonces encontrados sin requerir otra información.

Con la relación funcional empírica (1) fué posible determinar la velocidad de partículas en cualquier lugar de la trayectoria por:

$$u = \left(\frac{\partial R}{\partial \tau} \right)_x = \frac{dR(\tau)}{d\tau} = \sum_{k=1}^n b_k \frac{dT_k(\tau)}{d\tau} \quad (2)$$

Se escogieron series de valores del tiempo t por todo el rango de los datos a intervalos de 0.50 msec. Cada uno

de estos tiempos fue aplicado en las ecuaciones (1) y (2) - para determinar la posición de partícula R y su velocidad u para las varias trayectorias de partículas originadas a la posición x . Los datos resultantes (R, x, t) y (R, u, t) fueron contenidos en 2 grupos distintos, el primero para la región de flujo entre los choques incidente y reflejado y el segundo para la región detras del choque reflejado.

Para cada valor de t , los datos individuales fueron otra vez aproximados, usando la misma técnica de mínimos cuadrados, como sigue:

$$X = g_i(R) = \sum_{k=0}^m (k T_k(R)) \quad (3)$$

La densidad en cualquier posición R a un tiempo t ahora podría ser encontrada de la ecuación de continuidad ---- Lagrangian.

$$\frac{\rho}{\rho_i} = \frac{dX}{dR} = \frac{dg_i(R)}{dR} = \sum_{k=1}^m (k \frac{dT_k(R)}{dR}) \quad (4)$$

En esta forma, usando las ecuaciones empíricas (1) a (4), la densidad y velocidad de partícula fueron mapeadas por todo el flujo. Las otras propiedades de flujo fueron encontradas en la forma descrita en la sección de teoría.

Por el uso repetido de una técnica simple de aproximación, se completó al análisis de trayectoria de partículas usando un programa de computación simple. Las propiedades de flujo fueron puestas en coordenadas Eulerianas, mostrando su variación con el tiempo a localizaciones fijas en el tubo o su variación con la posición a tiempos fijos.

Resultados: Para cada experimento se usó una presión inicial de 4.4 atm. en la cámara de compresión. El gas de prueba consiste de aire seco y se mantuvo a 18 cm. de agua-abajo de la presión atmosférica. La razón del diafragma de presión (P_{41}) fué de esta forma de 4.5, con una variación de ± 0.05 en toda la serie de experimentos. El aire en las cámaras de compresión y expansión se dejó para lograr la temperatura ambiente la cual tenía un valor aproximado de $23.8 \pm 1.2^\circ\text{C}$ en todos los experimentos.

Las velocidades de los frentes de choque incidente y reflejado se han graficado en la fig. 17. Se ve que el choque incidente está linealmente atenuado conforme atravesó la cámara de expansión. La velocidad del choque reflejado desde el final de la cámara de expansión varió considerablemente debido a las interacciones con las varias partes del flujo incidente. Esta variación de fuerza de choque indica que la entropía del gas a cualquier tiempo es una función de la posición en el tubo. El método del análisis de la trayectoria de partícula además parece apropiado para calibrar el flujo, puesto que no se hace la suposición de que la entropía es constante.

Varias películas mostraron que fragmentos del material del diafragma fueron distribuidos en el flujo más allá de zona de contacto. Los remanentes rotos del diafragma fueron acelerados a aproximadamente la misma velocidad que la su--

perficie de contacto. El enrarecimiento de onda, reflejada desde el final cercano de la cámara de compresión, eventualmente alcanzó la zona de contacto y las partículas desaceleradas de gas, pero tuvo un efecto menor en los fragmentos del diafragma más masivos. Varios de los rastros de humo iniciados cerca del diafragma fueron alcanzados por fragmentos del mismo y debido a la turbulencia resultante no sería completada una determinación de estas trayectorias de partículas. Las mediciones del traductor de presión hechas en esta región no dieron indicación del distrubio del flujo, pero la observación visual del movimiento de las partículas reveló fácilmente los efectos y la causa.

Las ligeras variaciones de las condiciones iniciales del conductor y los gases de prueba parecen haber tenido un efecto mínimo en las ondas de choque resultantes y se alcanzó una buena reproductibilidad del flujo. Esta está ilustrado en la fig. 18, la cual muestra una parte de los datos obtenidos de los 4 experimentos separados, graficados en el plano x-t. La facilidad con que las trayectorias de partículas se interpolaría entre 2 grupos de datos, a distancia de 20 cm. fué innecesaria para mapear completamente el flujo de partículas por toda la cámara de expansión, esto redujo el número requerido de experimentos en 505. Todos los datos para las trayectorias de los trazadores de humo, los choques incidente y reflejado y el enrarecimiento principal es

tán graficados en la fig. 19.

Muirhead reportó que hubo retardación inercial despreciable de los trazadores de humo. Esto fué confirmado por comparación de la velocidad de los trazadores inmediatamente detras del frente de choque con los valores de velocidad de partícula calculados del número Mach de choque medio y la relación de Rankine-Hugoniot. Esto está ilustrado en la fig. 20, que es una escala grande del diafragma x-t de parte del flujo. La línea sólida es la trayectoria de choque observada de la cual se midió la velocidad de choque. Esta velocidad entonces se usó para calcular la trayectoria de partícula detras del choque. Estas están mostradas como líneas divididas. Las posiciones observadas de los trazadores de humo de tabaco de los 2 experimentos también se han graficado y mostrado, iguales muy cerca del choque mismo, no se detectó retardación inercial.

Los 27 grupos de datos de trayectoria de partícula fueron entonces analizados usando las técnicas numéricas descritas previamente. Los resultados fueron puestos en coordenadas Eulerianas mostrando el tiempo de variación de presión, densidad, temperatura, velocidad de partícula, velocidad sónica local y número Mach local a intervalos de 10 cm. en todo el rango de datos, particularmente de 1.55 m. desde el diafragma al final cercano de la cámara de expansión a 8.25 m. del diafragma. Los resultados típicos a una posi---

ción de 4.85 m. del diafragma están dados en las figs. 21 y 22. Las propiedades físicas del flujo también serían puestas de manera que muestren su variación con la posición en el tubo a cualquier tiempo especificado. Las figs. 23 y 24 muestran variaciones típicas de espacio por todo el tubo a un tiempo escogido arbitrariamente de 20 mseg. La decadencia monótona de las propiedades de flujo entre el choque reflejado y el final cercano del tubo es causada por el enrarecimiento de onda, el cual a ese tiempo ha casi alcanzado el final del tubo.

Para verificar la validez de la técnica del análisis de la trayectoria de partícula el tiempo de variación de la presión fué medido con traductores eléctricos, a intervalos de 10 cm. por toda la longitud del tubo y comparada con la variación determinada del análisis de trayectoria de partícula. Tal comparación se muestra en la fig. 25. La concordancia entre estos 2 grupos de datos es extremadamente buena, como lo fué para todas las posiciones en toda la longitud del tubo. Se nota que la presión determinada desde el análisis de trayectoria de partícula va a ser comúnmente menos exacta que la determinación de la velocidad de partícula o la densidad, puesto que estas 2 propiedades son obtenidas de los datos observados después de un manejo numérico, mientras que la presión requiere 2 de esos manejos. Al tiempo que estos experimentos fueron realizados, no fueron fáciles

les de disponer para mediciones directas de cualquier otra-propiedad física del flujo (26).

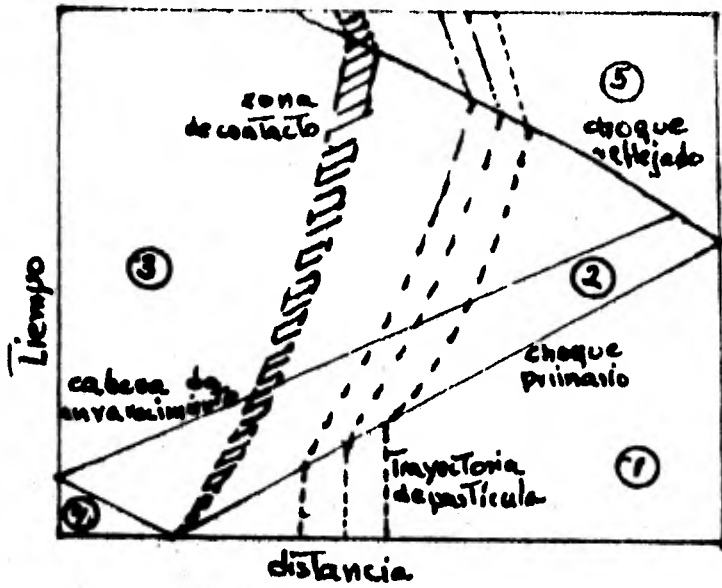


fig 16

fig 17

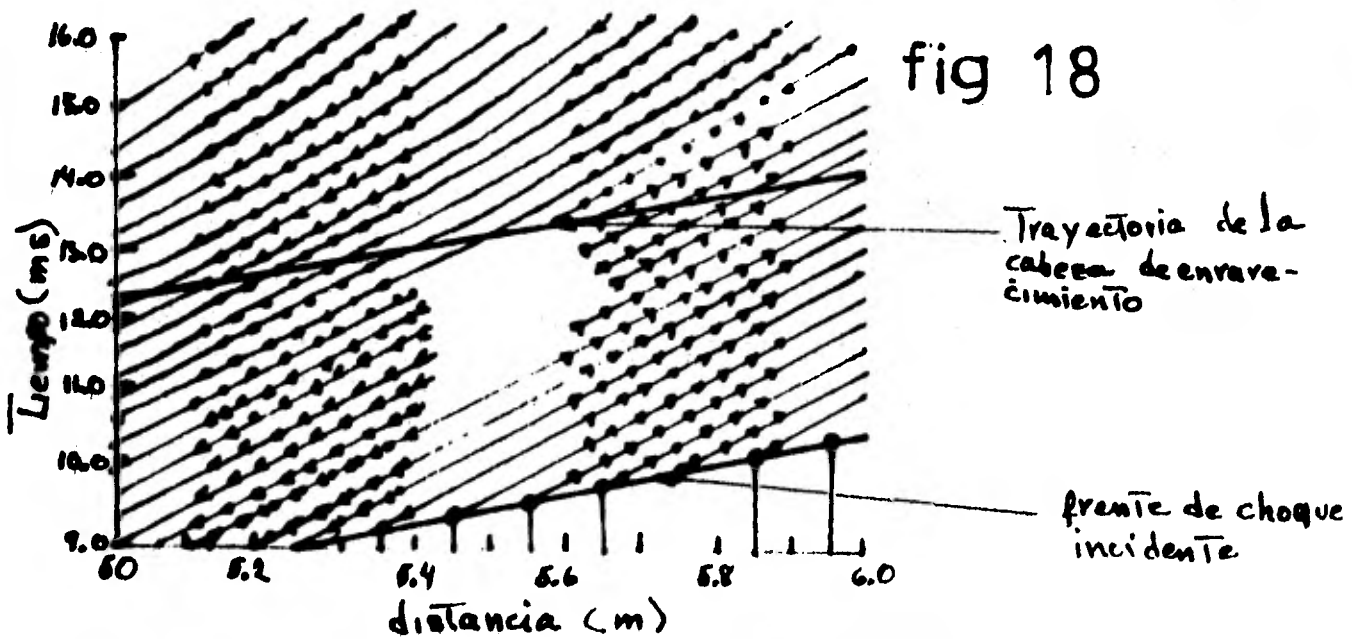
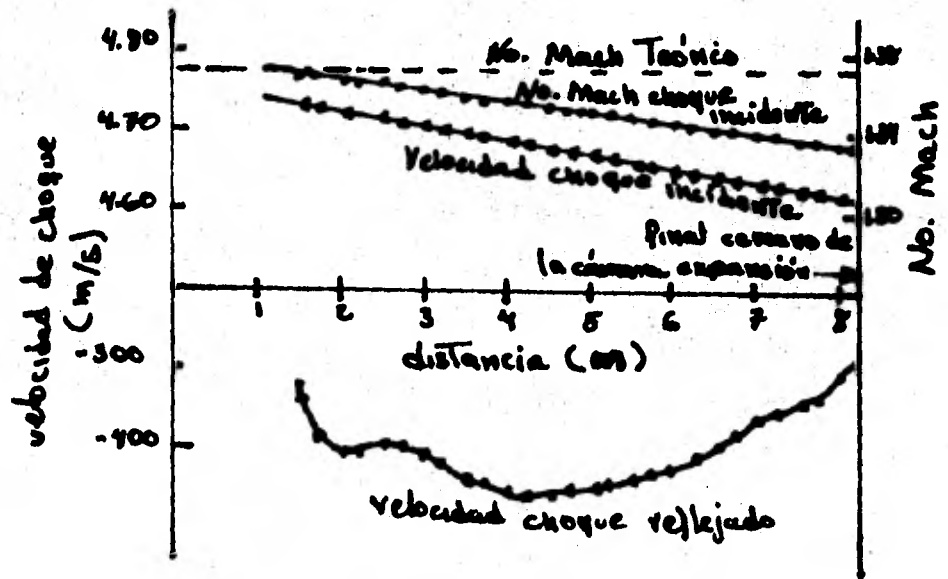


fig 18

fig 19

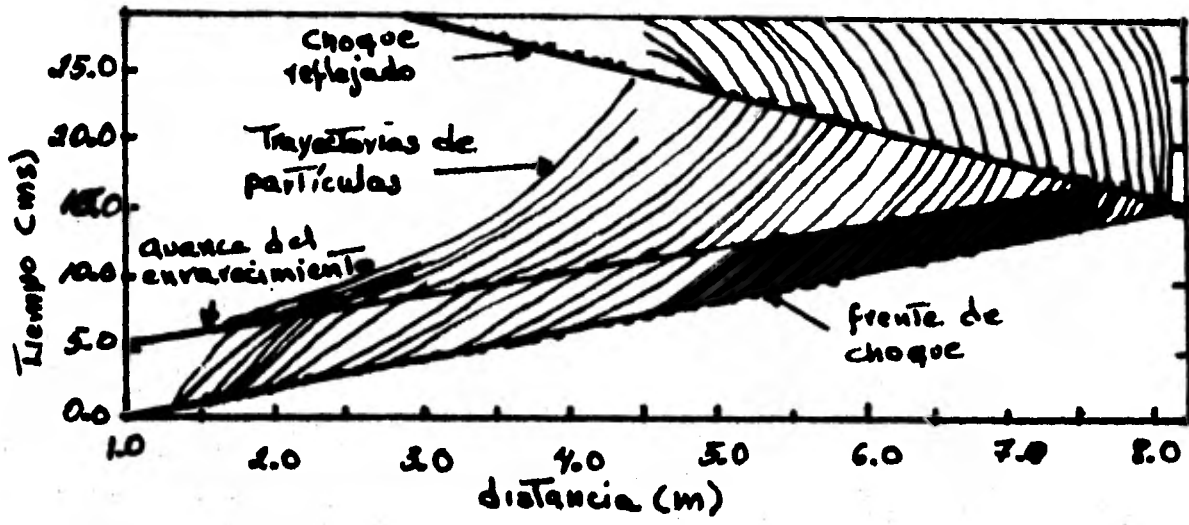


fig 20

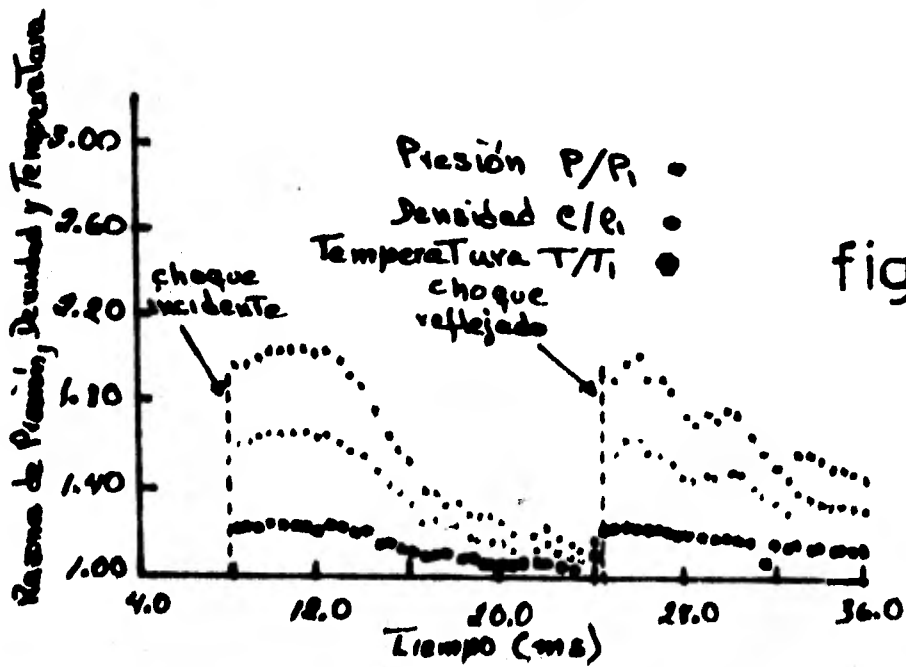
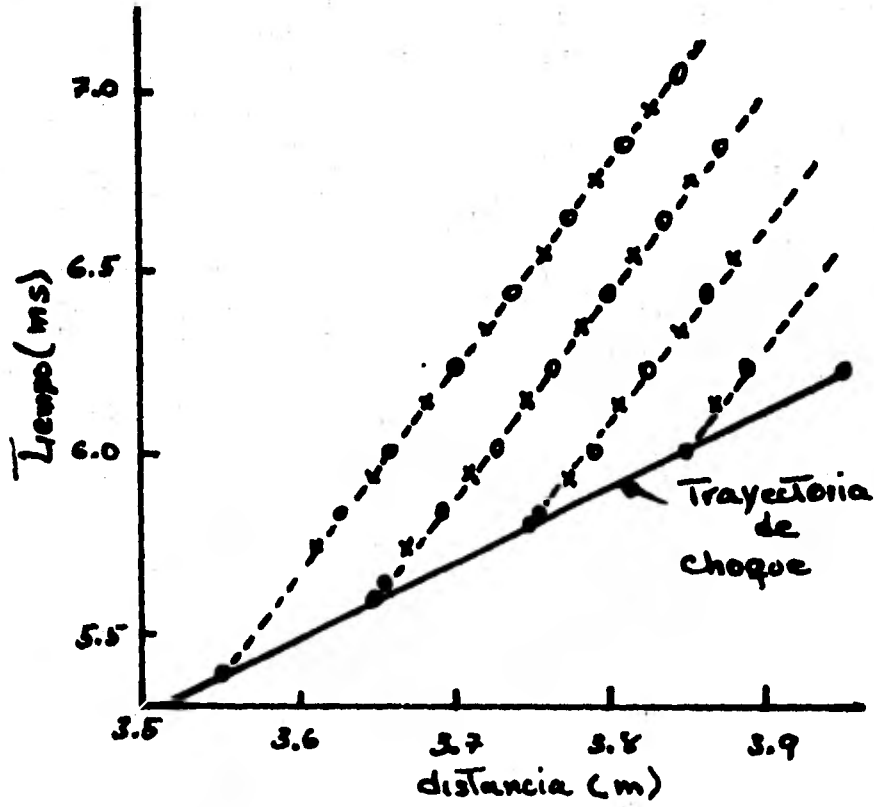


