

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1976

04.76.01

PMM/A-214

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

Cursos de Entrenamiento Avanzado en Metalurgia

Ciclo de Especialización

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

DISCONTINUIDADES EN LOS MATERIALES Y ENSAYO VISUAL

Ing. D. M. Anastasio - Ing. J. N. Báez - Ing. A. Castella

INEND Proyecto PNUD ARG 537/71

Programa Multinacional de Metalurgia

Programa Regional de  
Desarrollo Científico y Tecnológico

Organización de los Estados Americanos  
OEA

Argentina  
1976

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

Cursos de Entrenamiento Avanzado en Metalurgia

Ciclo de Especialización

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

DISCONTINUIDADES EN LOS MATERIALES Y ENSAYO VISUAL

Ing. D. M. Anastasio - Ing. J. N. Báez - Ing. A. Castella

INEND Proyecto PNUD ARG 537/71

Programa Multinacional de Metalurgia

Programa Regional de  
Desarrollo Científico y Tecnológico

Organización de los Estados Americanos  
OEA

Argentina  
1976

# I N D I C E

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
2. DISCONTINUIDADES EN MATERIALES, COMPONENTES Y PIEZAS	2
2.1. Geometría y clasificación de las discontinuidades	3
3. CONCENTRACION DE TENSIONES	10
4. DISCONTINUIDADES EN METALES	13
4.1. Tipos de discontinuidades en los metales	13
4.1.1. Discontinuidades inherentes	14
4.1.2. Discontinuidades de proceso	14
4.1.3. Discontinuidades producidas durante el trabajo o funcionamiento de la pieza en servicio	14
4.2. Fisuras superficiales	14
4.3. Huecos internos	15
4.4. Variaciones metalúrgicas	16
4.5. Discontinuidades que pueden constituir defectos en los principales procesos metalúrgicos	17
4.5.1. Forja	17
4.5.2. Soldadura	18
4.5.3. Fundición	20
4.5.4. Proceso de conformación de tubos. Laminación Extrusión	21
5. RUGOSIDAD Y TERMINACION SUPERFICIAL	22
6. FATIGA EN LOS METALES	25
7. ENSAYO VISUAL	27
7.1. El ojo humano	28
7.1.1. El ojo humano como instrumento óptico	30

	Pág.
7.2. Instrumentos auxiliares de la visión	31
7.2.1. Espejos	33
7.2.2. Lentes	34
7.2.3. Prismas	34
7.2.4. Microscopios	36
7.2.5. Telescopios y prismáticos	42
7.2.6. Periscopios	45
7.2.7. Endoscopios	47
7.2.7.1. Endoscopios rígidos	47
7.2.7.2. Endoscopios flexibles	47
7.2.7.3. Selección de endoscopios	48
7.2.8. Proyector de perfiles	52
7.2.9. Circuitos cerrados de T.V.	54
7.3. Fotografía	56

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
DISCONTINUIDADES EN LOS MATERIALES  
ENSAYO VISUAL

1. INTRODUCCION

Los ensayos no destructivos (END) constituyen una disciplina tecnológica que comprende un gran número de métodos reunidos en torno a una filosofía de aplicación determinada por la premisa fundamental de asegurar calidad tecnológica de materiales, piezas o productos y condicionada por los factores económicos inherentes a toda actividad industrial y por aquellos que hacen a la seguridad humana.

La importancia de los END reside en la posibilidad de poder inspeccionar piezas y/o componentes sin modificar ni interferir en el uso y futuro de los mismos.

Los objetivos principales de su aplicación son:

- Asegurar calidad tecnológica en los materiales aumentando su confiabilidad.
- Prevenir accidentes y asegurar vidas humanas.
- Beneficios que da la aplicación del conjunto de técnicas END.
- Beneficios económicos a sus usuarios.
- Contribuye en la investigación y desarrollo tecnológico.
- Controla los procesos de manufactura.
- Mantiene uniformidad en los productos en lo que respecta a su calidad.

En sus aplicaciones los métodos de END cumplen con la función de detectar y evaluar discontinuidades, variaciones de propiedades o composiciones y variaciones dimensionales, que pueden constituir defectos o no, pero que determinan la calidad o confiabilidad de los materiales.

Los principales métodos de END son los siguientes:

- Ensayo Visual
- Líquidos Penetrantes
- Partículas Magnéticas.
- Radiografía - Gamagrafía

- Corrientes parásitas (eddy currents)
- Ultrasonido

Cada método no destructivo está diseñado para proveer evidencia de discontinuidades o fallas en los materiales que no son generalmente visibles a simple vista. La evidencia dejada por cada método se denomina indicación.

Es así que las indicaciones pueden ser acumulación de partículas magnéticas, indicación en un tubo de rayos catódicos, indicación en un instrumento de aguja, indicación en una película radiográfica, etc.

En este apunte nos ocuparemos primeramente de las discontinuidades físicas que son objeto de la aplicación de los END en materiales, componentes o piezas metálicas.

Trataremos como segundo punto el Ensayo visual que constituye el primero de los ensayos a que se recurre usualmente cuando se trata de examen o inspección de superficies.

## 2. DISCONTINUIDADES EN MATERIALES, COMPONENTES Y PIEZAS

Se entiende por discontinuidad a toda interrupción del continuo que puede o no llegar a constituirse en defecto. Entre las principales discontinuidades que pueden ser condición de defecto podemos mencionar: grietas, fisuras, poros, rugosidades, segregaciones, inclusiones, etc.

Una discontinuidad constituye una condición de defecto cuando, ya sea por su ubicación, tamaño o morfología, modifica la capacidad del material para cumplir con las exigencias del diseño.

Cuando esta modificación se manifiesta por encima de los valores de tolerancia previstos según las especificaciones de diseño, el defecto resulta un motivo de rechazo. En este caso corresponderá la reparación para eliminar el defecto o simplemente el rechazo del material.

En ciertos casos la discontinuidad en el material o componente no constituye condición de defecto sino que forma parte del diseño o especificación, por ejemplo la porosidad en cojinetes autolubricados.