fig 21

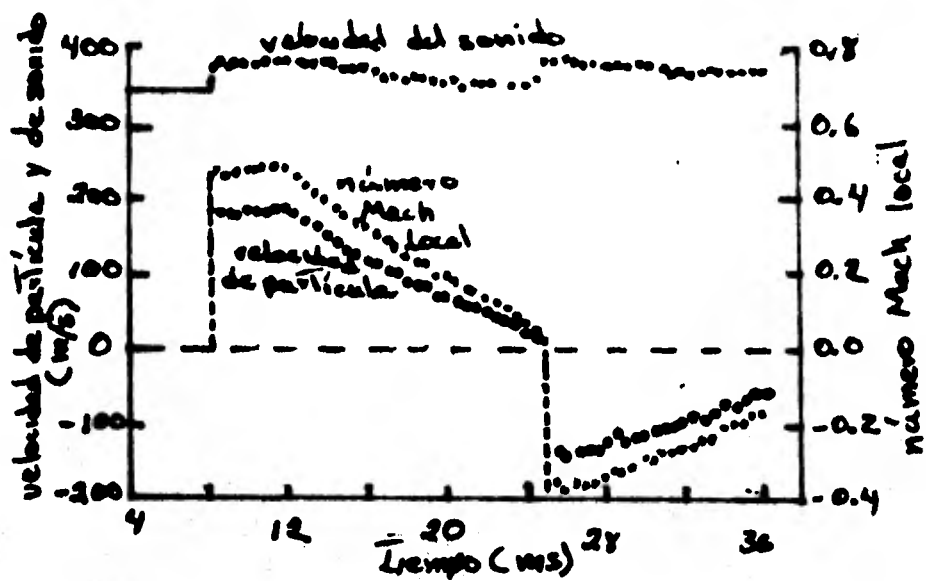


fig 22

fig 23

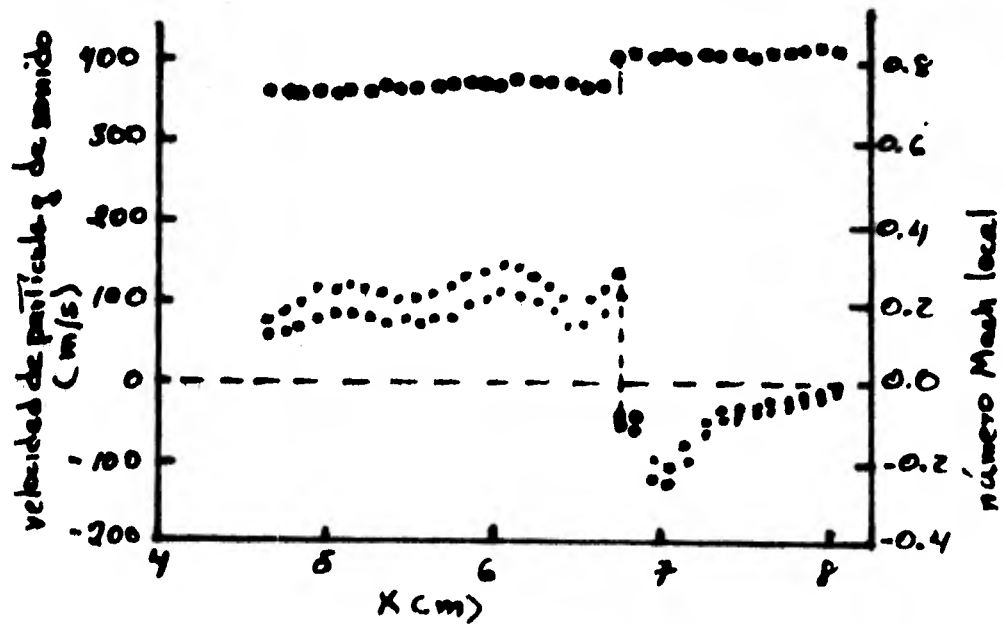
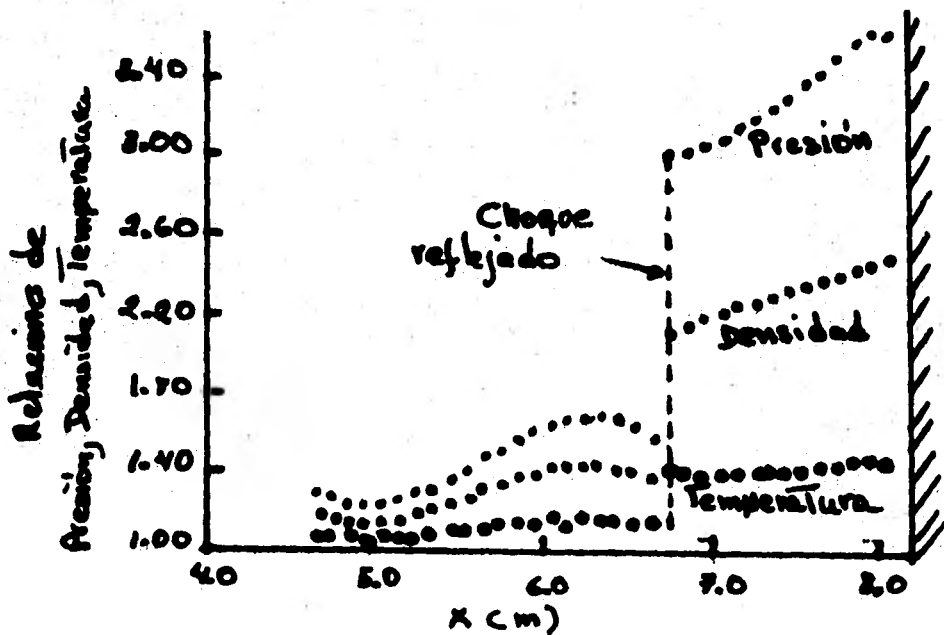
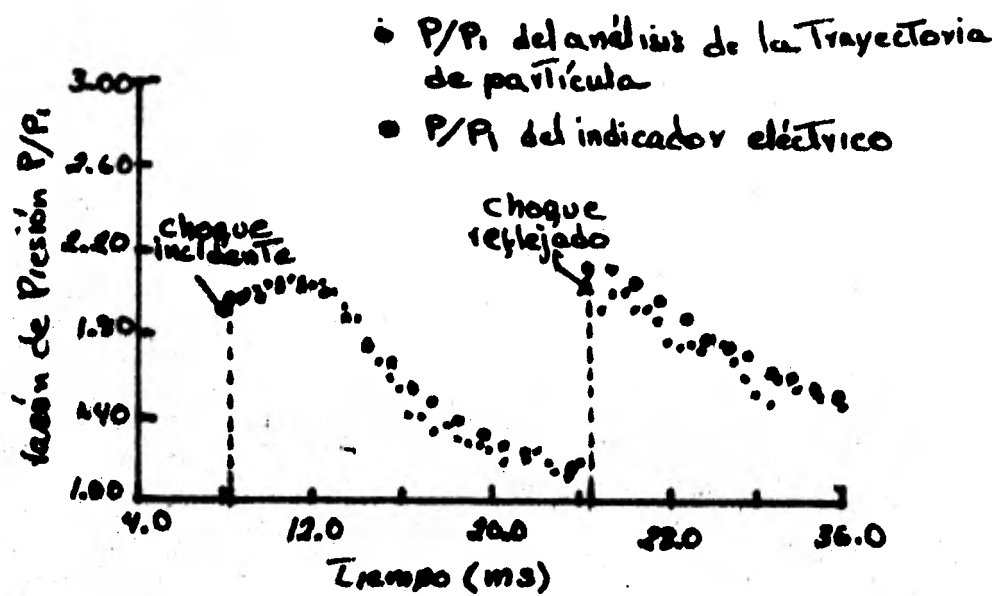


fig 24

fig 25



2) ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS: El origen del estudio de tiempos y movimientos fué en el taller de maquinaria de Midvale Steel Company en 1881, a través de los esfuerzos de Frederick W. Taylor, quien es considerado como el creador de las técnicas modernas. El estudio de micromovimientos, que utiliza una película en movimiento a una cámara de cuadros y la cronociclografía, basada en el uso de una cámara inmóvil, fueron desarrollados por Frank B. Gilbreth y su esposa. El término estudio de micromovimientos fué originado por Gilbreth y publicado en una reunión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos en 1912 (18).

La cronociclografía, un nombre inventado también por Gilbreth, consiste de atar un bulbo de luz a un dedo, al dorso de la mano o alguna otra parte del cuerpo y fotografiar el movimiento de esta lámpara con una cámara estereoscópica. El trazo obtenido en la filmación es llamado ciclógrafo. Si la iluminación de la lámpara es interrumpida a una frecuencia conocida, la trayectoria del bulbo aparece como una línea punteada indicando la dirección del movimiento. Las rayas de luz serán espaciadas de acuerdo a la velocidad del movimiento. De la representación de estas gráficas es posible determinar el tiempo, dirección, velocidad y aceleración del movimiento en tres direcciones. De las cronociclografías es posible construir modelos de las trayectorias de movimientos que pueden ser usados para mejorar los-

movimientos o asistir con entrenamiento a los operadores para lograr un desarrollo óptimo en la realización de tareas específicas. Hoy en día la cámara de película en movimiento es más comúnmente usada que la técnica de cronociclografía para este trabajo. La cámara debe ser puesta de tal modo -- que el movimiento entero del sujeto sea filmado en una forma comprensible. La cámara debe ser puesta tan cerca del sujeto como sea posible para que no se excluya ninguna porción del movimiento. Normalmente el movimiento de un operador ocurrirá en dos direcciones, perpendicular y paralelo al eje óptico de la cámara. Es conveniente poner la cámara en un ángulo oblicuo, así que los movimientos importantes -- ocurren perpendicularmente al eje óptico. Esto hace que la película sea más fácil de analizar, puesto que es mucho más difícil determinar la cantidad de movimiento cuando está -- hecha en dirección a la cámara (18).

3) ESTUDIOS MECANICOS: Las aplicaciones de la fotografía en el campo de la mecánica son tan numerosas y variadas que es muy difícil cubrir todo el campo en una discusión general como la presente. Por esta razón solo se ilustran y discuten algunos ejemplos.

La cinematografía de alta velocidad representa la técnica de fotoinstrumentación más frecuentemente usada en análisis de mecanismos.

La cámara de alta velocidad permite al ingeniero disminuir la velocidad de acción de una maquinaria de alta velocidad para una examinación directa visual de la interacción entre una leva y una rueda secundaria; la acción de resortes; flexión, inercia y el impacto de partes en movimiento, formación de astillas, manejo de partes, etc. (18).

Análisis de vibración: Cuando una rueda volante pesada soportada por una flecha gira a altas velocidades se produce un efecto oscilatorio llamado "torbellino", que resulta en una vibración excesiva a velocidad crítica. El torbellino tiene lugar ya sea en la dirección de rotación o en la dirección opuesta, a una velocidad rotacional igual a dos veces las rpm (revoluciones por minuto) del torbellino a la velocidad crítica. El efecto es de vital importancia en el diseño de máquinas.

El torbellino es difícil de observar visualmente en una película de movimiento de alta velocidad porque el efecto

to es disfrazado por la rotación de la rueda volante.

Aunque también se hace aparente un desplazamiento periódico del torbellino. Una forma de superar este problema es fotografiar la rueda volante de tal forma que la cámara esté a una velocidad sincrónica con ella. En esta forma el torbellino aparecerá estacionario y se puede analizar el fenómeno sin ninguna influencia (18).

Análisis de esfuerzos: Cuando la deflexión en un modelo mecánico o parte de él puede ser observada y medida, los esfuerzos se pueden calcular en base a las relaciones de esfuerzos conocidas en el modelo particular.

El análisis fotoelástico es un método más efectivo para determinar la distribución de esfuerzos en modelos bidimensionales, para cargas tanto estáticas como dinámicas.

Para un modelo a escala se utiliza un material isotrópico, generalmente celuloide o bakelita de cerca de 1/4 de pulgada de espesor. El modelo se carga en proporción a las fuerzas actuando en el componente original y fotografiado entre polarizadores cerrados para filmar las líneas isoclínicas e isocromáticas resultantes. Las fotografías pueden ser analizadas para descubrir la distribución de esfuerzos, esfuerzos máximos de corte, dirección de los principales esfuerzos, diferencias entre ellos y la magnitud de uno de ellos en el límite.

Las líneas isoclínicas indican la dirección de los es-

fuerzos principales y las líneas isocromáticas la diferencia entre ellos.

También se puede estudiar la propagación de ondas de choque en un material sólido aplicando la fotografía.

La fotografía de lapso de tiempo se puede usar en los laboratorios de prueba para estudiar cambios de larga duración en materiales, por ejemplo el análisis de corrosión en metales, también se puede aplicar este tipo de fotografía a las pruebas de vida en mecanismos y otras partes mecánicas (18).

UNA TECNICA PARA LA APLICACION DE TUBERIAS DE LUZ EN--
LA FOTOGRAFIA DE UN MECHERO DE GOTEO DE COMBUSTIBLE: El ob-
jetivo de esta aplicación de tuberías de luz fué observar -
el movimiento, distribución y velocidad de las gotas de com-
bustible bajo condiciones encontradas en las etapas inicia-
les (antes de la combustión) de la inyección por goteo den-
tro de la cámara de combustión de una máquina diesel. Las -
presiones y temperaturas encontradas en las cámaras de com-
bustión fueron simuladas en una cámara presurizada de nitró-
geno. La presión y la temperatura fueron 1700 kN/m^2 y 720°C
respectivamente. La técnica es comparada con otros métodos-
fotográficos.

Introducción: El trabajo de cálculo en el inicio de la
combustión y sus velocidades subsecuentes es de gran impor-
tancia en el diseño de máquinas diesel. Los cálculos son de-
pendientes de las velocidades de evaporación y también de -
las velocidades de desaceleración de las gotas de combusti-
ble, que típicamente tienen diámetro inicial de $20\text{-}50 \mu\text{m}$ y
una velocidad inicial de 200 m/s .

Existe una cantidad considerable de información en los
"coeficientes de arrastre" de gotas pequeñas sin evapora---
ción y en las velocidades de evaporación de gotas estaciona-
rias de diámetro mayor a $50 \mu\text{m}$. El trabajo experimental des-
crito aquí fué hecho al paralelo con cálculos de combus---
tión (Pirouz Panah y Williams 1977), de manera que da algu-

nos datos empíricos sobre el movimiento y velocidades de -- evaporación de pequeñas gotas bajo altas presiones y temperaturas en máquinas diesel. Los experimentos iniciales para las medidas del tamaño de gota fueron conducidos por Pil---cher y Thomas 1958, Putman 1957 y Mellor 1969, Mcgreath en 1972 indicó que el método más adecuado sería uno fotográfico.

Se adoptó un sistema de lentes que requieren de un --- ajuste exacto y los experimentos fueron realizados en un -- horno de spray de Kerozeno de alta luminosidad en una atmósfera libre. Como el experimento se realizó en una cámara -- presurizada se necesitaban dos ventanas de vidrio, para --- transmitir la luz dentro de la cámara, aunque la flama es - luminosa se requeriría de una chispa de alta tensión para - iluminar las gotas moviendose, esto produciría atenuación - de luz y distorsión de la imagen.

Aquí se describe una técnica que ha sido desarrollada por la cual la fuente de luz introducida directamente dentro de la cámara vía una tubería de luz movable que ilumina una pequeña area del spray de combustible, La imagen es --- transmitida a la cámara vía una ventana y los problemas de atenuación y distorsión se han reducido grandemente. Además de esa modificación, usando tubos de "luz coherente" se puede eventualmente remover los efectos de distorsión, debido a la eliminación de las ventanas de vidrio.

El circuito electrónico: El circuito electrónico fig. 26 consiste de un circuito de sincronización, un circuito disparador y un circuito de descarga. El principio de la operación es como sigue: después de que es operada la bomba de combustible a presión el pulso viaja a lo largo de la línea de combustible al inyector. Esta es detectada por un traductor de cuarzo y la señal del traductor es amplificada para actuar una parada, la cual cuando se cierra provee de corriente de 12V a dos transformadores situados en la unidad de disparo.

Hay dos huecos de chispa, operados por una unidad EHT (unidad simple multiplicadora con una salida de cerca de 5-10 kV), y los mismos huecos se usan para el disparo por un voltaje más bajo dado por los dos transformadores antes mencionados.

Los pulsos son hechos deliberadamente no simultáneos así que las chispas principales son separadas por un pequeño intervalo de tiempo de aproximadamente 0.01 ms. La energía de las chispas principales es dada por una unidad de fuerza de alto voltaje.

Sistema óptico: El sistema óptico está mostrado en la fig. 27. Las chispas del disparador son producidas a través de un hueco de chispa en una atmósfera de argón. Esto ioniza el argón que es suministrado desde un cilindro separado a alta presión, pero está tan regulado que a la boquilla de

chispa del mechero de argón la presión está cerca de 0.5-1-kPa medida por un manómetro separado. El argón pasa a través del electrodo más alto, produce una mecha en la boquilla y entonces pasa sobre el electrodo más bajo, después de la ionización la chispa principal ocurre entre los electrodos.

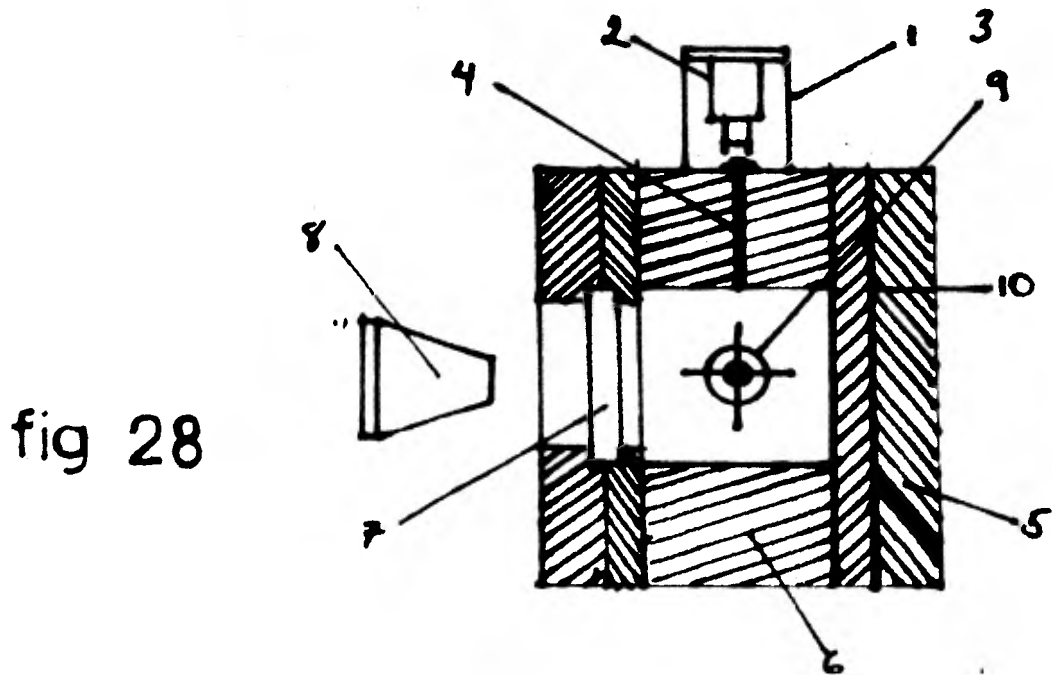
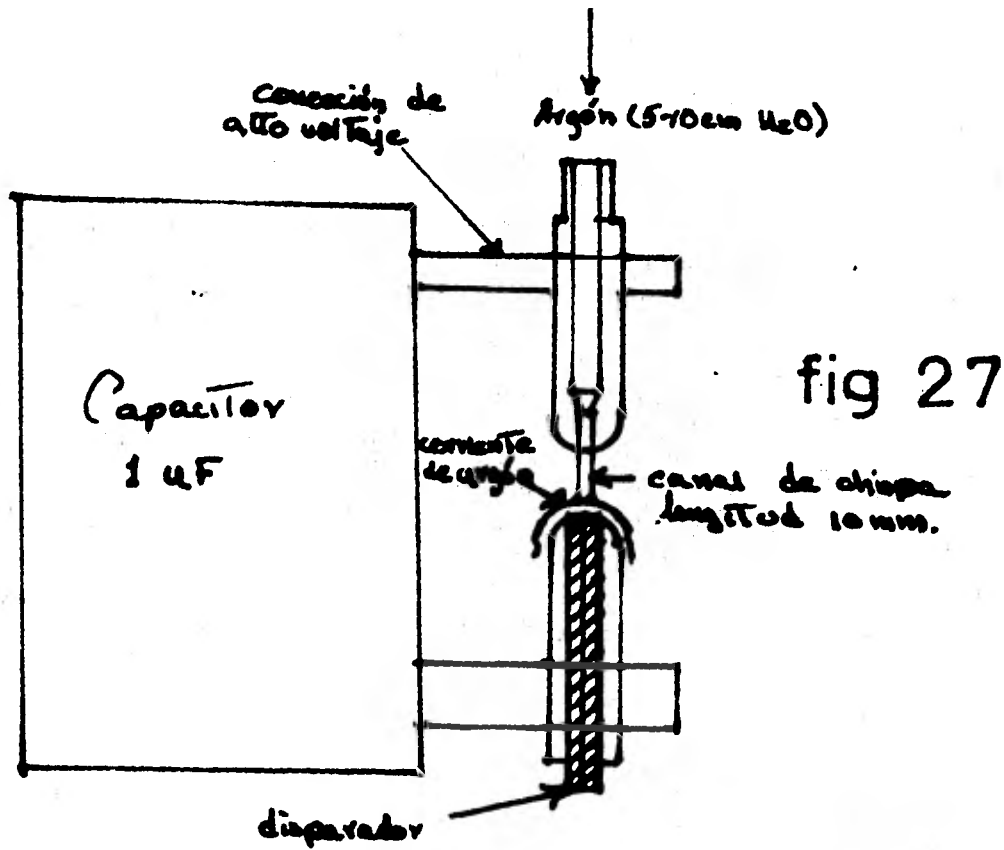
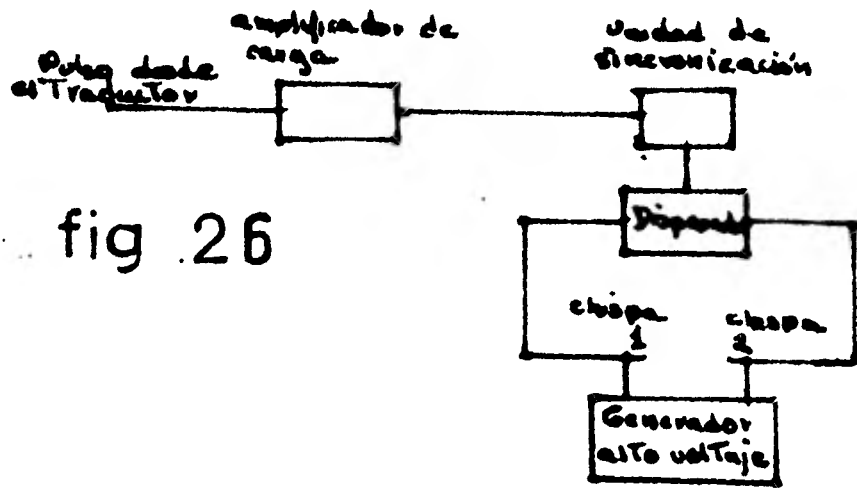
Arreglo y operación: El arreglo de las diferentes unidades del sistema óptico está mostrado en la fig. 28. Consiste de una fuente de luz (1), capacitor (2) que almacena la carga de alto voltaje para descargarla a través de la boquilla de chispa (3) y está montado directamente sobre el final de la varilla. La tubería de luz consiste de una varilla de vidrio sólido (4) con terminales planas y está montada a través de un cuello en la cámara (6) que está cerrada a los lados por placas (5). También consiste de una ventana (7) y cámara (8). La luz que se produce en las boquillas de chispa (3) es transmitida por medio de un tubo de luz rígido al spray de combustible (9). La cámara está montada normal al eje del spray de combustible. La imagen es recibida por la cámara (8) a través de la ventana de vidrio (7) para la fotografía.

Es difícil identificar los pares de imágenes de la misma gota en la placa fotográfica y así medir sus velocidades este problema se puede eliminar usando una fuente multinomial de chispa (esto es 3 canales por lo menos), así aparece

rían imágenes sucesivas de una gota en línea recta en la dirección de flujo, entonces la imagen correspondiente de la misma gota sería identificada. Esto necesitaría el uso de una unidad EHT separada para cada boquilla de chispa.

Naturaleza del tubo de luz: Las fibras conduciendo la luz, la transmiten por una reflexión total interna y así -- transmitirán la luz no importa como estén dispuestas. Los tubos de luz están disponibles en dos formas, particularmente varillas de fibra con una envoltura fundida de fibras individuales cada una de ellas de aproximadamente 0.075 mm. -- de diámetro; y una cubierta simple de fibra de vidrio. Estas tienen la propiedad de transmitir la luz sin dispersión

Los tubos de luz rígidos se han usado porque resisten altas temperaturas y tienen una eficiencia de transmisión -- más grande que las de tipo flexible (27).



MOVIMIENTO DE ONDAS EN MEDIOS ANISOTROPICOS POR FOTO--
 MECANICA DINAMICA: Se desarrollan técnicas fotomecánicas --
 para estudiar la propagación de ondas en medios anisotrópi-
 cos tales como compuestos reforzados por fibras y rocas. -
 Las franjas Moiré en materiales transparentes y opacos y --
 franjas isocromáticas en compuestos transparentes, son fo--
 tografiadas a velocidades arriba de un millón de cuadros---
 por segundo. Se usó una cámara Beckman y Whitley con ilumi-
 nación de una lámpara de argón o un flash electrónico espe-
 cial.

Introducción: Se han aplicado varias técnicas fotomecá-
 nicas a problemas de esfuerzos transitorios. En trabajos an-
 teriores se usaron modelos de materiales blandos tales que-
 las bajas velocidades de propagación de franjas dinámicas -
 permitieron ser fotografiadas por medio de la fotografía --
 convencional de alta velocidad. Después fueron usados mode-
 los de materiales más duros para simular en forma más co---
 rrecta el comportamiento mecánico y estructural de materia-
 les actuales. Las velocidades relativamente altas de ondas-
 en esos materiales requiere técnicas de filmación más sofis-
 ticadas tales como fotografía de rayado (28), cámaras comer-
 ciales de velocidades de cuadro ultrarrápidas (29), cámaras
 Cranz-Shardin (30) y lasers (31).

La mayor parte de los isotrópicos elastodinámicos fue-
 ron investigados por medio de modelos transparentes, aquí -

se extienden las técnicas de fotodinámica a materiales como compuestos y rocas. Tales materiales son anisotrópicos, impidiendo la posibilidad de modelarlos todos, pero fueron fotografiadas muestras de isocromáticos transitorios y franjas-moiré para vidrio, boro, compuestos reforzados con grafito y mármol. Se utilizó tanto luz transmitida como reflejada. Lo último es necesario ya que, rocas y materiales compuestos son opacos a la luz.

Se han filmado 25 secuencias de cuadros de 35 mm. a velocidades arriba de un millón de cuadros por segundo. Se utilizó una cámara comercial con iluminación de flash de argón o un sistema de flash electrónico ensamblado especialmente.

Mientras que la influencia de la anisotropía en el movimiento de ondas fué conocida por Lord Kelvin, los efectos recibieron poca atención hasta después de la segunda guerra mundial.

La anisotropía en los compuestos se debe al reforzamiento de fibras; deposiciones sedimentarias y pliegues tectónicos, los cuales causan tales respuestas en las rocas. La necesidad de separación de cuerpos de ondas en cortes puros y fenómenos de dilatación son una manifestación de la propagación de ondas anisotrópicas. De las publicaciones teóricas disponibles a este tópico, generalmente todas tratan la excitación armónica del estado estacionario. Además de Dally

Link y Prabhakaran (32), muy pocos investigadores han empleado técnicas experimentales de campo total para filmar respuestas anisotrópicas transitorias. La búsqueda de tales problemas ha sido impedida grandemente por la demanda de los requerimientos fotográficos.

La transmisión de luz fotoelásticamente se ha extendido recientemente a materiales anisotrópicos. Aunque la información isocromática e isoclinica necesita de mayor interpretación (33). La separación de esfuerzos bajo condiciones transitorias también es una dificultad. El método sin embargo, garantiza el desarrollo para aplicaciones válidas.

El uso de luz reflejada más que luz transmitida en Moiré es extremadamente efectivo para materiales como rocas o compuestos. Es igualmente efectivo para las situaciones anisotrópicas o dinámicas. Ya que al filmar los componentes del vector desplazamiento, el método da la solución a la ecuación diferencial parcial del movimiento. Est es particularmente significativo bajo respuesta anisotrópica ya que la solución teórica a estas ecuaciones ahora es extremadamente difícil. Los esfuerzos se obtienen fácilmente por la diferenciación de estos desplazamientos, desde los cuales los esfuerzos pueden ser evaluados. Moiré tiene la ventaja de que bajo cargas transitorias da la velocidad tanto de partícula como de onda a lo largo del dominio completo de tiempo y espacio.

Aquí se enfatizan las técnicas fotográficas desarrolladas para filmar respuestas transitorias en materiales tales como compuestos y rocas. Las aplicaciones a placas impactadas con y sin discontinuidades geométricas, sirven solo como ilustración, aunque se notan algunas manifestaciones más aparentes de propagación de ondas anisotrópicas.

Fotografía: Todas las muestras de franjas fueron filmadas con una cámara Beckman y Whitley modelo 189 equipada -- con una turbina de 5000 rps. La cámara es capaz de filmar -- imágenes de 35 mm. arriba de 1,250,000 cuadros/seg. en virtud de un espejo rotatorio, 25 lentes de aumento y película estacionaria.

La iluminación fué dada por un flash de argón o por un flash electrónico. Para fotoelasticidad se usó un filtro de gelatina Kodak para alcanzar la monocromaticidad.

La iluminación del flash de argón se conservó y dirigió para cubrir la porción trasera del flash con una hoja de aluminio, de ese modo formando un reflector. La luz de argón tiene un tiempo de elevación de $12 \mu s$. aproximadamente, la iluminación es constante por $40 \mu s$. También se utilizó otro sistema de fuente de luz. Se empleó una lámpara --- flash de Xenón (GE mod. FT 220) que está energizada y encendida por el circuito de la fig. 29. La iluminación del ---- flash electrónico es comparable a la lámpara de argón. Las resistencias de la fig. 29 están en ohms y $1/4 W$.

El trazo de un osciloscopio de la luz de salida se --- muestra en la fig. 30.

Se emplearon una gran variedad de películas y reveladores con variantes de tiempo de proceso. Se usaron las si--- guientes películas: Ektachrome de alta velocidad con luz -- blanca, película 4-X, película pacromática Tri-X y con la - que se obtuvieron los mejores resultados película Doble-X.

Movimiento de ondas en sólidos anisotrópicos. Fotoelas
ticidad: La propagación isocromática de franjas en placas - impactadas transparentes anisotrópicas se muestra en la --- fig. 31. Las placas de poliéster reforzadas en forma unidi- reccional con vidrio, eran de 12 in. por 10 in. por 0.14 -- in. de espesor (0.3 m. por 0.25 m. por 2.6 mm.).

El poliéster se combinó con estireno para alcanzar un- índice de refracción igual al del reforzamiento de vidrio. Esto produce un material relativamente transparente.

Los módulos estáticos medidos son: $E_{11} = 4.17 \times 10^6$ --- psi, $E_{22} = 1.36 \times 10^6$ psi.

Las fibras de reforzamiento estaban horizontales en la fig. 31a. y verticales en la fig. 31b. En cada caso la pla- ca se presionó dinámicamente por un detonador comercial (mo- delo BM-2).

Las franjas fueron filmadas usando luz transmitida da- da por el flash electrónico. Se usaron un campo luminoso, - luz difusa y polaroscopio circular. La monocromaticidad se-

alcanzó con un filtro Kodak No. 55.

Las 5 muestras en cada una de las fig. 31a y 31b son cuadros representativos seleccionados de una secuencia de 25 cuadros, filmada para carga perpendicular y paralela a las fibras. Las velocidades respectivas de cuadro fueron 377,500 cuadros/seg. y 457,000 cuadros/seg.

El tiempo en microsegundos después de cada impacto está anotado debajo de cada cuadro. Los frentes de onda dilatacional P y cortante S son fácilmente distinguibles. La onda Von Schmidt generada por el movimiento de onda P moviéndose a una incidencia rasante a lo largo del límite es más evidente en las imágenes de la fig. 31a. Las ondas Raleigh-R son solo visibles (fig. 31b) estando algunas truncadas -- por la fotografía y parcialmente oscurecidas por el humo de la detonación. Las velocidades de ondas medidas paralela y perpendicularmente a las fibras son aproximadamente 180,000 in/seg. (4572 m/s) y 110,000 in/seg. (2794 m/s) respectivamente.

Solo se usó una porción de luz disponible para filmar las muestras de franjas de la fig. 31. Usando el flash electrónico y la cámara Beckman y Whitley 189, las muestras de franjas isocromáticas en esas láminas de poliéster vidrio han sido fácilmente filmadas a un millón de cuadros por segundo.

Moiré: La filmación de desplazamientos transitorios --

por moiré en compuestos y mármol está ilustrado de las ----- fgs. 32 a la 37. La fig. 32 es una secuencia de 25 cuadros de la propagación de franjas moiré en un eje libre de laminados epoxi-vidrio. La placa contiene un orificio de 0.038-m. de diámetro con ranuras horizontales en el borde simulando grietas. La dirección de la fibra principal está inclinada aproximadamente 20° de la dirección vertical de la carga. La placa se soportó a lo largo del fondo y se impactó en el centro del borde superior por medio de un detonador RP-1. Una placa de acero de 1.5 mm. de espesor separó el detonador del compuesto.

El laminado contenía unas 1000/pulg. (lpi) (39.4 líneas/mm.) rayado horizontalmente. Las franjas transitorias-moiré, por lo tanto, representan los desplazamientos verticales. El rayado fué reproducido en película Kodaline con un espesor de 0.004 in. (0.1 mm.) reproduciendo la película que tiene una base estar.

Las franjas moiré fueron filmadas en película Doble-X- usando luz transmitida dada por el flash electrónico. La velocidad de cuadro fué de 224,750 cuadros/seg. La inclinación de los ejes del material del laminado está manifestado por la dirección inclinada de propagación de las franjas moiré. La franja de la fig. 33 es una amplificación del cuadro No. 9 de la secuencia de la fig. 32. La propagación oblicua y la respuesta a los extremos de la grieta se ven f

cilmente en esta muestra. La utilización de la luz reflejada moiré está ilustrada en las figs. 34 a la 37. En cada caso a 1000 lpi. (36.4 lpmm.) el rayado horizontal fué reproducido en película Kodaline. La adición de aluminio da una superficie reflectiva para mejorar las fotografías de las franjas.

Una secuencia de 25 cuadros ilustrando la propagación de franjas moiré representando los desplazamientos verticales en el laminado epoxi-vidrio se muestra en la fig. 34. La franja inicial de la muestra es debida a una ligera desigualdad entre el espécimen y el análisis de los rayados de moiré.

Como antes, la placa está cargada dinámicamente al centro del borde superior. La velocidad de cuadro de la fig. 34 fué de 608,000 cuadros/seg.

Un cuadro representativo de una secuencia de propagación de franjas moiré en una carga similar de laminado boro-epoxi se muestra en la fig. 35. En la dirección 0° , el laminado tiene una velocidad dilatacional medida de aproximadamente 390,000 in/seg. (9900) m/s). La fig. 35 que corresponde a 38 μ s después del impacto, es un cuadro de una película tomada a 923,500 cuadros/seg.

La fig. 36 demuestra la propagación de ondas por moiré en una dirección (fibras verticales) de una placa de epoxi-grafito de espesor de 2 mm. conteniendo un agujero de 3.8 -

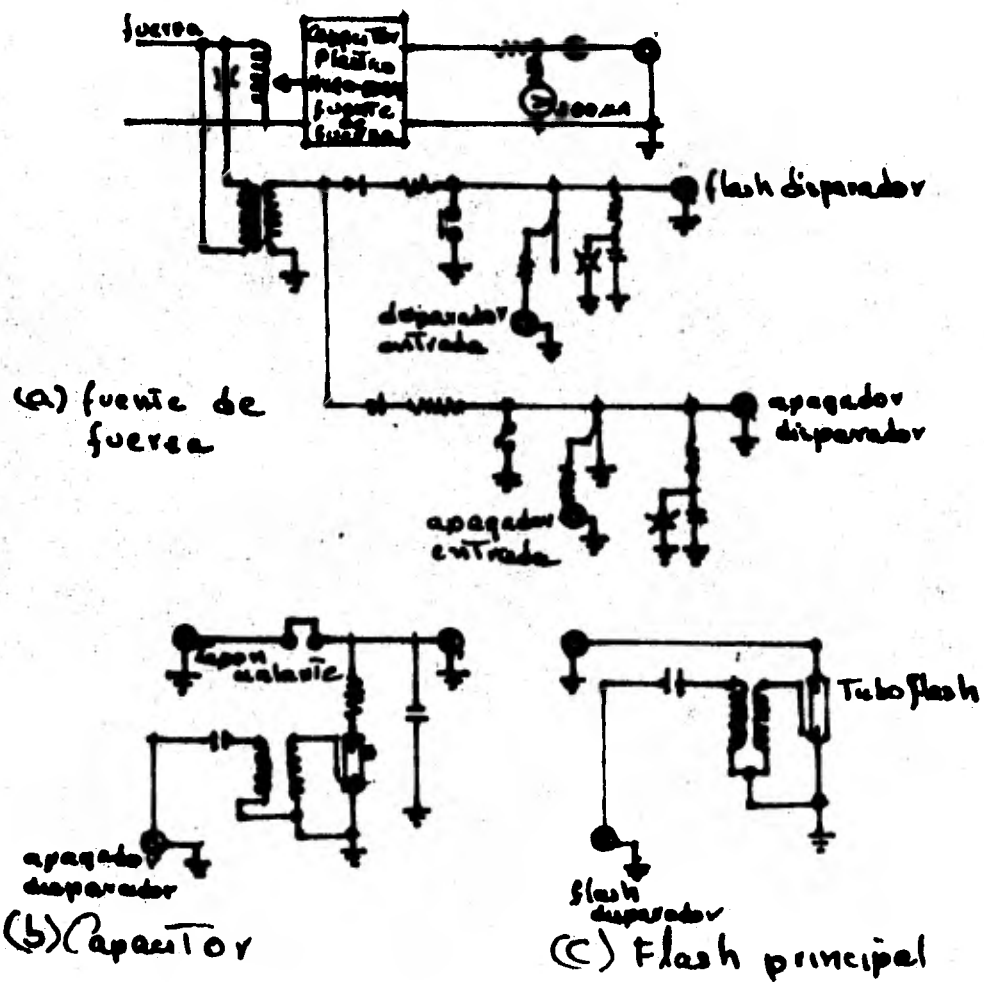
cm. de diámetro. Esta película, que representa el cuadro --- 14 en una secuencia de 25, filmada a 1,046,000 cuadros/seg. fué tomada unos 25 μ s después de la aplicación de la carga. Las franjas prolongadas inundando el orificio de este material altamente direccional (E_{11}/E_{22} igual a 12) están en -- contraste con la propagación anisotrópica en el laminado de la fig. 35. Además, la franja muestra del laminado $(0)_C$ de la fig. 36 es altamente simétrica comparada con aquella asociada con la placa del eje libre de las figs. 32 y 33.

La fig. 37 muestra una secuencia de 25 cuadros de franjas moiré asociadas con un medio plano de mármol cargado -- dinámicamente en el borde superior. En este caso, la cámara fué operada a 1,004,500 cuadros/seg. El grado de anisotropía es menor en la roca que en los laminados altamente direccionales.

Las placas de las figs. 34 a 37 fueron cargadas dinámicamente con pastillas de tetryl de 1.9 cm. de diámetro y -- 1.25 cm. de espesor, iniciada por un detonador RP-1.