En estos casos si se aplican END es para verificar su presencia o para evaluar si sus dimensiones corresponden a las de diseño.

En ciertos casos cuando se trata de trabajos de investigación en los materiales o de la puesta a punto y calibración de métodos de ensayo se suelen introducir intencionadamente en los materiales discontinuidades que por esa razón llamamos generalmente defectos artificiales.

Estas discontinuidades o defectos artificiales pueden ser introducidos

mediante manipulaciones intencionales en los procesos de elaboración o bien por simple mecanizado. Los defectos artificiales producidos por mecanizado tienen limitaciones fundamentalmente geométricas cuando se los quiere utilizar como referencia para calibración de los métodos.

## 2.1. Geometría y clasificación de las discontinuidades

Debemos estudiar cuidadosamente la forma geométrica aproximada de las discontinuidades en los materiales. Dichas discontinuidades, desde el punto de vista geométrico, pueden ser de los siguientes tipos:

- Discontinuidades tri-dimensionales con forma geométrica aproximadamente definida.
- Discontinuidades tri-dimensionales con forma geométrica no definida.
- Discontinuidades bidimensionales planas y reversas
- Discontinuidades lineales (rectas o curvas)

Todos estos tipos de discontinuidad mencionados pueden variar en tama-

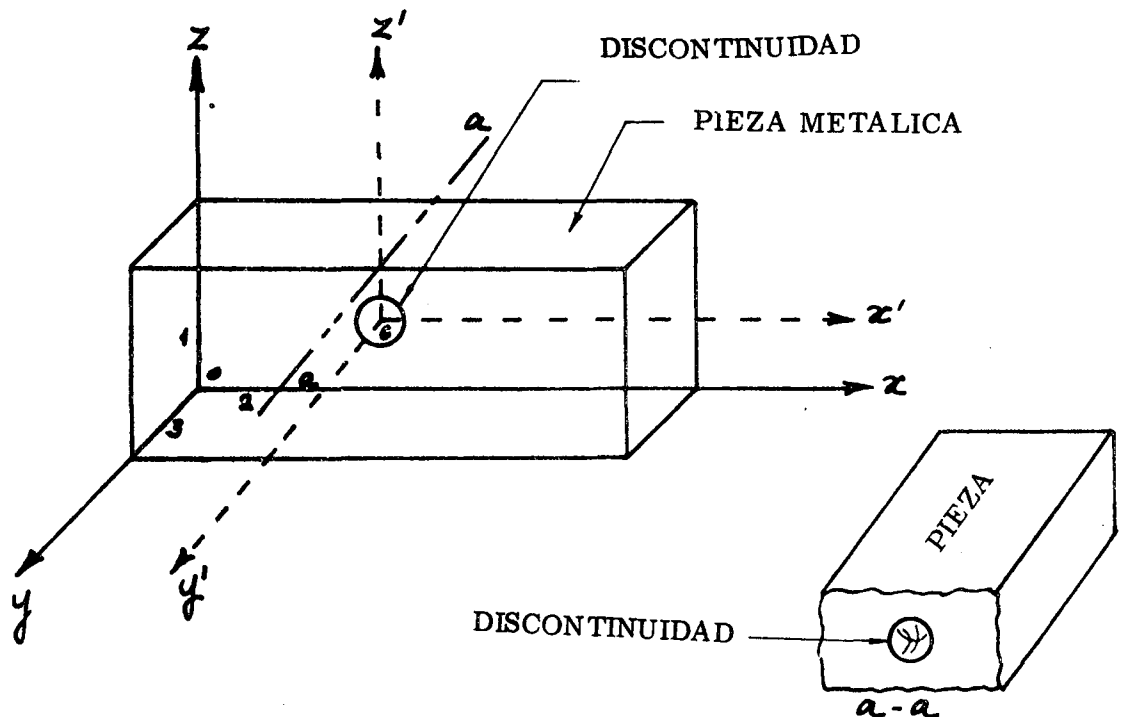


Figura 1

ño, posición, orientación, densidad, en zonas particulares de la pieza metálica (desde el momento de la solidificación hasta la puesta en servicio).

En la figura 1 vemos una discontinuidad tri-dimensional con forma geométrica aproximada de una esfera.

Las discontinuidades tri-dimensionales con forma geométrica aproximadamente definida, aparecen en los metales en general en el momento de la solidificación en forma de cavidades con gases en su interior.

Los gases en el interior de la masa del metal líquido quedan aprisionados, generalmente, durante el proceso de solidificación.

En la figura 2 vemos una discontinuidad tri-dimensional con forma geométrica no definida.