En cada caso una placa de acero de 5 mm. de espesor -- fué localizada entre el explosivo y el borde del plano medio. Una pastilla de tetryl fué empleada con los compuestos de las figs. 34, 35 y 36 mientras que en el mármol de la -- fig. 37 fueron utilizadas 2 pastillas de tetryl en la carga todas las muestras de franjas transitorias se reportó que -- fueron filmadas en película Doble-X (34).

fig 29



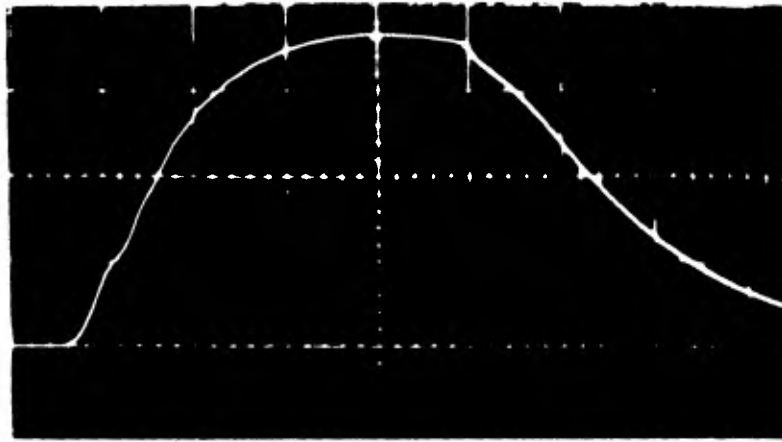


fig 30

fig 31

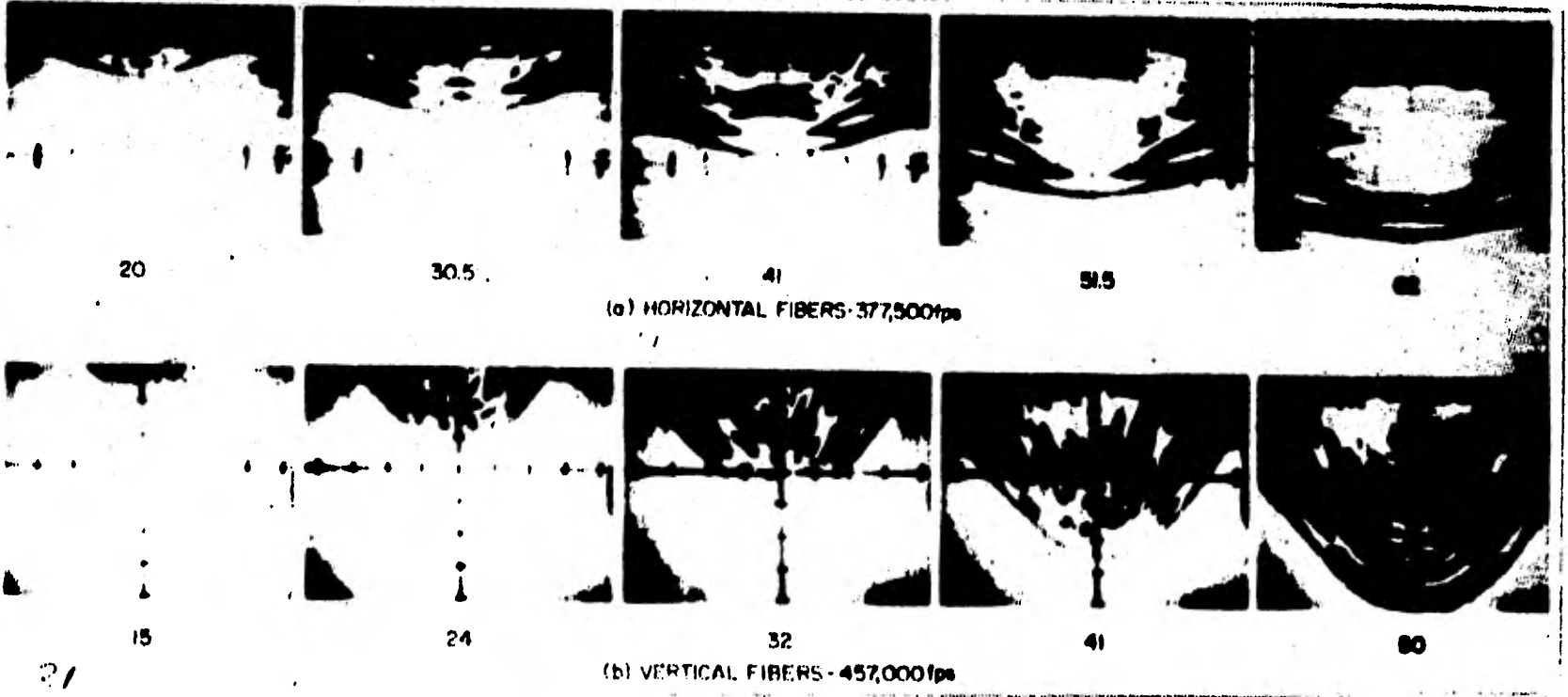


fig 32

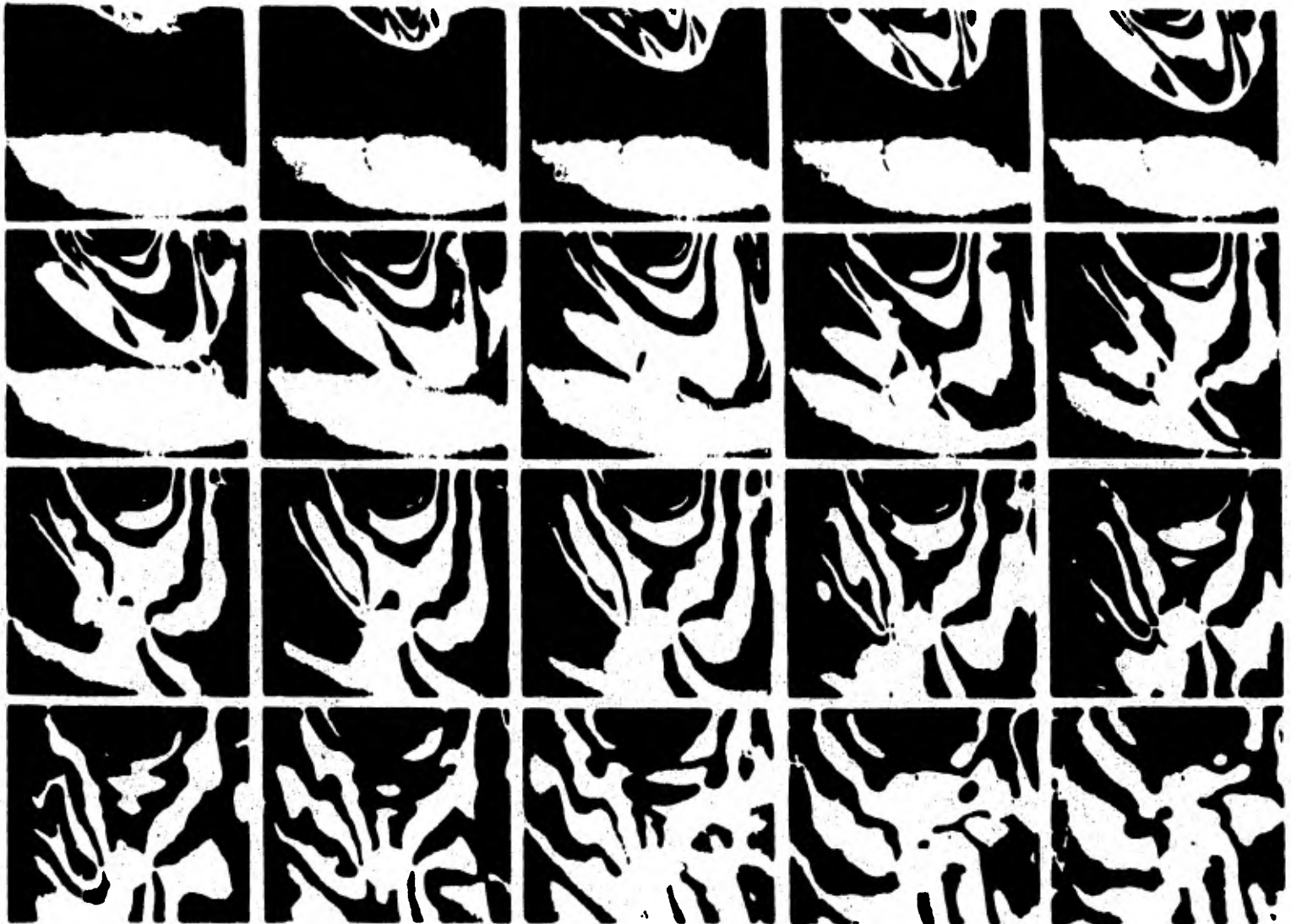


fig 33



fig 34

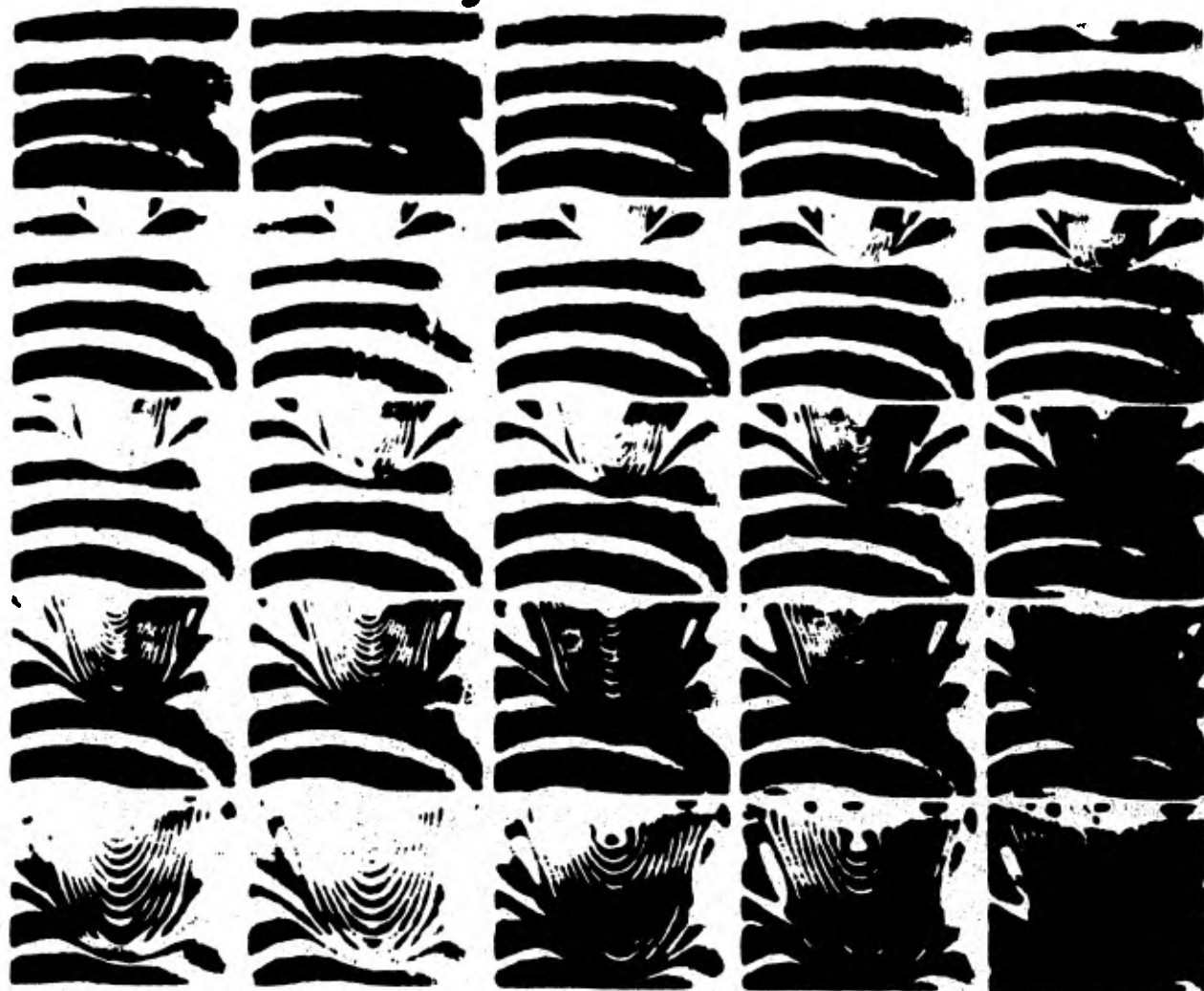


fig 35



fig 36

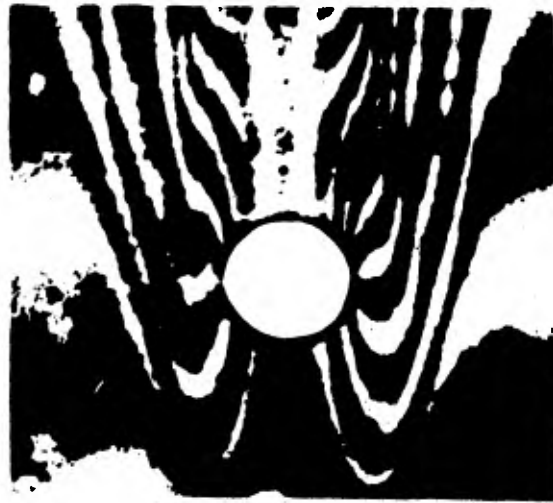
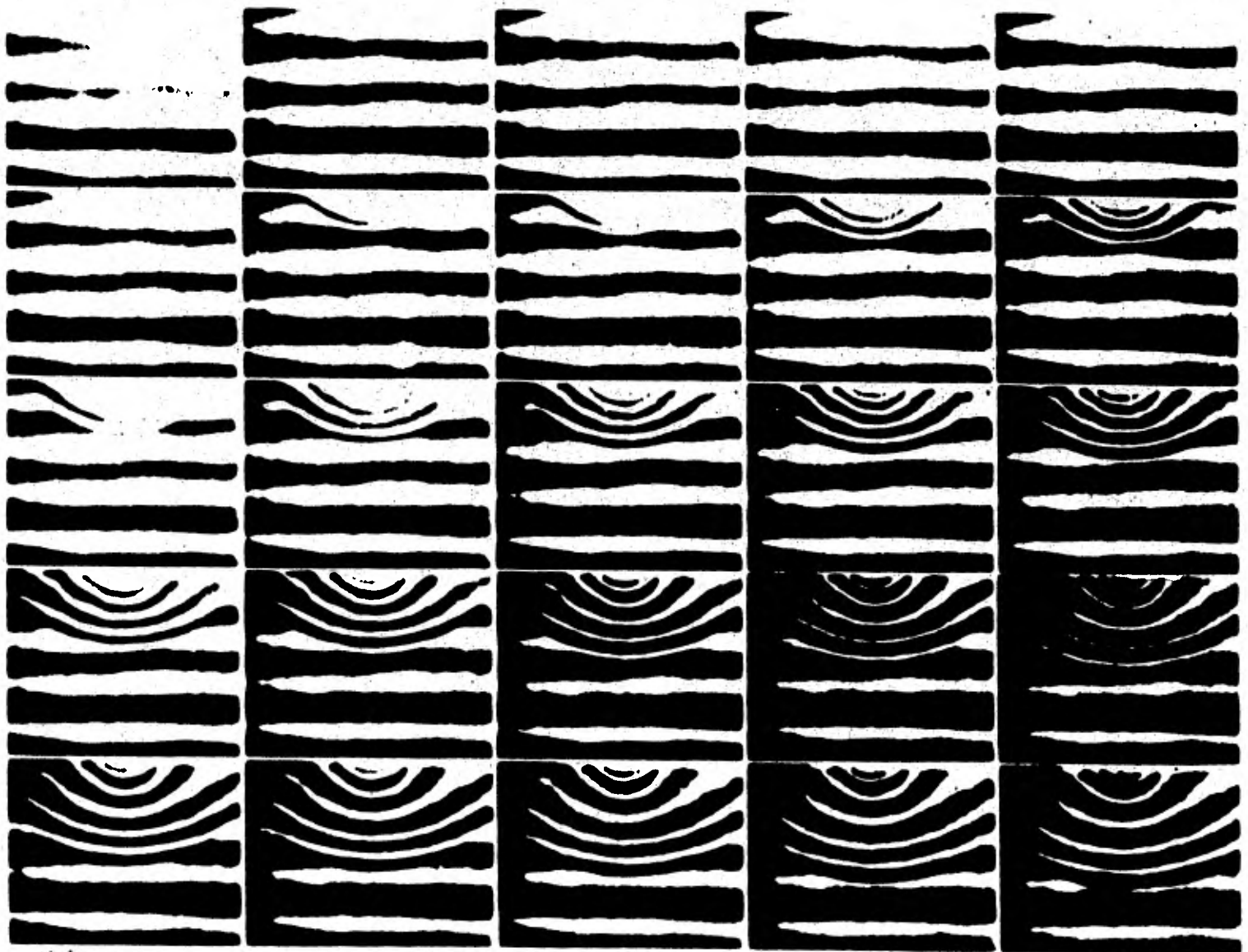


fig 37



4) FOTOMICROGRAFIA: Existen numerosas aplicaciones en la industria y la ciencia que requieren el uso del microscopio sujeto a una cámara de película en movimiento convencional, ya sea intermitentes o de alta velocidad. La fotomicrografía de lapso de tiempo es comúnmente usada para el estudio de corrosión y otros fenómenos que se efectúan en periodos largos de tiempo. Las aplicaciones típicas de la fotomicrografía de alta velocidad son: en estudios de formación de astillas en herramientas, penetración de líquidos sobre papel u otro medio absorbente, alambres explosivos, estudios detallados de reacciones químicas, fracturas microscópicas de materiales sujetos a esfuerzos altos y varias aplicaciones más (18).

Crecimiento de cristales: La formación y crecimiento de cristales solubles y fusibles se puede fotografiar usando algunos de los diferentes tipos de microscopios existentes, muchos cristales son anisotrópicos y pueden ser observados y fotografiados durante su crecimiento con luz polarizada, así aparecerán ya sea brillantes o coloreados contra un campo oscuro. Algunos otros cristales son isotrópicos, estos se pueden fotografiar usando un microscopio de contraste de fases.

Algunos cristales requieren el uso de filtros sensitivos de tinte, para realizar los efectos deseados, esto es, producir cristales coloreados contra un fondo coloreado. --

Este accesorio es llamado "Compensador rojo de primer orden" y se puede obtener con los fabricantes de microscopios.

La velocidad de crecimiento de los cristales varía de acuerdo a la técnica de cristalización que se use.

La formación de cristales se puede llevar a cabo por fusión, evaporación, sublimación o precipitación. Las primeras dos técnicas son las más simples de desarrollar y son las más recomendadas para la cinefotomicrografía de crecimiento de cristales (16). La cristalización por fusión es particularmente útil con compuestos orgánicos de bajo punto de fusión (16).

A continuación se da un pequeño resumen de los métodos de fusión y evaporación.

Método de fusión: Hay dos formas de producir cristales por fusión. La técnica más simple es poner una pequeña cantidad del compuesto en una placa, se cubre con una tapa de vidrio y se aplica calor. Cuando el compuesto empieza a fundir se extenderá igualmente por debajo de la tapa de vidrio cuando esto sucede se corta el calentamiento y se pone la placa al microscopio.

A medida que la sustancia se enfría se comienzan a formar los cristales, si el enfriamiento es rápido, la cristalización también se efectúa rápidamente.

Las sustancias que funden cerca de los 100°C normalmente se enfrían y cristalizan muy rápido a temperatura ambiente.

te. Los que funden a temperaturas más bajas cristalizan más lentamente y son más sencillos de fotografiar.

El uso de una plataforma caliente en el microscopio da un control, tanto del calentamiento como del enfriamiento. - Además hay algunos tipos de plataformas de calentamiento -- disponibles comercialmente. El principio involucrado es el mismo en todas ellas. Por lo general se operan en forma --- eléctrica y proporcionan el calor necesario para fundir materiales en un alto rango de temperatura de fusión. Una ventana o espacio abierto en el centro permite la entrada de luz y por lo tanto la observación visual o fotográfica de la muestra (16).

Método de evaporación: El crecimiento de cristales por evaporación de una solución se puede realizar fácilmente. - El agua destilada es un buen disolvente para compuestos orgánicos e inorgánicos. Algunos líquidos orgánicos son buenos disolventes para compuestos de la misma naturaleza, aunque son muy volátiles y se evaporan rápidamente.

El método de cristalización en una placa del microscopio se hace como sigue: por medio de un gotero, pipeta o varilla de vidrio, se pone una gota del disolvente en una placa limpia, se adiciona una pequeña cantidad de la sustancia por estudiar a la gota y se agita suavemente con una varilla de vidrio evitando que la gota se esparza demasiado. Si la sustancia se disuelve muy rápido, se adiciona otra canti

dad pequeña y se disuelve. A medida que el disolvente se --
evapora, el crecimiento de cristales empieza y se puede ob-
servar o fotografiar el fenómeno. La velocidad de evapora--
ción se puede incrementar por calentamiento suave de la pla-
ca. No se necesita una tapa de vidrio porque retardaría la-
evaporación (16).

El siguiente es un experimento más detallado de la a--
plicación de la fotomicrografía.

UN EXPERIMENTO QUIMICO AL ESTADO SOLIDO: Hoy en día el
papel de imperfecciones de enrejado en muchos cambios fisi-
cos y químicos, que ocurren en los sólidos está siendo apre-
ciado por los químicos. En crecimiento de cristales (35), -
su disolución (36), los procesos fotográficos (37), descom-
posición térmica de sólidos (38) y la polimerización de adi-
ción (39), por mencionar solo unos cuantos procesos. El pa-
pel de los defectos está bien establecido. Las razones para
penetrar la influencia de los defectos en procesos de esta-
do sólido son para mejorar la difusión (40) a lo largo de -
las líneas, en la energía extra disponible en regiones de -
defectos y en la estereoquímica irregular (41) asociada con
cierto tipo de imperfección.

El propósito de este artículo es discutir algunos as--
pectos de dislocaciones en cristales y el detalle del méto-
do fotomicrográfico de demostración de dislocaciones en el-
laboratorio.

De varios tipos de defectos comunes reconocidos en sólidos, por ejemplo, huecos, átomos intersticiales, defectos de líneas o dislocaciones y defectos de plano tales como límite de grano, las dislocaciones son frecuentemente las más fáciles de observar.

La técnica experimental clásica es por grabado al agua regia, aunque se están usando otras formas más sofisticadas, el método de grabar al agua regia es el más simple en muchos casos.

Aspectos geométricos de dislocaciones: Para el propósito de la técnica experimental que se va a estudiar aquí, es necesario discutir algunas propiedades geométricas de dislocaciones en cristales. El tratamiento teórico avanzado ha sido discutido por Cottrel (42).

Defectos lineales o dislocaciones, se extienden a lo largo de líneas rectas o curvas en el cristal. Se distinguen dos tipos de dislocación. La dislocación indirecta EE' en la fig. 38, puede ser estimada como un plano medio extra insertado dentro del enrejado resultando en la distorsión de los planos adyacentes a lo largo de la línea de dislocación.

La dislocación de tornillo fig. 39 es en efecto una transferencia o un deslizamiento lateral de una mitad de un plano relativo del cristal a otro. El nombre proviene porque movimientos de este tipo convierten al entero en una su

perficie helicoidal simple. En la fig. 39 el curso de la -- flecha curva va desde el plano superficial al plano adyacen- te. La repetición de esta operación traza fuera la trayecto- ria espiral de una rosca de tornillo. La dislocación de tor- nillo en la fig. 39 atraviesa el cristal entero y emerge en la cara opuesta del cristal.

Por razones topológicas, que son discutidas aquí, las- dislocaciones pueden emerger ya sea, a la superficie del -- cristal o cercarse sobre si mismas para formar anillos. Es- imposible para una dislocación lineal terminar dentro del - cristal mismo. Así, en la fig. 38 la dislocación indirecta, las líneas emergen a E y E' en la superficie del cristal. - Alternativamente si uno considera un plano cortado, como el EXYZ en la fig. 38, la dislocación emerge a Y en la superfi- cie superior. La dislocación lineal es ahora EXY. Además si uno imagina el cristal extendido en el espacio, en la super- ficie frontal y superior del cristal, se ve fácilmente que- EXYZ define una dislocación anular.

Argumentos similares pueden ser aplicados a la disloca- ción de tornillo para mostrar que puede igualmente emerger- ya sea a la superficie libre o cercarse sobre si misma. Por ejemplo en la fig. 40 se muestra la interacción entre las - dislocaciones de tornillo e indirecta. Ha tenido un lugar - un deslizamiento de los planos del cristal sobre el area -- sombreada. Es aparente que la situación aquí es similar a -

la que se mostró en la fig. 39, excepto que la dislocación de tornillo, por no atravesar el cristal entero, emerge como una indirecta en la cara frontal. Las dislocaciones indirecta y de tornillo interactúan en esta forma en cristales.

Una propiedad importante de las dislocaciones es el vector de Burger que describe la magnitud y dirección del deslizamiento que ha ocurrido.

En la fig. 38 el vector de Burger de la dislocación indirecta unidad es mostrado por la flecha perpendicular a la línea de dislocación, en la fig. 39 el vector es paralelo a la dislocación de tornillo unidad.

Debido a la distorsión del enrejado la región de una línea de dislocación es una de emergencia más alta que la región perfecta en el cristal. La energía extra es proporcional al cuadrado del vector de Burger. Como una consecuencia de esto, y probablemente también debido a la esteoquímica irregular a la línea de dislocación, la reactividad química al punto de emergencia de una dislocación en la superficie del cristal es aumentada. Así la superficie del cristal frecuentemente desarrolla huecos cuando es tratado con cierto tipo de reactivos o disolventes.

Los huecos limitan los puntos de emergencia de líneas de dislocación. Es claro, entonces que si un cristal es penetrado, el plano penetrado generalmente intersecta líneas de dislocación y anillos. Por grabado de agua regia las ca-

ras penetradas sería aparente que proporcionarán una correspondencia de 1:1.

Experimentación: Al grabar dos fragmentos iguales desde la misma cara de un rombo de calcita y fotografiando las superficies opuestas en una correspondencia de 1:1 de los huecos grabados se demuestra la presencia de dislocaciones intersectando el plano dividido. Una interpretación de las figuras grabadas de calcita fué dada por Thomas y Renshaw (38). Ahí se discuten los siguientes puntos: la reactividad aumentada al punto de emergencia de las dislocaciones en una cara dividida, resulta en la formación de huecos grabados. Esto, junto al hecho de que un grabado prolongado no incrementa el número de huecos, es conveniente la prueba de la presencia de dislocaciones. Además examinando los fragmentos divididos grabados se muestra que no hay correlación entre los huecos, indicando que las dislocaciones se acercan sobre si mismas para formar anillos.

Procedimiento: Un rombo de calcita se divide con una hoja de afeitar y un martillo en un recipiente de madera para prevenir que los fragmentos se tiren. Se cortan dos fragmentos de la misma cara del rombo cuyas medidas deben ser aproximadamente de 1-2 mm. de espesor.

Se examinan las dos caras bajo un estereomicroscopio a baja amplificación, para asegurar que sean semejantes. Se tratan entonces por 10-15 seg. con una solución acuosa de

ácido tartárico. Los fragmentos se lavan sucesivamente en agua y acetona y se secan al aire.

Los fragmentos se examinan otra vez bajo el microscopio en las caras semejantes. Es conveniente escoger alguna imperfección en la superficie dividida tal como la intersección de dos líneas, para facilitar que la región correspondiente de la cara sea localizada fácilmente.

Las muestras grabadas en la superficie dividida pueden ser visualmente semejantes bajo el microscopio pero es más conveniente fotografiar la región correspondiente a una amplificación de cerca de 40X y después imprimir hueco por hueco. La fotografía impresa hace un record permanente de los resultados del experimento y en suma, permite una mucho mejor comparación de las caras semejantes que la inspección visual de una cara a un tiempo (43).

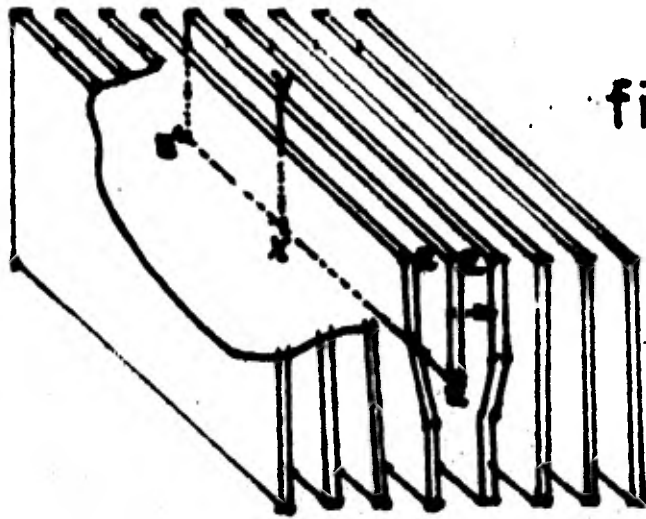


fig 38

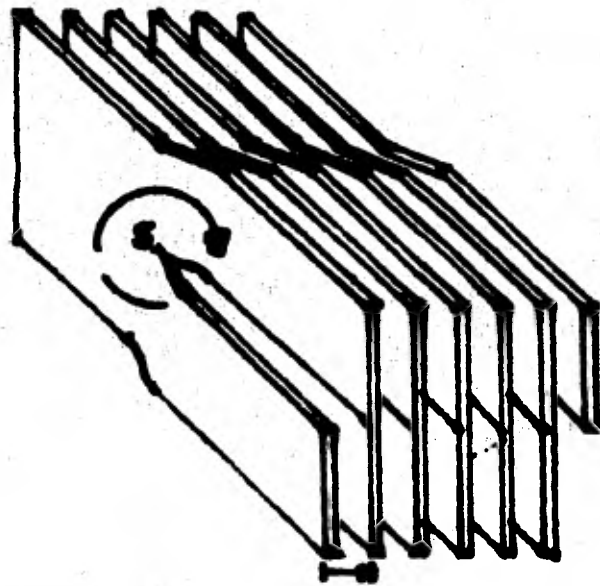


fig 39

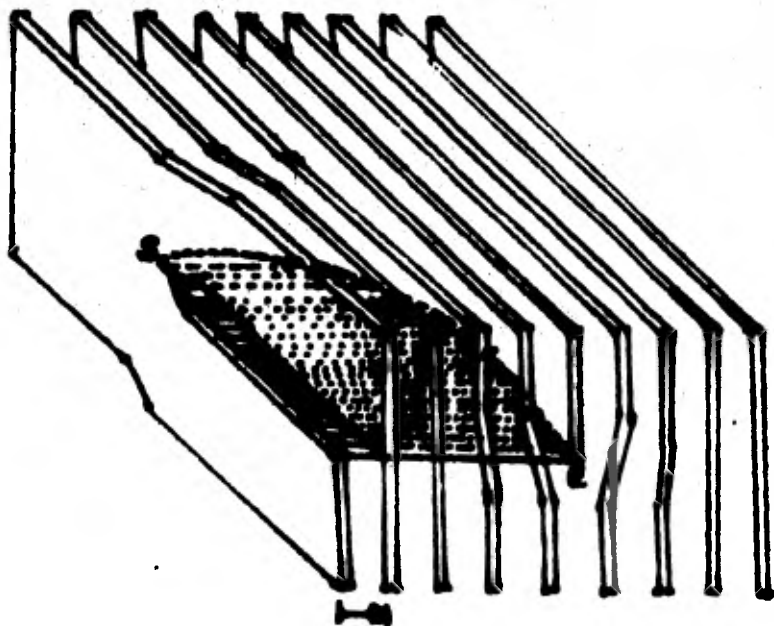


fig 40

5) ESTUDIOS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES DE LIQUIDOS: Se verán algunos experimentos en los cuales se medirán algunas propiedades de los líquidos, mediante el uso de técnicas -- fotográficas.

MEDICION DEL ESFUERZO DE TENSION DE LIQUIDOS POR UNA--
 TECNICA DE EXPLOSION: Para la estimación de la resistencia-
 de tensión estática del agua y que se podría aplicar a otro
 tipo de líquidos, se han usado una gran variedad de métodos
 el más reciente, se basa en la medición de la presión nega-
 tiva, producida por una onda reflejada desde una superficie
 libre (44). Wilson entre otros (45) mostró como se mide es-
 ta presión negativa y como podría ser usada para estimar el
 esfuerzo de tensión de líquidos mediante explosiones bajo -
 el líquido. Por medio de una adaptación de esta técnica se-
 estima aquí el esfuerzo de tensión de agua y de glicerina.-
 La idea básica de dicha técnica consiste en colocar una car-
 ga explosiva de fuerza conocida a profundidades medidas ba-
 jo el nivel del líquido y al detonarlas, se fotografía el -
 domo de rocío ocasionado por la explosión, con una película
 de alta velocidad.

El razonamiento matemático es como sigue: en una análi-
 sis unidimensional de las partículas de la explosión, las -
 ondas propagadas golpean con una velocidad de $P/\rho U$, de aquí
 el agua va a la superficie libre con una velocidad inicial-
 de $2P/\rho U$, menos la contribución de la tensión ejercida por-

la onda de choque reflejada que es de $T/\rho U$, por lo tanto -
la velocidad inicial del domo de rocío es;

$$V_0 = (2P/\rho U)(P - T/2)$$

donde P es la presión máxima de explosión, T es la presión-
negativa en la onda de choque reflejada, ρ es la densidad -
del líquido y U es la velocidad de la onda de choque.

Observando el valor de V_0 a diferentes profundidades -
de las cargas explosivas y extrapolando a una velocidad de-
ro, donde $T = 2P$, se puede hacer una estimación del esfuerzo
de tensión del líquido.

El equipo experimental utilizafó para estas medidas --
fué, un tambor lleno hasta el límite con el líquido bajo es-
tudio, la carga, conteniendo 0.1 gr. de explosivo se colocó
al centro del tanque y a profundidades de 2.5 a 1.7 cm. de-
la superficie, para la filmación del domo de rocío se usó-
una cámara Fotosonics a una velocidad de 500 cuadros/seg. -
La fig. 41 es una gráfica de velocidad del domo de rocío --
contra la profundidad de la carga R . Mediante una extrapola-
ción en la gráfica para V_0 da un valor de 31 cm.

La fig. 42 muestra los datos de presión contra los pa-
rámetros similares (46) para explosivos $W^{1/3}/R$, donde W es-
el peso de la carga y R la profundidad de la misma.

La presión pico P , se obtuvo de la velocidad de las --
partículas a través de las tablas de las ecuaciones de Ran-
kine-Hugoniot. Mediante el uso del valor extrapolado de ---

$w^{1/3}/R$ correspondiente a $\underline{V}_0 = 0$, se puede hacer una estimación de \underline{p} y por lo tanto de $T/2$. Se obtuvo un valor de ----
 $T = 8$ bar, este valor tiene buena aproximación con los resultados de Couzens y Trevena, que obtuvieron un valor de 8.5-bar para mediciones directas de la onda reflejada, tanto el agua como la glicerina dan los mismos valores (47).

fig 42

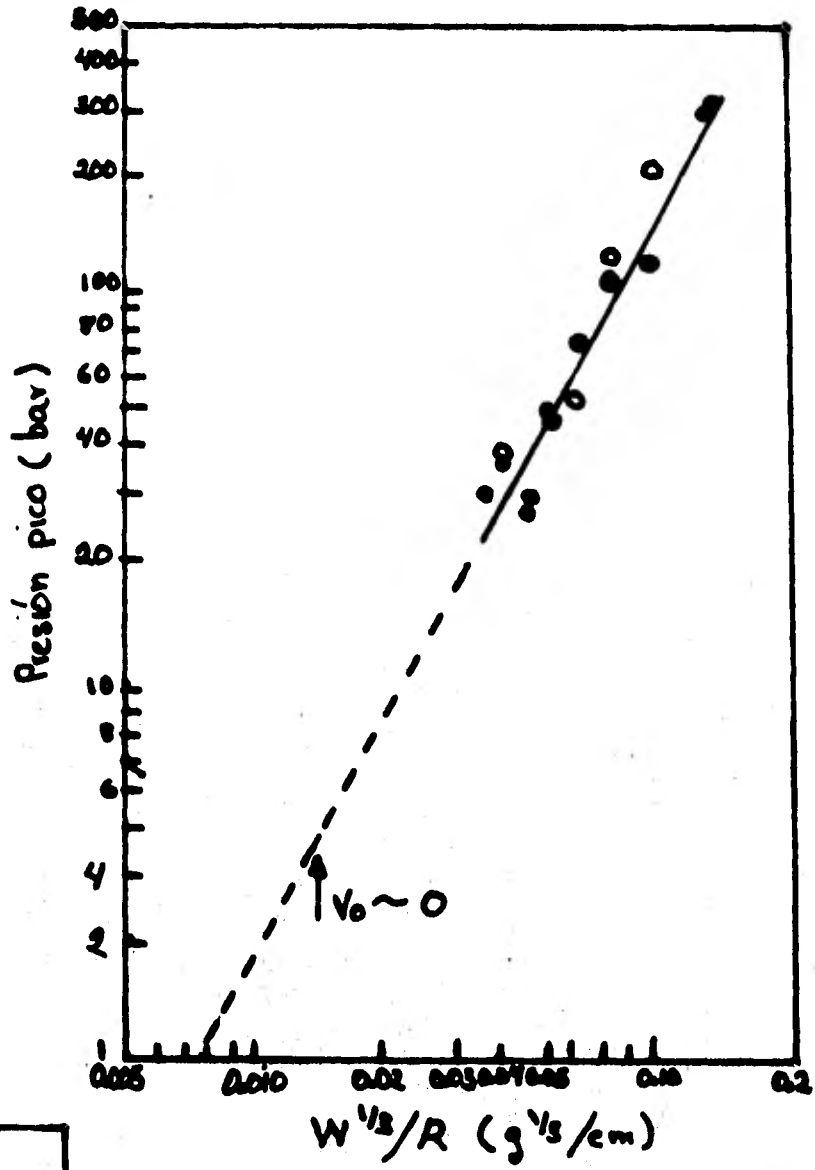
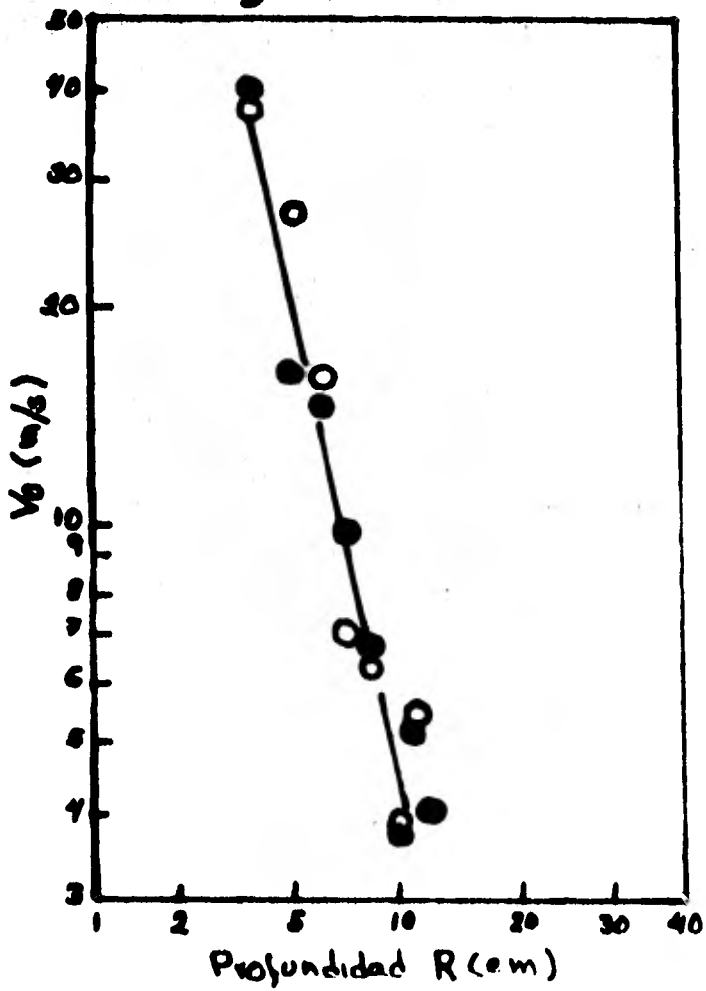


fig 41



MEDICION INTERNA DE LA TRANSPARENCIA DEL AGUA: Esta técnica consiste en tomar una fotografía en el agua de un blanco, que puede ser analizada en términos de una función de módulo de transferencia (FMT).

Del Grosso (48) ha usado mediciones precisas del FMT para descubrir la calidad óptima del agua. Este es un método simple y preciso.

Para un sistema lineal Mertens (49) dice que:

$$M_o(w) = M_i(w)T(w) \quad (1)$$

donde M_i es la frecuencia dependiente de la modulación, M_o es la capacidad de la modulación y $T(w)$ es la FMT. Se tiene que para un blanco de líneas alternadas blancas y negras,

$$M = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (2)$$

donde I_{max} es la intensidad de luz desde el centro de la línea blanca e I_{min} es la intensidad desde el centro de una línea negra adyacente.

El deterioro de la imagen por efectos refractivos y disipamiento de las partículas de luz se puede expresar por;

$$T(w) = \begin{cases} 1.0 & w=0 \\ C \exp. (-0.5V^2w^2) & w>0 \end{cases} \quad (3)$$

donde la frecuencia espacial angular w se obtiene de,

$$w = \pi r/d \quad (4)$$

aquí r es la distancia vista y d es lo ancho de la línea.

El deterioro de la imagen directa (que es la luz del objeto al observador) como resultado del esparcimiento ha--

cia adelante y absorción de agua y partículas suspendidas - es descrito por la desviación estandar de una aproximación-Gausiana a la función extensa de luz directa.

El factor, contraste de transmitancia C , estima el deterioro de la imagen producido por pérdida en el contraste-debida a la luz esparcida por el agua y las partículas dentro de la trayectoria de la transmisión de la imagen. Puesto que el agua pura es responsable de un muy pequeño ángulo de esparcimiento, $C=1$ para agua pura y $\sqrt{C} = 1.9 \times 10^{-4}$ radianes.

Procedimiento: Se pintó un blanco fotográfico con líneas blancas y negras sobre un tablero de $2 \times 2 \text{ ft}^2$ y $1/4$ de in. de espesor, este blanco se montó sobre un cuadro de aluminio, a 6 ft. desde el montaje de una cámara Nikonos y-Seastrobe de luz estroboscópica submarina.

Este arreglo dió un rango de frecuencia angular espacial, que se calculó con la ecuación (4) desde 42 a 330 radianes/radian.

Se adicionó un lastre al final del blanco, así que, -- cuando se baja al agua suspendido por un cable, la cámara - baja con el blanco, se usó una línea adicional para accionar el obturador y poner a trabajar la cámara. Se usó película Kodak Plus-X blanco y negro en todas las pruebas reportadas.