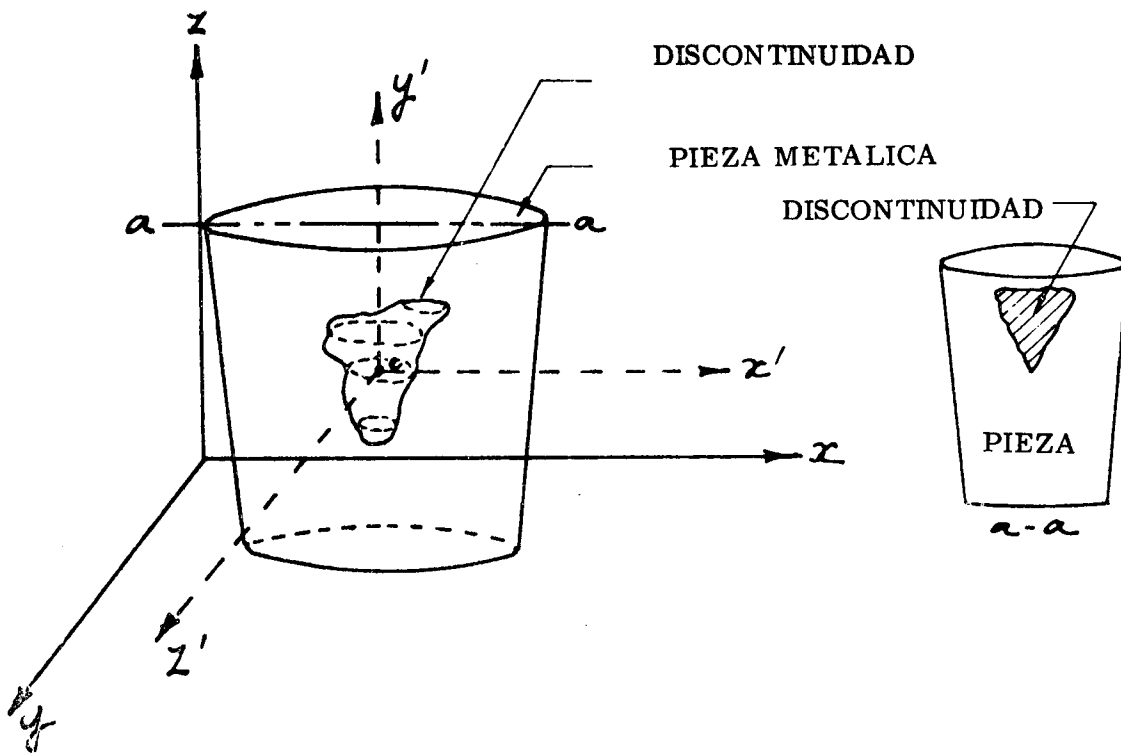


Figura 2  
(Vacío tipo Rechupe)

Los rechupes en el interior de los metales son provocados por varios motivos, uno de ellos es la contracción durante la solidificación, los mismos se suelen producir cuando no se toman las providencias correctas (velocidad de enfriamiento, tiempo, molde, etc.)

Vemos en la figura 3 una discontinuidad dimensional plana, en este caso la discontinuidad a pesar de tener 3 dimensiones, tiene una dimen-

sión privilegiada que es la del plano ( $x'y'$ ).

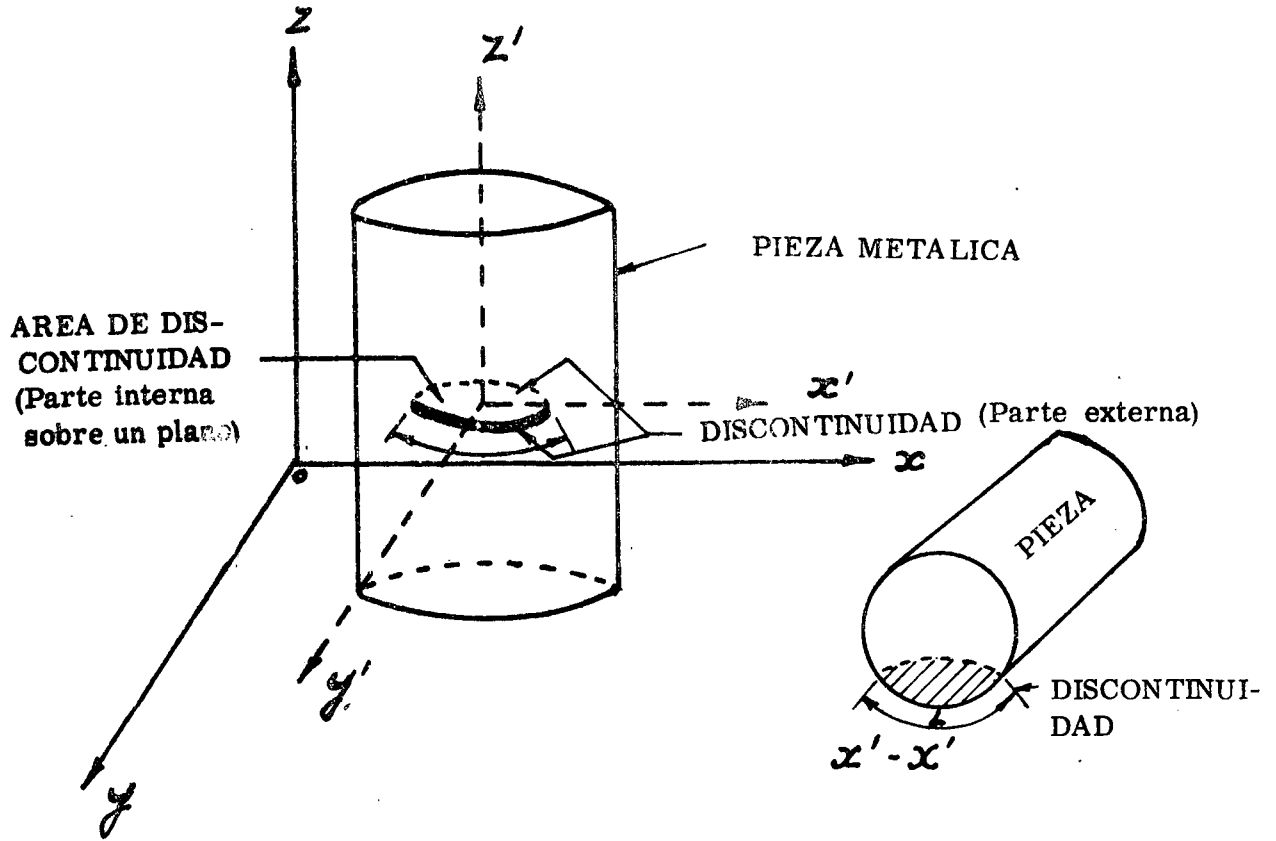


Figura 3

Discontinuidad bidimensional plana  
plano preferencial ( $x'y'$ )

Esta discontinuidad contenida en el plano ( $x'y'$ ) (plano de discontinuidad) es llamada también fisura plana.

Es de suma importancia la orientación de la figura en relación con la geometría de la pieza metálica pues da la dirección de las tensiones principales de la pieza en servicio. La orientación de las discontinuidades se determina con la ayuda de las coordenadas cartesianas, en nuestro caso plano ( $x'y'$ ).

Las discontinuidades bidimensionales reversas son aquellas que no están contenidas en un plano preferencial como el de la figura 3, sino que está contenida en una superficie curva, que a veces se aproxima a un plano y a veces a una superficie compleja.