Este aparato se usó para hacer mediciones de FMT en la

superficie del agua en la corriente del Golfo de México y - estudiar la variación temporal del agua, producida por el - paso de un vehículo de Bahía Biscayne.

Todas las fotografías se tomaron en la noche para evitar la complicación de interpretación que se introduciría - por la luz ambiental.

Por exploración de ampliaciones positivas, perpendiculares a las líneas negras con una película superficial y un densitómetro de exploración, se determinó la función de modulación de intensidad de la luz.

Las funciones de modulación obtenidas se presentan en la siguiente tabla.

<u>Funciones de modulación</u>				
<u>w</u>	<u>M_i^a</u>	<u>M_o^b</u>	<u>M_o^c</u>	<u>M_o^d</u>
42	2.95	1.26	0.55	0.54
49	3.00	1.64	0.61	0.37
58	2.61	1.53	0.59	0.27
85	2.60	1.10	0.57	0.27
114	2.70	1.20	0.63	0
154	3.02	1.27	0.40	0
330	2.97	0.98	0.68	0

a) aire, para usar como referencia del sistema luz-blanco.

b) Superficie del agua en la corriente del Golfo.

c) Bahía Biscayne sin disturbio.

d) Bahía Biscayne 35 min. después del paso de una lancha.

Los datos obtenidos en aire se usaron para la función de modulación M_i y las funciones de modulación de transferencia calculados por la ecuación (1) se muestran en la fig. 43.

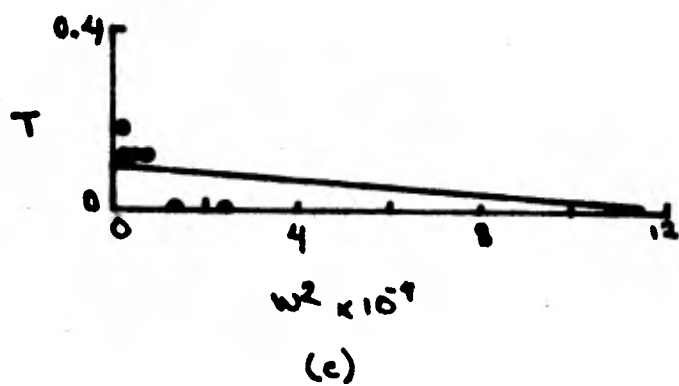
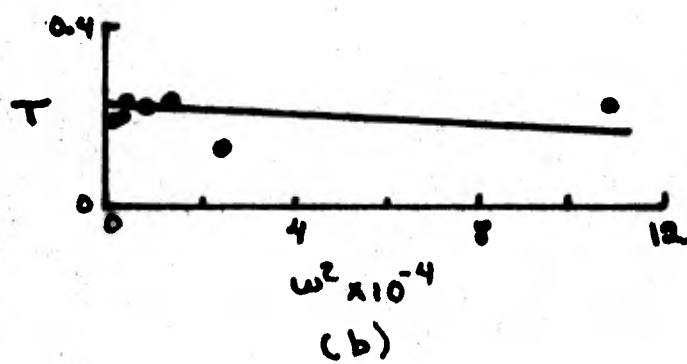
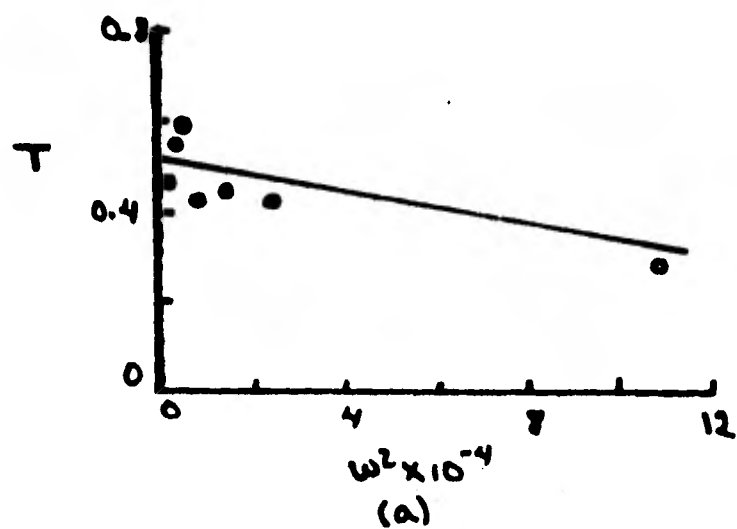
Ya que para el rango de frecuencia espacial angular usado $0.5 \tau^2 w^2 < 1$, la ecuación (3) se puede aproximar por la expresión,

$$T(w) \approx C(1 - 0.05 \tau^2 w^2) \quad (5)$$

un ajuste de la ecuación (5) se muestra en la fig. 43 para cada uno de los datos, los valores de las constantes C y τ determinados experimentalmente se dan también en la fig. 43. El error trazado indica la incertidumbre en la determinación de T debida al ruido electrónico en el densitómetro usado para medir I_{\max} e I_{\min} .

Esta técnica fotográfica muestra una forma cuantitativa de medición de los parámetros (C, τ) relacionados a las partículas suspendidas. parámetros que dan una descripción detallada de la visibilidad bajo el agua. El método también tiene la ventaja de producir un registro permanente de la transparencia del agua (50).

fig 43



MEDICION INDIRECTA DE VELOCIDADES DE SEDIMENTACION A -
ALTA PRESION Y TEMPERATURA POR FOTOGRAFIA DE RAYOS X: Se es-
tán investigando muchos procesos para remover sólidos tales
como filtración, centrifugación y precipitación con disol-
vente. Esta última se ha estudiado en detalle, para estable-
cer las propiedades de asentamiento de las partículas.

Continental Coal Development Corp. (Gorin 1975, Burke-
1976), Argonne National Laboratories (Huang y Fischer, 19--
76) y Oak Ridge Laboratories (Rodgers 1975, 1976) emplearon
técnicas de muestreo directo para determinar la concentra-
ción de sólidos como una función del tiempo y/o altura en -
columnas de sedimentación. Este procedimiento consume mucho
tiempo debido al número de análisis químicos que deben ser-
desarrollados. En suma, el muestreo rompe el fenómeno de se-
dimentación en alguna cantidad. La técnica indirecta de ra-
yos X evita el problema del muestreo directo y permite medi-
das tan rápidas que puede ser sustraído un amplio rango de
aditivos químicos.

Hay numerosas técnicas para medir la velocidad inicial
de asentamiento de sólidos en líquidos claros o translúci-
dos. La mayoría de la técnicas comunes de absorción de luz-
o dispersión de luz no pueden ser usadas en soluciones opa-
cas. Los rayos X se han usado para determinar la distribu-
ción de tamaño de partícula vía sedimentación. El Sedígrafo
5000 es un instrumento, que sirve para determinar la distri

bución del tamaño de partícula de datos de velocidad de asentamiento por detección de la concentración de partículas remanentes y decrecimiento de profundidades de sedimentación como una función del tiempo y temperatura y presión ambientes. Este aparato no se podría usar para las condiciones de carbón debido a las altas presiones y temperaturas que se requieren.

Aquí se presenta un sistema de rayos X que fué ideado a propósito para condiciones severas de proceso. El aparato tiene autoclave para la preparación de la muestra y una cámara de asentamiento para la detección por rayos X de sólidos asentándose. El más moderno fué hecho de acero con ventanas de aluminio para la penetración de los rayos X. La sedimentación se puede observar sobre un rango de temperaturas (ambiente a 315°C) y presiones (atmosférica a 2.9×10^6 N/m).

El carbón líquido usado en los experimentos que siguen es Carbón solvente refinado (CSR) filtroalimentado. El contenido mineral de CSR está dentro de un rango de 2.6 a 3% - en peso de acuerdo a estudios de cenizas a baja temperatura el CSR filtroalimentado se usó a una razón de solvente-carbón de 3:1.

Equipo experimental: La celda de sedimentación se muestra en la fig. 44. Las ventanas de aluminio son de diferentes espesor para diferentes presiones. Con una presión de

$1.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ se usan ventanas con un espesor de 0.16 cm. - Los rayos X pueden penetrar ventanas más gruesas que son de 0.32 cm. para una presión máxima de $2.9 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Se usan ya sea aros Garlock o anillos Viton para hacer un sello entre las ventanas de aluminio y el cuerpo de acero de la celda. Todas las dimensiones se dan en la fig. 44. El volumen de la celda es de 80 cm^3 .

El uso del aparato se muestra en la fig. 45, la cámara de asentamiento se pone en una caja y se conecta a través de ella a un autoclave 300mL. Los portafiltros de alta temperatura también como el tanque de disolvente y la cámara de asentamiento son conectados al autoclave con tubos de acero inoxidable y válvulas Hoke de alta temperatura (orificio 0.79 cm.). El autoclave tiene camisa de calentamiento de temperatura controlada para mantener esta constante desde la ambiental a 400°C . El motor eléctrico se usa sobre un rango de velocidad continua de 0 a 1000 rpm. El mezclador está enfriado por agua cuando trabaja a temperaturas elevadas. Se usan manómetros resistentes a la corrosión (0 a $2.9 \times 10^6 \text{ N/m}^2$) tanto en el autoclave como en la cámara de asentamiento.

La cámara de asentamiento es calentada exteriormente con trencillas eléctricas y la temperatura es registrada por 4 termopares tipo K, en el cuerpo de la celda, conectados a un registrador de temperatura de punto múltiple. La

cámara de asentamiento está aislada de tal manera que no hay obstrucción en las ventanas de aluminio. Un medidor de prueba humedece el nitrógeno fluyendo desde la celda de asentamiento durante la adición. Este flujo de gas se usa para -- calcular el volumen de líquido entrando a la celda.

Ademas de la sedimentación, este sistema tiene la capacidad de filtrar nua muestra desde el autoclave por caracterización de los sólidos. Dos portafiltros, uno de alta temperatura y otro de alta presión, son usados en la filtración del carbón líquido usado. Este sistema de filtración es secundario al procedimiento experimental tratado aquí.

El sistema de rayos X que se emplea consiste de, una cabeza de rayos X y un abastecedor de fuerza con controles de voltaje variable (0-110 kV) y amperaje variable (0-10mA) y un cronómetro de 0 a 5 min. La difusión del haz de rayos X desde una ventana de 0.25 mm. de berilio cubre el area de la celda y la película en la distancia usada de 0.46 m. Se construyó una caja alineada para albergar la cabeza de rayos X, la cámara de asentamiento y el portador de la película. Este último está protegido por una lámina delantera ranurada, es movible, así que las 8 exposiciones se pueden tomar a 8 intervalos de tiempo en una placa de película.

Un densitómetro automático E-C, empleando un soporte de película de velocidad constante, se usa para analizar -- una película de rayos X íntegra de 5 x 7 pulgadas ya expues

ta, conteniendo la información de un experimento completo.- El densitómetro es conectado a un registrador, que traza una gráfica para cada porción expuesta en la película.

Por seguridad se requiere que los rayos X estén cubiertos para proteger a los trabajadores. La unidad está contenida en una caja delantera. Válvulas de ayuda de presión están localizadas en la celda de sedimentación y el autoclave.

Procedimiento: La cámara de sedimentación es presurizada con nitrógeno y entonces se calienta a la temperatura de operación. Durante este proceso el autoclave es cargado con carbón líquido y llevado a la temperatura de operación. El disolvente es adicionado sin calentar al autoclave cargado y mezclado por cierto tiempo. La temperatura resultante, -- después de la mezcla del filtroalimentador CSR con un disolvente, algunas veces es más baja dependiendo de la cantidad de disolvente adicionado. De este modo, algunas veces la -- temperatura inicial del filtro-alimentador CSR será más alta, de manera que, después de la adición del disolvente, la mezcla estará cerca de la temperatura deseada.

Después de que la filtroalimentación CSR se ha mezclado con el aditivo por el tiempo y velocidad de mezclado pre-determinados, es transferida a la celda de sedimentación -- mediante el uso de una diferencia de presión de nitrógeno -- entre la celda y el autoclave.

Después de que la presión y la temperatura tanto en la celda como en el autoclave están igualadas se abren completamente las válvulas entre la celda de sedimentación y el autoclave. El tanque de nitrógeno es abierto al autoclave a la misma presión. Entonces el flujo dentro de la cámara de asentamiento es controlado por la válvula de gas en lo alto de la celda de sedimentación evitando así un corte elevado entre el autoclave y la celda de sedimentación. La cantidad de material en la celda se calcula desde el nitrógeno efluente medido mediante un medidor de prueba húmedo que se conecta a la válvula en lo alto de la cámara de asentamiento. El volumen de nitrógeno que se mide no es influenciado por ninguna pérdida de solubilidad al carbón líquido entrante. El carbón líquido previamente se ha equilibrado bajo la misma presión de nitrógeno a la temperatura de la celda. Después de que la celda de sedimentación se ha llenado (30 s), se cierran las válvulas y el proceso de sedimentación es visto por fotografía de rayos X. Se fija el tiempo de exposición y la intensidad de los rayos X para producir la sensibilidad máxima en el rango importante de concentración de sólidos.

Después de que se completan las mediciones de sedimentación, el contenido de la celda es forzado hacia el fondo del autoclave y partes del sistema son desmontadas para limpieza.

El sistema de rayos X también tiene la capacidad de adicionar aditivos químicos en el rango de ppm para provocar aglomeración de las partículas en carbonos líquidos. Esto se puede realizar primero por la disolución del material en un disolvente apropiado o se puede poner un aditivo químico en un émbolo e introducirlo en el momento deseado con la presión de nitrógeno. El sistema también trabaja con aditivos gaseosos reemplazando el cilindro de nitrógeno por uno que contenga el gas deseado.

Medidas de rayos X: Después de que empieza el asentamiento, las películas de rayos X usualmente se toman a intervalos de 2, 4, 6, 8, 10, 20, 40 y 60 min. Si se espera un asentamiento muy lento se pueden alargar estos intervalos. El tiempo de exposición para cada película es de 12 s. a 60 kV y 3 mA.

Una lámina delantera con una ranura de 1.27 cm. colocada detrás de la ventana de aluminio de la celda protege el resto de la película que no ha sido expuesta.

Película de rayos X Kodak AA es revelada en revelador Kodak de rayos X y fijada en el periodo de tiempo prescrito. La película es entonces lavada y enjuagada en Photo-Flo y secada. Usualmente la diferencia de densidad de la interfase de asentamiento es visible al ojo y corresponde a las lecturas del densitómetro.

Se condujo un experimento independiente para demostrar

que la observación visual de la interfase en una celda Plexiglas fué idéntica con la interfase corregida desde las películas de rayos X. Se usó una muestra de material de ácido neutralizado de lodo de mina. Los datos graficados en la -- fig. 46 indican que las lecturas visuales y del densitóme-- tro están en concordancia.

Interpretación de la película: La película fué puesta tan cerca de la celda de sedimentación como fué posible, to-- davía los resultados tuvieron que ser corregidos por la di-- fusión de los rayos X entre la celda y la película. La co-- rrección para la altura medida en la película contra la al-- tura actual en la celda de sedimentación se encontró por -- geometría. Un ángulo θ desde el punto fuente (puntualizado-- al fondo de la celda) es idéntico con el ángulo de los ra-- yos X a través del líquido de la celda. Se puede obtener -- una relación de la altura en el líquido a la altura en la -- película para alcanzar un factor de corrección de 0.83, la-- altura en la película se multiplica por este factor para -- dar la altura en la celda. Se obtuvieron 9 puntos para la -- zona de asentamiento y para la zona de compresión de las 8-- gráficas del densitómetro (los primeros datos siendo la al-- tura inicial).

Estos puntos corregidos fueron graficados para encon-- trar la velocidad inicial de asentamiento y la altura de -- los sólidos compactados. La fig. 47 representa una curva in

terfacial y de compresión para filtroalimentación CSR a 260°C. La altura corregida es graficada contra el tiempo para lo alto de la curva (altura interfacial) y el fondo de la curva (altura de compresión). La altura de la región de compresión se incrementa con el tiempo. Como se esperaría hasta que la zona de compresión y la zona interfacial se juntaran. Los sólidos acumulados están empacados sin cohesión y además la compresión ocurre después de que la interfase reúne la zona de compresión.

La fig. 48 muestra como un antisolvente afecta el asentamiento de sólidos en filtroalimentación CSR a 260°C. Este es un ejemplo del tipo de datos obtenidos desde experimentos donde el antisolvente, velocidad, tiempo y temperatura de mezclado y la concentración fueron variados. Se usó un periodo corto de mezclado a alta velocidad para distribuir el disolvente seguido por un periodo largo a baja velocidad para promover aglomeración.

Ya que la misma cantidad de líquido no fué introducida cada vez a la celda, las gráficas de altura contra tiempo fueron hechas en gráficas de menor tamaño. Todas las curvas interfaciales empiezan en la unidad pero tienen la misma pendiente que las gráficas de mayor tamaño. La intercepción de la línea de pendiente inicial con la absisa es igual al inverso de la velocidad de sedimentación inicial.

La secuencia de eventos en esta nueva técnica de rayos

X está ilustrada en la fig. 49. Desde el negativo de rayos-X (a), 4 gráficas del densitómetro (b) se presentan para -- mostrar como la altura de interfase cambia como una función del tiempo. Las alturas de interfase de ambas, las zonas de sedimentación y de compresión desde (b) son graficadas contra el tiempo para dar la gráfica (c). Una gráfica de menor tamaño (d) es hecha desde (c) para normalizar los datos.

Reproductibilidad: La filtroalimentación CSR del sistema n-decano se escogió para estudios de reproductibilidad. Se hicieron 3 corridas idénticas durante el periodo de experimentación de 3 meses. La velocidad inicial de asentamiento usando filtroalimentación CSR desde el mismo recipiente en una razón de 0.25:1 con n-decano a 260°C es de 36 cm/h -- para la primera corrida, 32 cm/h para la segunda corrida -- y 33.8 cm/h para la tercera, estas pendientes están dentro del error estimado asociado con los cálculos.

Las curvas iniciales son muy cerradas en los primeros 20 min. y son difíciles de separar, como se ve en la fig. 50. La separación ocurre cuando las tangentes son atraídas al eje x. A pesar de las dificultades gráficas, la reproductibilidad del experimento de n-decano es excelente (51).

fig 46

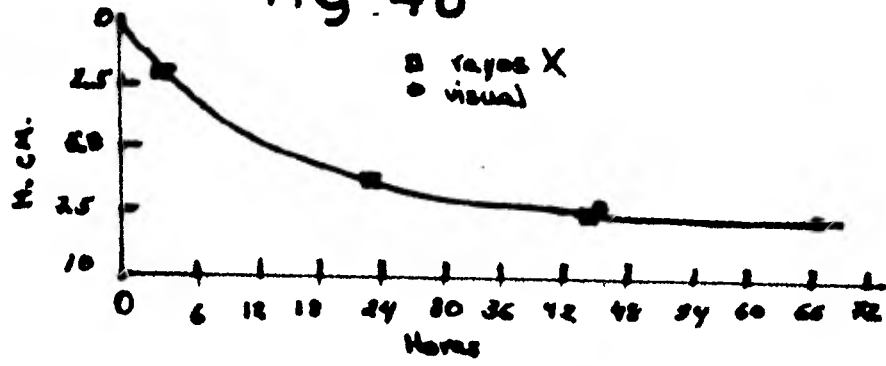


fig 47

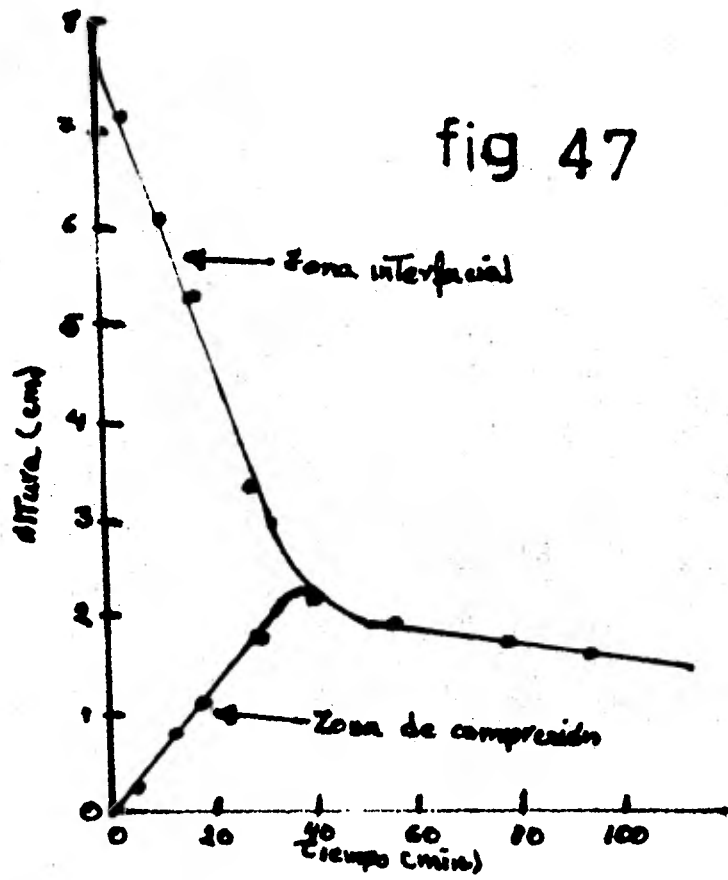
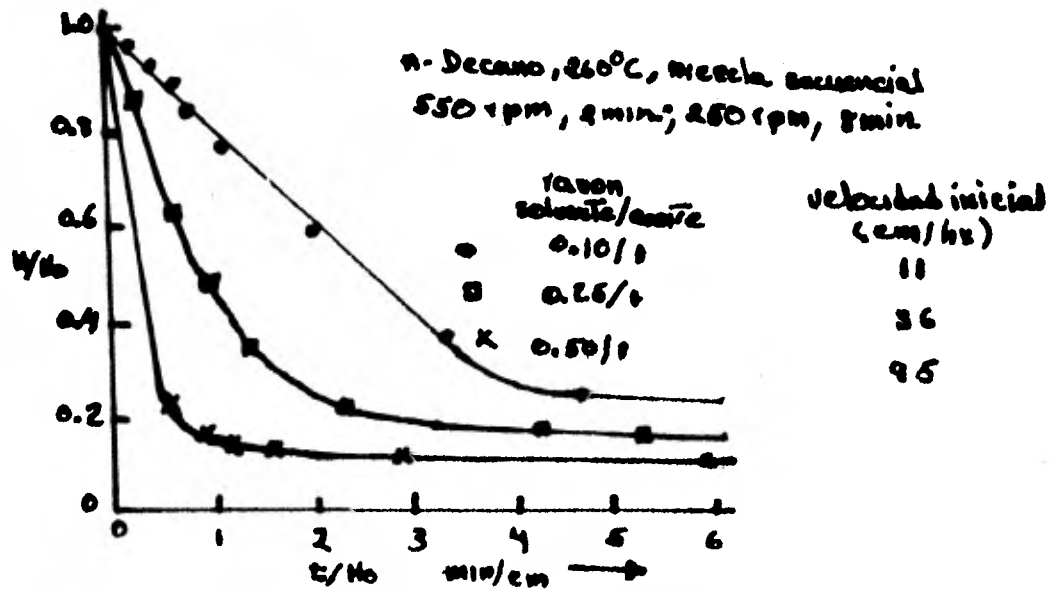


fig 48



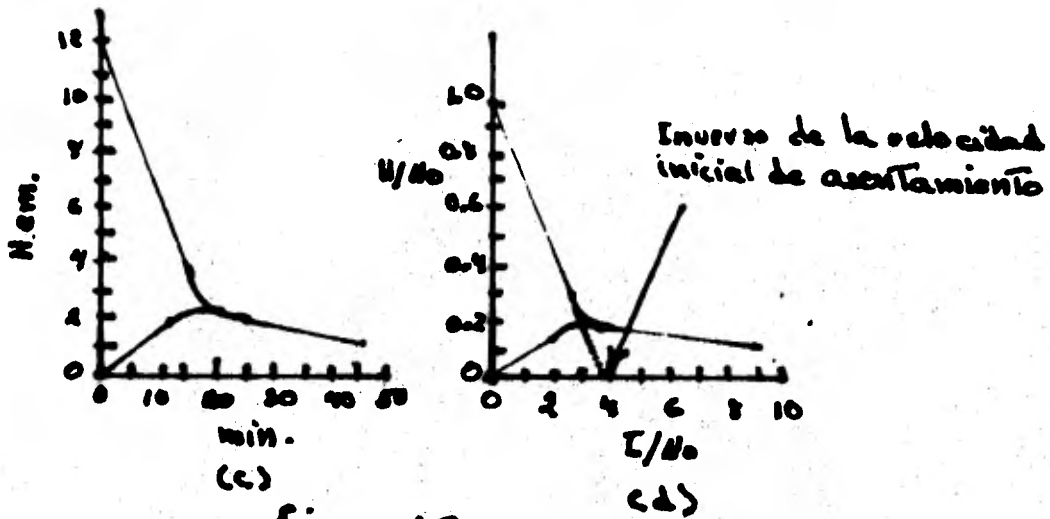
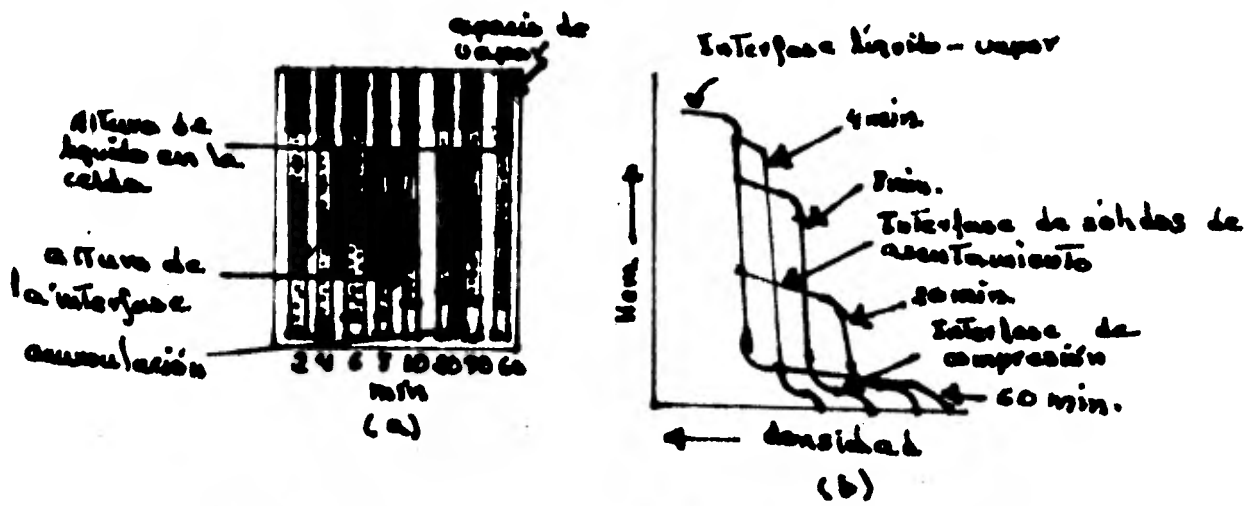


fig 49

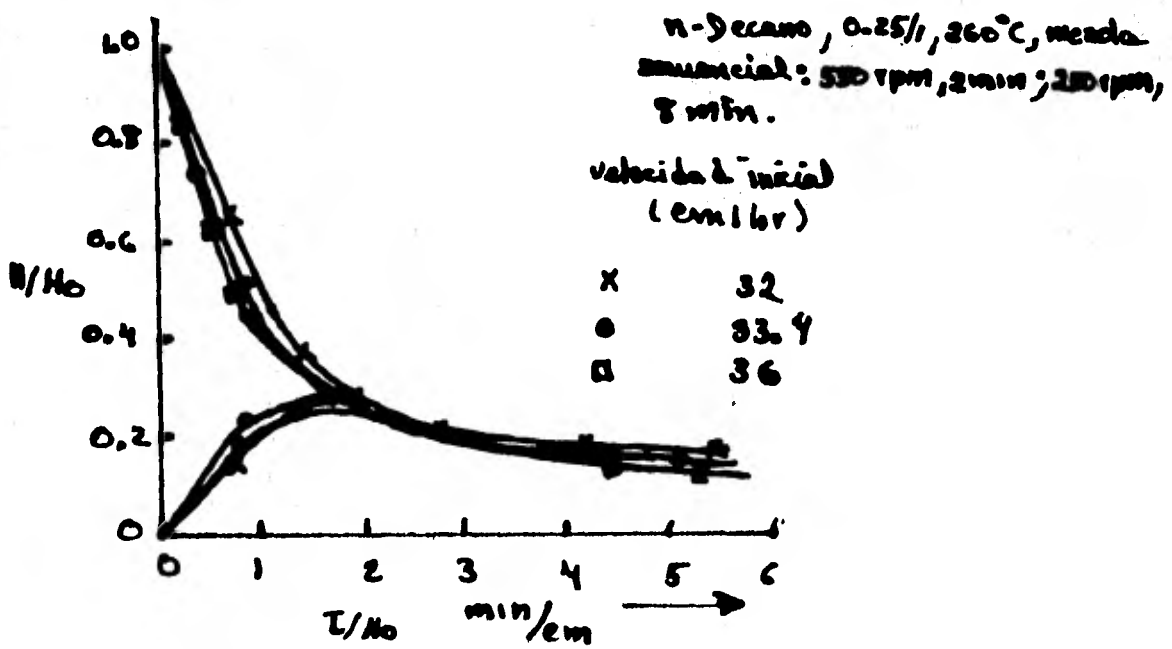


fig 50

6) METODO TERMOFOTOGRAFICO DE VISUALIZACION DEL CAMPO DE RADIACION DE UN LASER CO₂: Se describe un método termofotográfico para medir la fuerza y la distribución de energía - en el campo de radiación de un laser.

La fotografía infrarroja es el método más simple de visualizar una imagen térmica. Sin embargo, la sensibilidad - espectral de materiales fotográficos en el infrarrojo está - limitada a una longitud de onda de 1.3 μm . (52). No obstante, es posible la visualización fotográfica de radiaciones - de longitud más grande, si se usan otros métodos. Uno de es - tos, el más simple y sensible es un método en el que el proceso de revelado fotográfico es acelerado por aumento de la temperatura: la placa o película fotográfica irradia unifor - memente es saturada con una solución de revelador frío y es puesta en un campo de radiación infrarrojo, después que es - tá fijada. La sensibilidad en este caso aumenta a 4×10^{-2} - 0.5 J/cm^2 (53).

Otros medios conocidos de visualización en imagen in--frarrojo requiere pretratamiento especial del material sen - sible antes y después de la exposición para preservar la i - magen y frecuentemente, para interpretarla. Se ha desarro--llado un papel termofotográfico para uso simple, por medio - del cual el campo de radiación infrarrojo de lasers puede - ser tomado y se puede hacer una estimación cuantitativa de - la densidad de energía en puntos individuales del campo.

Bajo la acción de la radiación infrarroja el papel termofotográfico normalmente de color azul es blanqueado irreversiblemente. La sensibilidad inicial de papel termofotográfico a la radiación con una longitud de onda de $10.6 \mu\text{m}$, asciende a $(2-6) \times 10^{-2} \text{ J/cm}^2$. A densidades más bajas de energía se observa también una reacción en el papel termofotográfico, pero en este caso el blanqueo es reversible: después que cesa la acción de la radiación y el color azul original es reestablecido después de algunos segundos, debido al yoduro dentro de la capa saturada. Se ha considerado que la densidad de energía inicial sea el valor que corresponde al blanqueo irreversible del papel. Se sabe (54) que bajo condiciones favorables el ojo de un observador no entrenado es capaz de detectar contraste relativo de imágenes de cerca de 5%. Esta es la cantidad de contraste relativo que se adoptó como medida del blanqueo irreversible mínimo del papel termofotográfico.

Para determinar el número de sombras de color del papel termofotográfico, fueron obtenidas imágenes de la sección transversal de un rayo laser OKG-15 para diferentes exposiciones, desde 0.1 a 10 segundos. Estas imágenes fueron entonces fotografiadas en película Mikrat-300. La película fue revelada cada vez por el mismo tiempo a una temperatura de 18°C en revelador de metol/hidroquinona (55). El contraste relativo de la imagen en el negativo fue determinado fo-

tométricamente. Para amplificar el método, el prisma fotométrico fué repuesto con fotografías de las imágenes a varias exposiciones, diferenciadas por un factor de 2 de cada una. Esto hizo posible seleccionar exposiciones, tales que la densidad máxima fué obtenida en la parte lineal de la curva característica de la película. Una curva típica de la dependencia del contraste relativo de imagen en la densidad de energía, causando la aparición de una imagen en el papel termofotográfico se muestra en la fig. 51 (curva 1). Los puntos experimentales son graficados tomando en consideración la inestabilidad de la emisión laser. Como se ve en la fig. 51, el número de sombras de color azul del papel termofotográfico aumenta a 50-70.

Aquí la razón,

$$D = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_b}$$

es tomada como este número, donde α_1 , α_2 y α_b son los contrastes relativos de imagen correspondientes a los puntos más bajos y más altos de la porción lineal de la curva y el fondo, expresada en porcentaje. El rango dinámico del papel térmico, determinado desde la curva 1 (fig. 51) aumenta a 30-40.

El papel termofotográfico es sensitivo dentro de un amplio espectro de bandas. Sin embargo tiene alguna selectividad espectral, por ejemplo, su sensibilidad a radiación con una longitud de onda de $1.06 \mu\text{m}$. es considerablemente menor

que a la radiación con $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$.

La resolución del papel termotográfico fué evaluada -- por exposición a densidades de energía de $0.5-1 \text{ J/cm}^2$, a -- través de diferentes redes, decreciendo los tamaños de ma-- llas hasta que su imagen desaparece completamente determina da por una examinación visual. En esta forma se pudo esta-- blecer que con radiación continua la resolución aumenta a -- cerca de 16 líneas/min. y bajo condiciones de operación a -- pulsos está limitada por la estructura fibrosa del papel u-- sado como sustrato. La dependencia de la densidad de ener-- gía del contraste relativo de imagen (curva 2) obtenida en-- papel sensible al calor, está mostrada en la fig. 51, por -- comparación. La sensibilidad inicial de este papel se encon-- tró de $4 \times 10^{-2} \text{ J/cm}^2$ y su energía correspondiente a un con-- traste relativo de imagen de aproximadamente 95%. Aunque el papel sensible al calor no responde a todas las densidades-- de energía bajas. Con un incremento adicional en la densi-- dad de energía el contraste relativo cambia apenas al to--- tal. Así, a pesar del hecho de que el papel sensible al ca-- lor tiene una sensibilidad más alta que la del papel termo-- fotográfico a bajas densidades de energía y es más conve--- niente para mostrar la radiación, por ejemplo, durante el -- ajuste de operaciones, no es apropiado para propósitos de -- medición ni para estudiar la estructura de la sección trans-- versal del rayo laser, puesto que durante el rango dinámico

es igual a cero. Como resultado, a todas las densidades de energía la imagen en el papel sensible al calor, es una mancha oscura con la misma densidad sobre el area entera de todos los tonos.

El papel termofotográfico fué probado a 2 longitudes de onda; 1.06 y 10.6 μm . En ambos casos las termofotografías de los campos de radiación laser son obtenidas después de un pulso simple. Las fotografías muestran claramente la estructura de la sección transversal del rayo laser con una distribución de densidad de energía compleja sobre el area desde un mínimo a un máximo dentro de los límites de sensibilidad del papel.

La imagen permanece indefinidamente en las termofotografías a temperatura ambiente. Hay fotografías conservadas durante 2 años.

Para el propósito de demostrar la utilidad del papel termofotográfico para estimaciones cuantitativas de la densidad de energía a puntos individuales del campo de radiación del laser, se han desarrollado mediciones comparativas de la fuerza de radiación de 4 lasers OKG-15, usando papel termofotográfico y un calorímetro IMO-2. El papel termofotográfico fué irradiado por los lasers a través del obturador de una cámara con tiempos de exposición que aseguran valores de contraste relativo promedio en la porción lineal de la curva 1 en la fig. 51. Las imágenes fueron fotografiadas

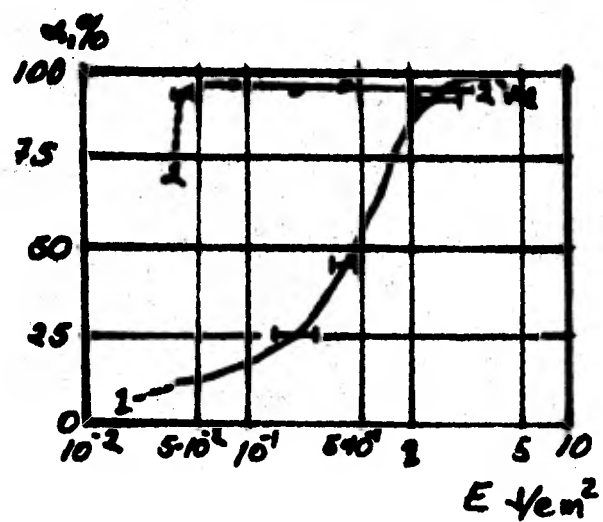
en película y analizadas fotométricamente. Conociendo el --
 contraste relativo de la imagen y el tiempo de exposición, -
 no es difícil determinar la fuerza de radiación laser. La -
 fuerza de radiación de cada laser fué medida desde 5-7 expo-
 siciones, seguidas por un promedio de estas medidas. Los re-
 sultados se muestran en la siguiente tabla.

Fuerza de radiación W

Num. Laser	Calorímetro IMO-2	Papel termofotográfico.
1	0.35-0.45	0.4 ± 0.07
2	0.8	0.7 ± 0.25
3	0.49-0.56	0.4 ± 0.07
4	0.20-0.35	0.2 ± 0.06

Como se ve los resultados de las mediciones de la fuer-
 za de radiación por los 2 métodos tienen buena concordancia. El error no excede el 30%. El método de medición de la
 fuerza de radiación del laser con el papel termofotográfico
 se justifica cuando es necesario examinar la distribución -
 de energía sobre el campo de radiación de un laser pulsado-
 (56).

fig 51



7) El experimento siguiente está fuera de la clasificación que se hizo al principio de este capítulo, puesto que habla de los mecanismos de transferencia de calor en la fusión de un sólido, por medio de un cilindro caliente encajado en el sólido.

ESTUDIO FOTOGRAFICO DE FUSION ACERCA DE UN CILINDRO -- CALIENTE ENCAJADO HORIZONTAL: El objetivo de este trabajo es dar información directa visual para suplementar y extender los resultados de (57), o sea la relevancia del rol de convección natural en la fusión de sólidos. Los experimentos se describen como: un cilindro caliente horizontal que fué encajado en un sólido a su temperatura de fusión.

Se desplegó una red de 92 termopares por todo el medio de cambio de fase para detectar el avance de la interfase sólido-líquido. Los experimentos se desarrollaron con una mezcla eutéctica de Hidróxido de sodio (NaOH) y Nitrato de sodio (NaNO_3), que tiene una temperatura de fusión de 244°C aproximadamente.

Los experimentos demostraron que la convección natural fué la forma dominante de la transferencia de calor. Una de las evidencias de este dominio fué; las formas de la región de fusión. Estas formas fueron inferidas desde las mediciones de temperatura en el medio de cambio de fase.

En la investigación presente, la evidencia fotográfica de las formas actuales de la capa de fusión se obtuvo para-

corroborar estas inferencias en (57). Las fotografías mostraron la capa de fusión arriba y abajo del cilindro, con eso extendiendo los resultados de (57). Se hizo otra extensión en conexión con el estado inicial del sólido al arranque de la fusión. Mientras que en (57) todos los experimentos fueron relacionados con un sólido a su temperatura de fusión, los experimentos presentes circundados por 2 condiciones: la condición mencionada anteriormente y una condición inicial de subenfriamiento, (o sea, la temperatura inicial del sólido más abajo de la temperatura de fusión).

La técnica usada en la investigación fué encajar un cilindro horizontal caliente en un material sólido de cambio de fase y crear un crecimiento en la región de fusión cerca del cilindro por una entrada de calor constante. A un tiempo preseleccionado, el calentamiento fué discontinuo y el líquido fué extraído desde la región por medio de succión y gravedad. El sólido sin fundir se dejó enfriar a temperatura ambiente y después se removió del aparato de prueba y se cortó a lo largo de un plano vertical, revelando con eso la sección opuesta de la cavidad de fusión. Para obtener un record fotográfico claro de la forma de la cavidad, fué rellena con arena oscura.

Los experimentos se desarrollaron usando la misma mezcla eutéctica mencionada anteriormente.

Los experimentos: El corazón del aparato fué una cámara

ra de prueba que consiste de un tanque de acero suave casi-cúbico, de aproximadamente 33 cm. por lado que encierra el material de cambio de fase. La cámara de prueba estaba equipada con un cilindro horizontal calentado eléctricamente, - de 1.9 cm. de diámetro y 30.5 cm. de longitud.