La figura 4 muestra una discontinuidad bidimensional reversa, o sea que no sigue un plano preferencial sino una superficie curva o alabeada.

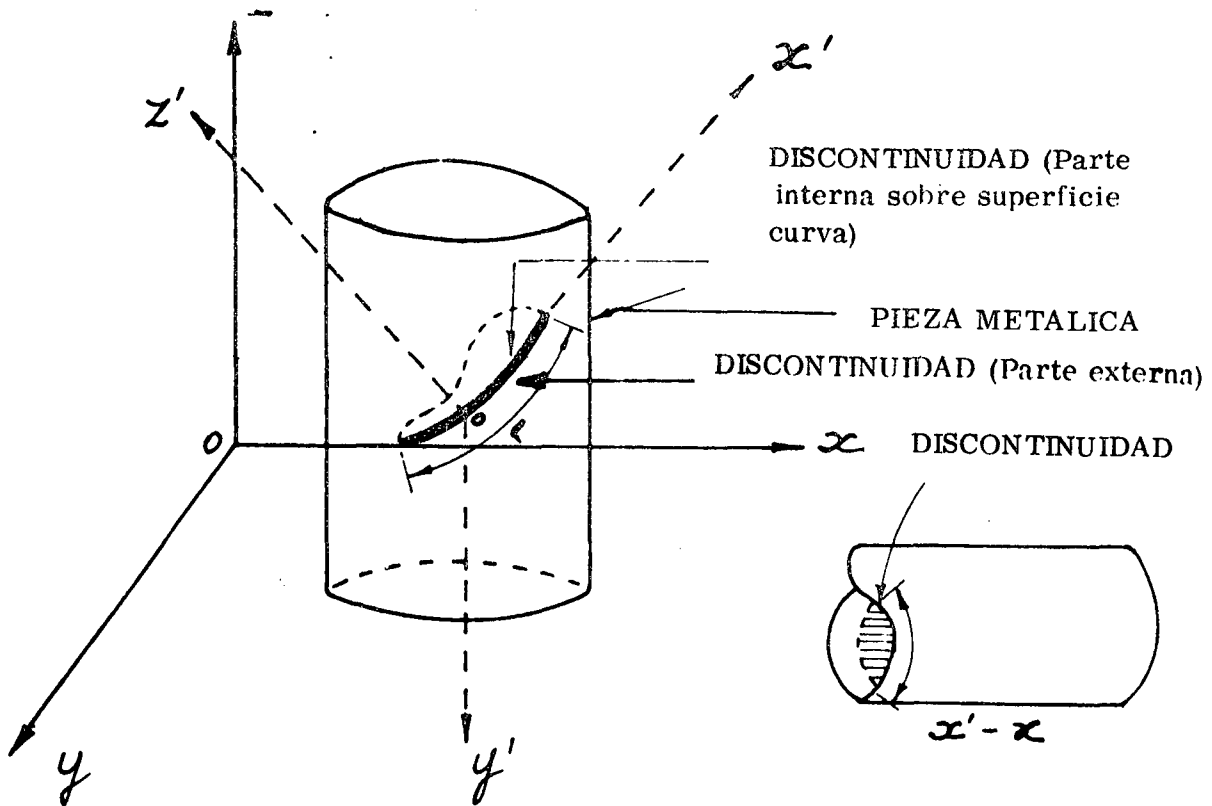


Figura 4 - Discontinuidad bidimensional reversa con tendencia al plano ( $x'y'$ ) pero no contenida en el mismo. La figura muestra un caso de fisura por fatiga, debida a un esfuerzo de torsión en ejes.

En la rotura de piezas sometidas a fatiga, pueden aparecer fisuras de este tipo producidas por tensiones internas provocadas por dicho esfuerzo.

Las fotografías de las figuras 5 y 6 muestran dos fracturas por fatiga, que presentan discontinuidades bidimensionales del tipo de las ya vistas.

Es importante aclarar que en las discontinuidades bidimensionales reversas, la parte externa de la misma que comúnmente se llama fisura, puede estar o no dirigida en una dirección definida, mientras que el interior de la discontinuidad está siempre en una superficie curva.

La figura 7 muestra una discontinuidad lineal recta. Los riesgos provenientes de operaciones de maquinado son ejemplos típicos de discontinuidades rectas.

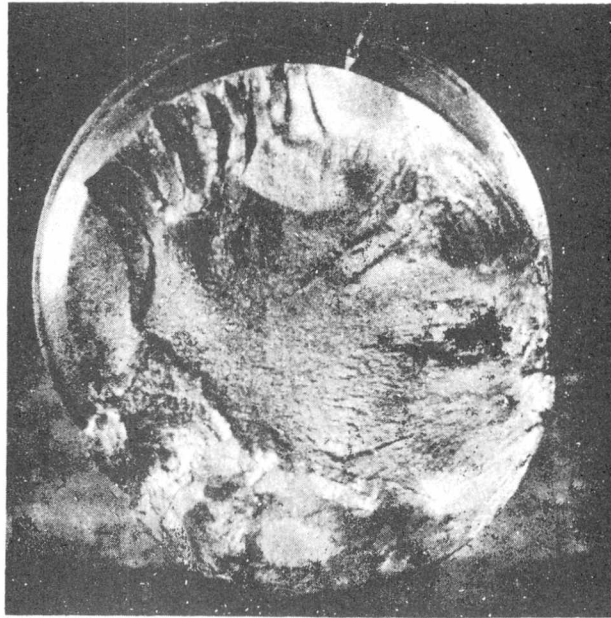


Figura 5 - Fractura típica por Torsión cíclica en un eje de volante de un arbol de manivelas. Iniciada por discontinuidades bidimensionales reversas.

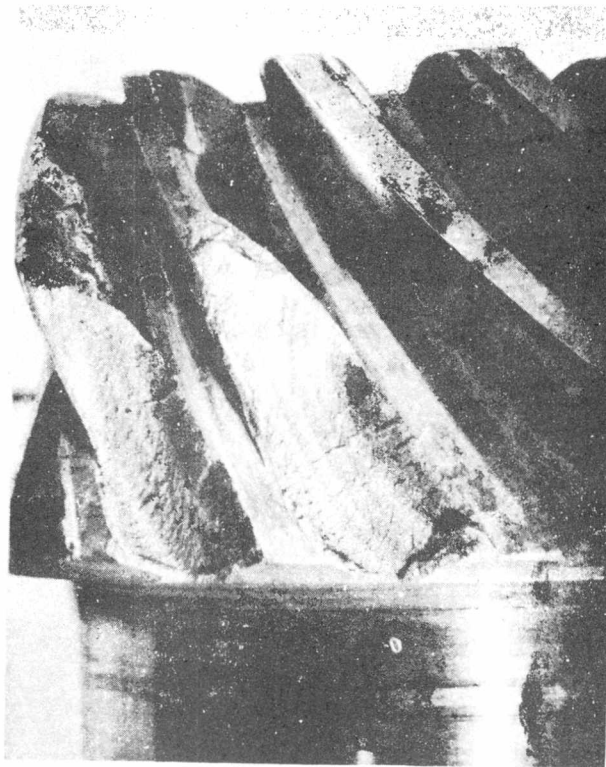


Figura 6 - Fractura típica de rotura por fatiga de dientes de piñón, iniciada por discontinuidades bicimensionales planas.

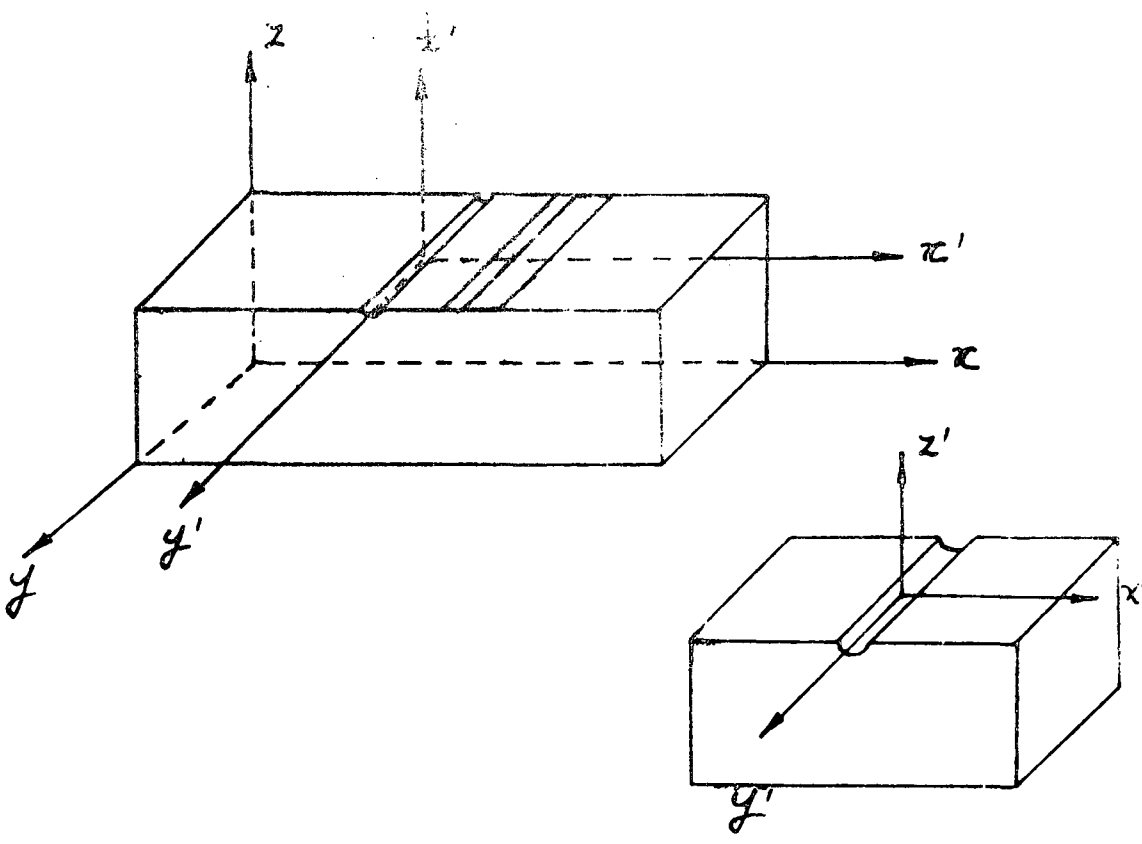


Figura 7 - Discontinuidad lineal recta según la dirección  $y'$  (marcas de maquinado sobre la superficie de la pieza)

En la figura 8 vemos una discontinuidad lineal recta en la raíz de una soldadura entre dos chapas de acero; tal discontinuidad se conoce con el nombre de falta de penetración.

Cada tipo geométrico de discontinuidad que hemos tratado tiene una importancia relativa en lo que respecta a concentración de tensiones, en piezas sometidas a esfuerzos, tienen efectos diversos e incluso pueden llegar al colapso de las mismas.

No sólo basta conocer la forma geométrica de las discontinuidades, necesitamos también saber:

- a) Tamaño de las discontinuidades.
- b) Posición de las discontinuidades en la pieza.
- c) Angulo del plano (de la discontinuidad bidimensional plana) con un plano de tensiones principales (de una pieza en servicio).
- d) Dirección de las discontinuidades bidimensional reversa (medida por el desenvolvimiento de la fisura que se observa en la parte

externa de la figura 5) con una dirección de tensiones principales (de una pieza en servicio).

- e) Dirección de discontinuidades lineales en relación a direcciones de tensiones principales.
- f) Densidad de las discontinuidades y formas de distribución por unidad de volumen del metal.