Se incorporaron dentro del aparato diferentes características para facilitar la extracción del líquido desde la cavidad de fusión. Se usó una línea de tubos de calentamiento, equipada con válvulas para conectar la cámara de prueba a un tanque auxiliar cuya función fué recibir el líquido de fusión que se extraía. Para el calentamiento de la línea de tubos fué necesario evitar pérdidas de calor externas desde la cámara de prueba y asegurar que el líquido extraído no se enfríe en el camino desde la cámara de prueba al tanque-receptor.

En la práctica se encontró que era más efectivo el drenaje por gravedad, para facilitar esto, el aparato entero - (cámara de prueba, línea de tubos y el tanque receptor) fueron colocados en una placa rígida. Bajo condiciones normales, la placa base estaba horizontal (en contacto con el piso del laboratorio). Para la extracción del líquido, la placa era levantada por medio de un elevador, a un ángulo de - cerca de 15° con la horizontal. Esta elevación hizo que el líquido fluyera desde la cámara de prueba dentro de la interconexión de la línea de tubos hacia el tanque receptor.

Otra característica del aparato fue el aprovechamiento para remover el sólido sin fundir de la cámara de prueba al final de una corrida. Para esta función las paredes laterales de la cámara de prueba fueron ligeramente inclinadas. Debido a la inclinación de las paredes y al hecho de que el sólido se contrae conforme se enfría, y la no adherencia -- del sólido a las paredes laterales simplificó grandemente -- la operación de remoción.

El sólido removido fue un bloque rectangular de aproximadamente 30 x 30 x 20 cm. de tamaño. Se cortó a lo largo de un plano vertical, para exponer la sección transversal de la cavidad de fusión.

Cada corrida involucró 4 etapas distintas. La primera -- fue la fusión del sólido para producir un líquido homogéneo que tiene la composición eutéctica y esta fue seguida por -- el enfriamiento del líquido para producir un sólido uniforme, en la tercera etapa, se llevó al sólido a la temperatura inicial deseada para el experimento de fusión, ya sea la temperatura de fusión o algún otro grado de subenfriamiento seleccionado. La última de las 4 etapas fue el experimento -- mismo de fusión, involucrando la creación de la región de -- fusión y la extracción del líquido.

Bajo condiciones favorables, las 4 etapas de una corrida podrían ser realizadas en 3 ó 4 semanas. La mayoría de -- este tiempo fue dedicado al calentamiento del sólido para --

llevarlo a una temperatura inicial uniforme previa al experimento de fusión.

El enfoque del presente estudio fué la determinación visual de las formas de fusión.

Resultados: Se presentan aquí los resultados fotográficos para 3 experimentos. Los 2 primeros de ellos son para el caso en que el sólido estaba a su temperatura de fusión al arranque de la misma, en tanto que el tercero es para el caso donde el sólido estaba subenfriado. Para los 3 experimentos, la fuerza de entrada al cilindro horizontal de calentamiento era aproximadamente de 5700 W/m^2 , que corresponde de más o menos a uno de los niveles de fuerza de (57). Los resultados para las corridas con el sólido a la temperatura de fusión están presentados en la fig. 52. La fotografía de la izquierda corresponde a un lapso de tiempo de 15 min. -- después del arranque del calentamiento, en tanto que, la foto de la derecha es para un periodo de calentamiento de 90 min. En cada fotografía la región negra representa la zona de fusión, mientras que el círculo blanco es el cilindro horizontal de calentamiento (que para las fotografías fué simulado por una rueda pintada de blanco cuyo diámetro es igual al del cilindro de calentamiento). La región blanca rodeando la zona de fusión es sólido sin fundir. Se ha trazado una línea horizontal en cada fotografía para representar la localización del piso de la cámara de prueba. Las lige--

ras irregularidades de la interfase sólido-líquido que son evidentes en las fotografías son debidas principalmente al astillamiento inevitable que ocurrió a la superficie de la cavidad de fusión durante la operación de corte.

El efecto de subenfriamiento inicial del sólido en el proceso de fusión se muestra en la fig. 53. Esta fotografía corresponde a la misma velocidad de calentamiento de la --- fig. 52 (5700 W/m^2), al mismo lapso de tiempo de calentamiento como la foto de la derecha de la fig. 52 (90 min.) pero a un subenfriamiento del sólido de cerca de 42°C . La región de fusión para el caso de subenfriamiento es sustan--- cialmente más pequeña que la que no lleva subenfriamiento, como se esperó porque una porción de la energía de entrada es absorbida como calor sensible por el sólido. También de interés es la forma de la región de fusión, que está más re--- ducida que la que no lleva subenfriamiento.

Las fotografías de fusión acerca de un cilindro hori--- zontal encajado en un material de cambio de fase a baja temperatura, una parafina con temperatura de fusión de 44°C , - está reportada en (58). Los experimentos fueron desarrollados con parafina sólida a temperatura ambiente, que corresponde a la condición de subenfriamiento (59).

fig 52

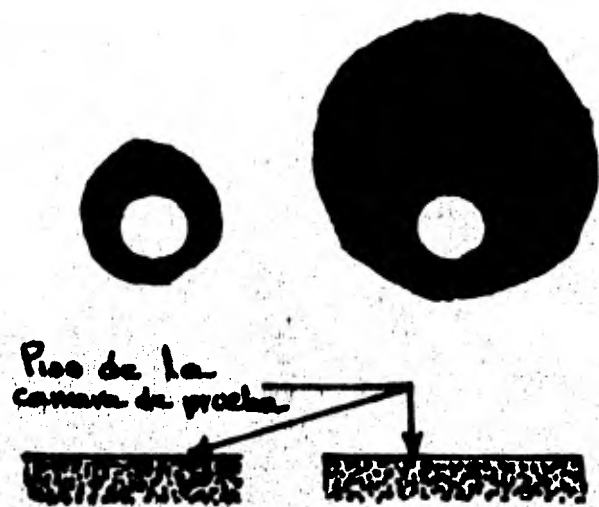


fig 53



Capítulo V

Discusión

En el artículo sobre el estudio estereoscópico visual de estructuras coherentes en flujo cortante turbulento, el propósito era la observación de las estructuras formadas durante el flujo turbulento.

La intención principal era observar estas estructuras pero en tres dimensiones, para darse una idea exacta de su formación y de los efectos que pueden causar.

El estudiar este fenómeno en tres dimensiones facilita su identificación completa o sea, formación, duración, límites y efectos.

Anteriormente se había observado algunos fenómenos que se forman en este tipo de flujo pero, no estaban completamente definidos e identificados, por lo que, se optó por el uso de la fotografía estereoscópica y obteniendo así muy buenos resultados, que se compararon con estudios anteriores, siempre siendo mejores los resultados fotográficos.

La aplicación fotográfica en la calibración de un tubo de choque de flujo por el análisis de las trayectorias de partículas, tuvo una razón, facilitar la estimación de algunas propiedades físicas del fluido, como presión, densidad, etc. en cualquier punto del tubo, o sea conocer su variación por toda la longitud del tubo de choque.

Y algo que fué inesperado al usar las técnicas fotográficas en este experimento, la observación de algunas aberraciones del flujo que no se habían detectado por otros me---

dios, esto indica la gama tan amplia de ventajas que ofrece la fotografía, puesto que en este caso se detectó un error que no era la razón principal para usar la fotografía.

Para el estudio de tiempos y movimientos, el uso de la fotografía facilitó enormemente su análisis, debido a las diferentes técnicas fotográficas que se pueden usar en este campo y hacer que un operador desarrolle más eficientemente sus tareas para lograr mayor productividad.

Es una forma más fácil también de que los operadores puedan entender sus errores al proyectarles las películas filmadas y una explicación más gráfica de lo que deben realizar y en que forma.

En el campo de aplicaciones mecánicas, aparte del estudio de partes de maquinaria, análisis de vibración, análisis de esfuerzos, etc. los experimentos vistos aquí perseguían los siguientes objetivos: el primero observar la distribución y estimar la velocidad de las gotas de combustible antes de la combustión en una máquina diesel y el segundo, el movimiento de ondas en medios anisotrópicos.

Para el primer caso, la fotografía permitió seguir la trayectoria exacta de una gota de combustible y así poder estimar su velocidad, ayudando así a un mejor análisis en la inyección del combustible.

Junto con la fotografía, se usó un nuevo método de iluminación del rocío de combustible.

Este método consiste en utilizar una tubería de luz -- que se introdujo en la cámara de presión, para evitar aberraciones causadas por el paso de luz a través de cristales si se hubiera usaso una fuente de luz externa a la cámara de presión. Con el uso de la fotografía y la tubería de luz se obtuvieron imágenes con una alta calidad óptica para el análisis de la trayectoria y velocidad de las gotas de combustible.

Para el segundo caso, los materiales que se estudiaron requerían de un método de análisis que fuera capaz de registrar imágenes a velocidades altísimas.

Para esto se recurrió a la fotografía ultrarrápida, -- que fué capaz de filmar imágenes a velocidades de más de un millón de cuadros por segundo.

Los resultados que se obtuvieron con esta técnica fotográfica fueron realmente sorprendentes, ya que la calidad de las fotografías obtenidas es excelente y muy ilustrativas de como avanzan las ondas en este tipo de materiales, -- por lo tanto, los resultados que dió la fotografía fueron altamente satisfactorios.

Fotomicrografía, en este campo se presentaron dos experimentos, uno de crecimiento de cristales en el cual el objetivo de la fotografía era mostrar con mayor claridad la formación de cristales y estudiar con mayor detalle este fenómeno. Esta finalidad se cumplió perfectamente.

El segundo experimento era mostrar la formación y avance de imperfecciones en los sólidos que son atacados por un agente químico, aquí la fotografía sirvió como método comparativo entre el mismo material con el paso del tiempo y entre diferentes materiales, obteniéndose muy buenos resultados.

En el punto No. 5 (Propiedades de líquidos) se realizaron tres experimentos, con características muy diferentes entre ellos y para los cuales, la fotografía presentó también alternativas en su aplicación.

Para el primer caso, la medición del esfuerzo de tensión de líquidos tuvo muy buenos resultados al filmar en cámara lenta el domo de rocío de líquido, producido por la carga explosiva colocada a cierta profundidad en el mismo, la cámara lenta mostró perfectamente el avance de las partículas de líquido en el domo de rocío y esto facilitó las medidas necesarias para las estimaciones que se hicieron.

Para medir la transparencia del agua en diferentes condiciones, en el segundo caso, la fotografía da resultados muy satisfactorios para usarlos como comparación entre una y otra condición usada en el experimento.

En el experimento de sedimentación se usó una técnica-fotográfica especializada, la fotografía de rayos X, al aplicarla a líquidos opacos que no permiten el uso de la fotografía convencional y mostrando muy buena eficiencia para

este tipo de líquidos, cuya velocidad de sedimentación no se puede medir por otros medios.

El punto No. 6 que se refiere al estudio de rayos laser, sirvió para dos objetivos, uno, el estudio de la fuerza y la distribución de la energía de un rayo laser y dos, para la aplicación de un material fotográfico nuevo que finalmente ofreció buenos resultados, satisfaciendo completamente el análisis que se hizo del rayo laser.

Finalmente el punto No. 7 que habla de otras aplicaciones, se utilizó la fotografía para la filmación de las zonas de fusión en un material sólido, mediante dichas fotografías se llegó a conclusiones muy importantes como fueron identificar la forma dominante de transferencia de calor en estos experimentos, así se puede usar el modelo matemático correspondiente sin temor a equivocarse.

Capítulo VI

Conclusión

En todos los experimentos realizados, el objetivo que se pretendía, se logró con magníficos resultados mediante el uso de la fotografía, estos resultados satisfacían ampliamente las necesidades de cada proceso, esto nos lleva a la conclusión de que la fotografía tiene una importancia muy grande para su aplicación en los procesos industriales.

Con esto espero haber logrado explicar el objetivo de mi Tesis Profesional, el cual está encaminado a que el técnico se de cuenta de las aplicaciones tan variadas que puede tener la fotografía y que aparte de su aplicación, las fotografías o películas le pueden servir para llevar un registro de imágenes a través del tiempo, para usos posteriores, como pueden ser: comparación, adiestramiento, estudio de proyectos futuros que se logran a través de la fotografía de animación, etc.

Mediante el logro de este objetivo, despertar el interés por adoptar, modificar o buscar nuevas aplicaciones a las técnicas fotográficas utilizadas en este trabajo para la industria de nuestro país.

La información proporcionada aquí también puede servir como introducción para aquellas personas que estén interesadas en montar un laboratorio fotográfico, cuyos fines pueden ser variados, por ejemplo, si se interesan solo en el procesamiento de material fotográfico o si su intención es dar asesoría industrial para las aplicaciones de la fotogra

ffa.

En este trabajo se presentan solo algunos ejemplos del uso de la fotografía, pero actualmente la industria fotográfica ha crecido tanto, que las aplicaciones que se pueden hacer de sus materiales son muy extensas y cada día serán más y más debido a que la investigación sobre nuevos materiales no cesa.

Viendo los resultados de las aplicaciones presentadas aquí creo haber logrado despertar la inquietud para que, la fotografía se aplique en nuestro país y ayudar así a un mejor desarrollo industrial.

Capitolo VII

Bibliografia

- 1) Historia de la fotografía. Peter Boyd, Ed. Grijalbo ----
(1973).
- 2) Diccionario Enciclopédico U.T.E.H.A., vol. 5.
- 3) Química Fotográfica. Pierre Glafkides, Ed. Omega (1953).
- 4) Boletines Cinematográficos Kodak.
- 5) Boletín Kodak CP-27.
- 6) Boletín Kodak, Selección y uso de las películas Eastman-
y Kodak para cinematografía.
- 7) Boletines Agfa, Cine and Television-Films.
- 8) Boletines Fuji, Fuji Film Data Sheet.
- 9) Boletín Kodak CP-44.
- 10) Boletín Kodak CP-45.
- 11) Tesis, El revelado de películas, Rosalba Trejo Castro, -
IPN.
- 12) Boletín Kodak CP-14.
- 13) Boletín Kodak, Lista de análisis cuantitativos.
- 14) Boletín Kodak, Publicación No. AE-90, The Seventh -----
Here's Now.
- 15) Kodak Job Sheet No. 10, Motion Pictures for Methods ---
Measurement.
- 16) Kodak No. 2 Cinephotomicrography.
- 17) Publicación Kodak No. M-28, Applied Infrared Photogra--
phy.
- 18) Specialized Applications. William G. Hyzer. Engineering-
and Scientific High-Speed Photography, p. 400-462.

- 19) A Stereoscopic Visual Study of Coherent Structures in --
Turbulent Shear Flow, Ananda K. Praturi, Roberts S. ---
Brodkey. J. Fluid Mech., vol. 89, part. 2, pp. 251-272-
(1978).
- 20) R. J. Emrich and D. B. Wheeler, Phys. Fluids 1, 14 ----
(1958).
- 21) J. M. Dewey and W. A. Anson, Phys. Fluids Suppl. I, 12-
1-140 (1969).
- 22) J. M. Dewey, Proc. R. Soc., A324, 275 (1971).
- 23) I. I. Glass and G. N. Patterson, J. Aeronaut. Sci., 22-
73 (1955).
- 24) J. C. Muirhead, J. Appl. Phys., 30, 789 (1959).
- 25) W. J. Fenrich and J. J. Vesso, Sulfield Technical Note-
No. 74 (1962).
- 26) Calibration of Shock Tube Flow by Analysis of the Parti-
cle Trajectories, J. M. Dewey and B. T. Whitten, The --
Physics of Fluids, vol. 18 No. 4, pp. 437-445 (1975).
- 27) A Technique for an Application of Light Pipes to Tran---
sient Fuel Jet Droplet Photography, V. Pirouz-Panah and
T. J. Williams. J. Phys. E. Sci. Instrum., vol. 13, pp.
34-35 (1980).
- 28) Studies in Dynamic Photoelasticity. Frocht M. M. and --
Flynn P. D., J. Appl. Mech. 23, 116-122 (1956).
- 29) Investigation of Brittle Fracture in Steel by Means of-
Ultra-High Speed Photography. deGraf J. G. A., J. Appl.

- Optics, 3 (11), 1223-1229 (1964).
- 30) An Investigation of Propagating Cracks by Dynamic Photoelasticity, Bradley W. B. and Kobayashi A. S. Experimental Mechanics, 10 (3), 106-113, (1970).
- 31) Dynamic Stress Concentration Using Photoelasticity and a Laser Light Source. North W. P. T. and Taylor C. E. - Experimental Mechanics 6 (7), 337-341 (1966).
- 32) A Photoelasticity Study of Stress Waves in Fiber Reinforced Composites, Bally J. W., Link J. A. and Prabhakaran R. Proc. 12th Midwestern Mech-Conf., 937-949 (1971).
- 33) Strain-optic Lay for a Certain Class of Birefringent -- Composites, Pipes R. B. and Rose J. L., Experimental -- Mechanics 14 (9), 355-360 (1974).
- 34) Wave Motion in Anisotropic Media by Dynamic Photomechanics, R. E. Rowlands, I. M. Daniel and R. Prabhakaran, - Experimental Mechanics, pp. 433-439 (1974).
- 35) Frank F. C., Discuss. Faraday Soc., 5, 48 (1949).
- 36) Thomas J. M., Chem. Brit., 6, 60 (1970).
- 37) Heges J. M. and Mitchel J. W., Phil. Mag., 44, 223 --- (1953).
- 38) Thomas J. M. and Renshaw G. D., J. Chem. Soc. A2058 --- (1967).
- 39) Bamford C. H. and Eastmond G. C., Quart. Rev., 23, 271- (1969).
- 40) Mechanism and Kinetics of Reactions in Solids in "reac-

- tivity of solids", Stone F. S., Elsevier Publishing Co. Amsterdam pp. 6 (1961).
- 41) Cohen M. D. and Schmidt G. M., J. Chem. Soc. 1966 ---- (1964).
- 42) Theory of Cristal Dislocations, Cottrel A. H., Blackie- & Son. Ltd. London (1964).
- 43) A Solid State Chemistry Experiment, N. H. Agnew., Journal of Chemical Education, vol. 49 No. 11, pp. 739-741- (1972).
- 44) Couzens D. C. F. and Trevena D. H., Nature, 222, 473 -- (1969).
- 45) In Underwater Explosion Research II. Wilson D. A., Co- tter B. A. and Price R. S., Edit. by Hartmann G. K. and Hill C. G., 637 (1950).
- 46) Underwater Explosions, Cole R. H., Dover N.Y. (1965).
- 47) Measurement of Tensile Strenght of Liquids by an Explo- sions Technique, D. A. Wilson, J. W. Hoyt, J. W. Mckune Nature (GB) vol. 253 No. 5494 pp. 723-725 (1975).
- 48) DelGrosso V. A., Ocean Optics vol. 64, 34 (1975).
- 49) In Water Photography, Theory and Practice, Mertens -- L. E. Wiley-Interscience, N.Y. pp. 69-77 (1970).
- 50) In Situ Measurement of Water Transparency, John W. Shel- don., Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, - vol. 44 No. 6, pp. 717-720 (1978).
- 51) Indirect Measurement of Sedimentation Rates at High Tem

- perature and Presion by X-Ray Photography, John G. On--
 deyka, Joseph D. Henry Jr. And Frank H. Verhoff, Ind. -
 Eng. Chem. Fundam. vol. 17 No. 3, pp. 217-221 (1973).
- 52) V. N. Sintsov, Opt.-Meck Prom. No. 4, 23 (1963).
- 53) T. Izawa and M. Kamiyama, Appl. Phys. Letter, 15 No. 7-
 201 (1969).
- 54) N. I. Rinegin, Trudi GOI, 32 No. 161, 27 (1964).
- 55) V. P. Mikulin, Photographic Processing Handbook, Iskuug
 tvo. M. (1958).
- 56) Termophotographic Method of Visualizing the Radiation -
 Field of CO₂ Laser, V. E. II'in. L. I. Petrova and E. B
 Semenov, Sov. J. Opt. Technol. vol. 41 No. 8, pp. 432--
 433 (1974).
- 57) Experiments on the Role of Natural Convection in the --
 Melting of Solids. E. M. Sparrow, R. R. Schmidt and J.-
 M. Ramsey, J. Heat Transfer 100, 11-16 (1978).
- 58) Study of Heat Transfer and Melting front from a Cylin--
 der Embedded in a Phase Change Material, R. D. White, -
 A. G. Bathelt, W. Leidenfrost and Viskanta, ASME paper--
 No. 77-HT-42 (1977).
- 59) Photographic Study of Melting about an Embedded Horizon
 tal Heating Cylinder. R. M. Abdel-Wahed, J. W. Ramsey -
 and E. M. Sparrow. Int. J. Heat Mass Transfer. vol. 22,
 pp. 171-173 (1979).