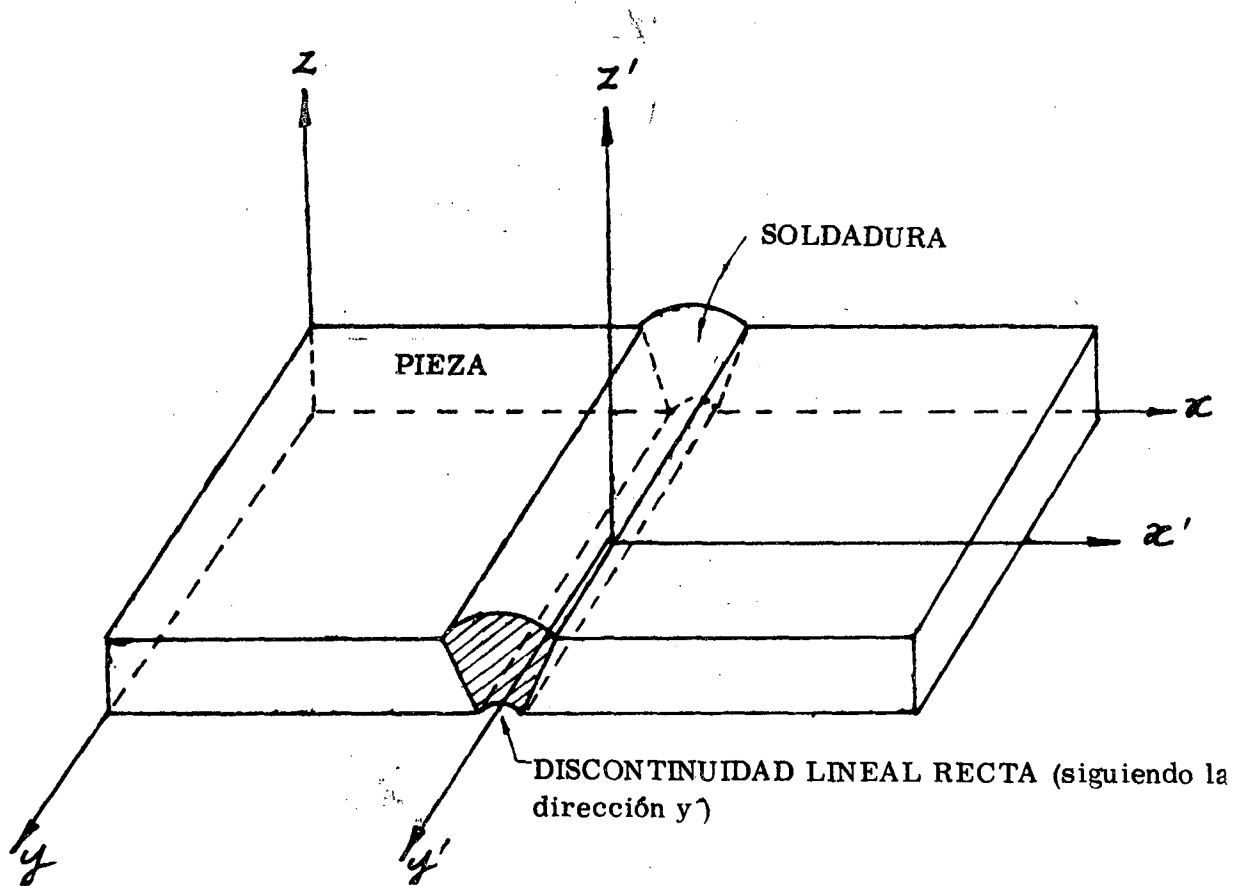


Figura 8 - Discontinuidad lineal recta según la dirección  $y'$  (falta de penetración en la raíz de la soldadura).

Para este estudio de la forma geométrica, orientación, dimensiones, densidad, etc., es siempre interesante considerar en cada caso la existencia de dos sistemas de ejes coordenados. El primer sistema  $x-y-z$  permite localizar en el interior de las piezas metálicas las discontinuidades.

Y el segundo sistema  $x'-y'-z'$  permite determinar el tamaño de las mismas según el plano y sus direcciones.

Teniendo en cuenta lo que antecede es conveniente considerar también

los distintos tipos de discontinuidades en función de su posición y en función de su origen.

Considerando la posición de las discontinuidades tendríamos los siguientes tipos.

- Discontinuidades superficiales: son aquellas que interesan únicamente a la superficie o están directamente abiertas a la misma. Por ejemplo grietas, poros abiertos a la superficie, rugosidad, etc.
- Discontinuidades subsuperficiales: son aquellas que se encuentran inmediatamente debajo de la superficie y no se conectan con la misma. Por ejemplo poros, inclusiones, etc.
- Discontinuidades internas: son aquellas que se encuentran en el interior del material.

Considerando su origen tendríamos los siguientes tipos:

- Discontinuidades inherentes
- Discontinuidades del proceso
- Discontinuidades de Servicio

Las mismas serán estudiadas más en detalle en el punto 4 del presente trabajo.

### 3. EFECTO DE LA CONCENTRACION DE TENSIONES

La posición de la discontinuidad en una pieza es de fundamental importancia para el conocimiento del efecto de concentración de tensiones.

Supongamos el caso de la figura 9, donde vemos una soldadura común con sobremonta y la inexistencia de discontinuidades. Asimismo, debido a la sobremonta de la soldadura hay siempre una cierta concentración de tensiones en la parte superior de la sobremonta sobre el metal base.

Si tomamos el caso de la figura 10, una discontinuidad lineal sobre el metal base junto a la línea de concordancia con el refuerzo de la soldadura, tendremos una mayor concentración de tensiones motivadas por la suma de dos efectos.

El mismo canal si estuviese colocado siguiendo la misma dirección en la posición A-B (fig.10) motivaría un efecto de concentración de tensiones tan intenso como si estuviera al lado del refuerzo de la soldadura.

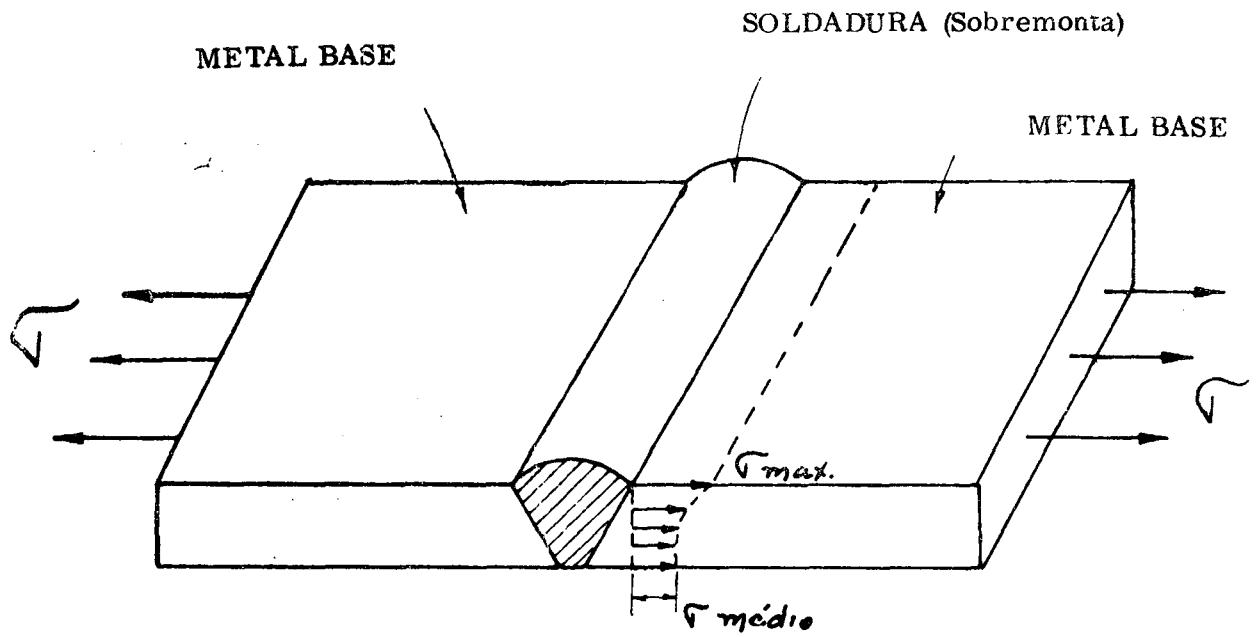


Figura 9

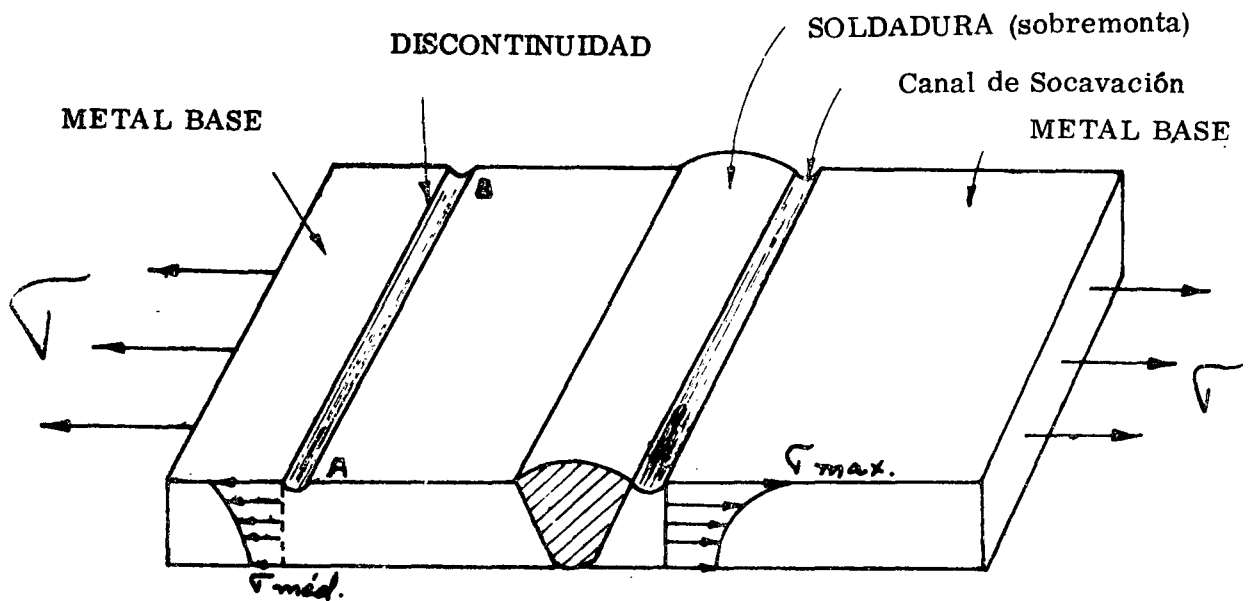


Figura 10

El ángulo de discontinuidad en relación a la dirección de tensiones principales también es muy importante. Si vemos el caso de la figura 11, que representa una pieza metálica sujeta a esfuerzos de tracción.

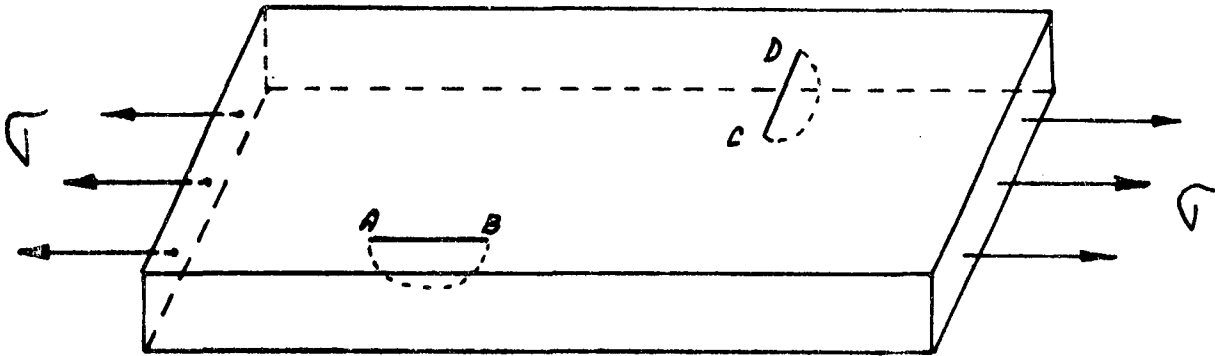


Figura 11

Presenta dicha pieza defectos en la dirección A-B (o sea en la misma dirección de las tensiones principales), este efecto tensional es menor que el que presenta la discontinuidad C-D que tiene dirección normal al eje de tensiones.

Concluiremos diciendo que dos fisuras geoméricamente iguales tienen efectos diferentes cuando sus orientaciones son distintas.

Existen ciertas especificaciones que relacionan la dirección de las discontinuidades en función del eje de tensiones de la pieza, por ejemplo "Una fisura no debe sobrepasar un ángulo máximo de  $45^\circ$  en relación a la dirección de tensiones de la pieza".

La densidad de las discontinuidades y la forma de distribución es otro aspecto importante de la inspección. Podemos tener inclusiones gaseosas en la masa de un metal (una o varias) como muestra la figura 12.

Lo importante es poder estudiar cómo dichas inclusiones están distribuidas, si lo hacen en forma lineal o grupos aislados unos de otros. En la figura 12 vemos los dos tipos de distribuciones, los que están agrupados linealmente son tratados con extremo cuidado y teniendo en cuenta especificaciones rigurosas, dado que ellos se aproximan a una discontinuidad lineal, dependiendo las consecuencias de servicio de las dimensiones de cada una y de la separación entre una y otra.

La zona c de la figura 12, tiene agrupamiento de inclusiones gaseosas que generalmente se localizan en piezas fundidas y en regiones determinadas, tales agrupamientos son llamados trozos de discontinuidades.

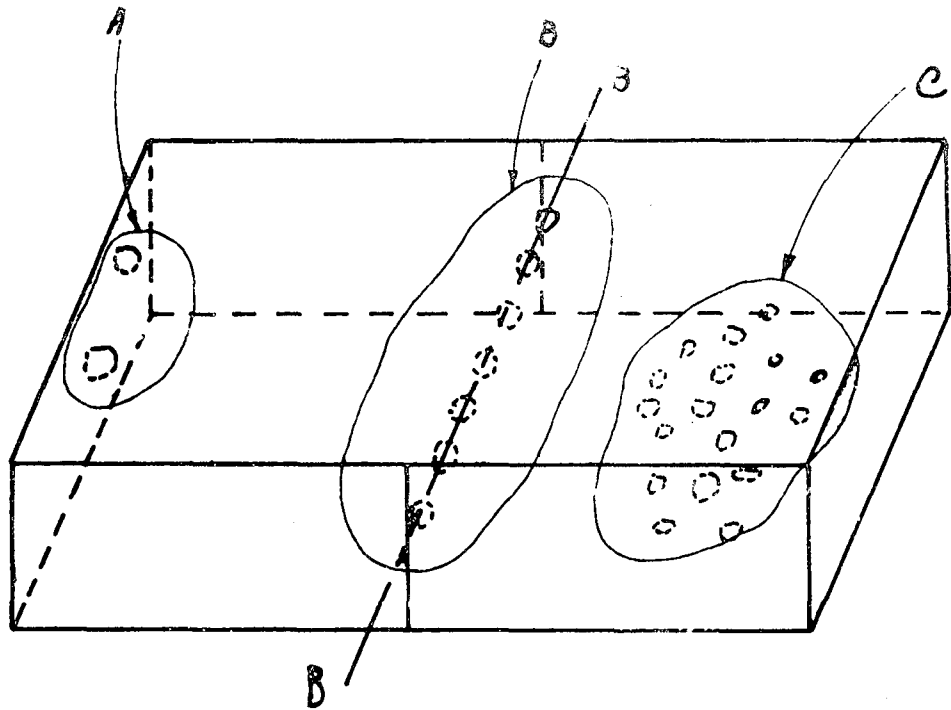


Figura 12

Podemos decir que todas las discontinuidades pueden contener material no metálico en su interior.

Así mismo se pueden presentar discontinuidades en la masa de los metales tales como: escoria, óxidos, gases, etc.

#### 4. DISCONTINUIDADES EN METALES

Las discontinuidades en las masas de piezas metálicas se pueden subdividir en tres grandes grupos englobados en los distintos tipos en que se presentan

##### 4.1. Tipos de discontinuidades en los metales

4.1.1. Discontinuidades inherentes.

4.1.2. Discontinuidades de proceso

4.1.3. Discontinuidades producidas durante el trabajo o funcionamiento de la pieza en servicio.

#### 4.1.1. Discontinuidades inherentes

Son las que se producen durante la producción de materia prima (tocho, lingote, palanquilla, etc.).

#### 4.1.2. Discontinuidades de proceso

Estas discontinuidades se producen en los metales durante la manufactura del mismo.

Durante las operaciones de proceso, los metales sufren deformaciones mecánicas en frío y en caliente. Estas operaciones cuando no son realizadas correctamente lesionan las piezas produciendo en ellas discontinuidades de distintos tipos.

#### 4.1.3. Discontinuidades producidas durante el trabajo o funcionamiento de la pieza en servicio

Como su nombre lo indica se producen durante el ciclo de servicio de las piezas.

Podemos citar algunos ejemplos: la corrosión es una gran productora de discontinuidades en servicio, las sobrecargas (presiones, esfuerzos), como así también el uso exagerado sobrepasando la vida útil de la pieza.

#### 4.2. Fisuras Superficiales

Constituyen una de las grandes fuentes de defectos. Son discontinuidades generalmente ocasionadas por tensiones mecánicas.

Pueden ser longitudinales, transversales, producidas por sobre esfuerzos de dimensionamiento, temperatura, impacto, etc.

Desde el punto de vista cristalográfico pueden ser:

- a) Transcristalinas: son aquellas que cortan los granos metálicos.
- b) Intergranulares: son aquellos que se producen entre los límites de grano sin cortarlos.

La figura 13 muestra esquemáticamente, distintos tipos de fisuras.

- a) Fisuras superficiales e interna en una barra
- b) Fisuras longitudinal y transversal en un cordón de soldadura.

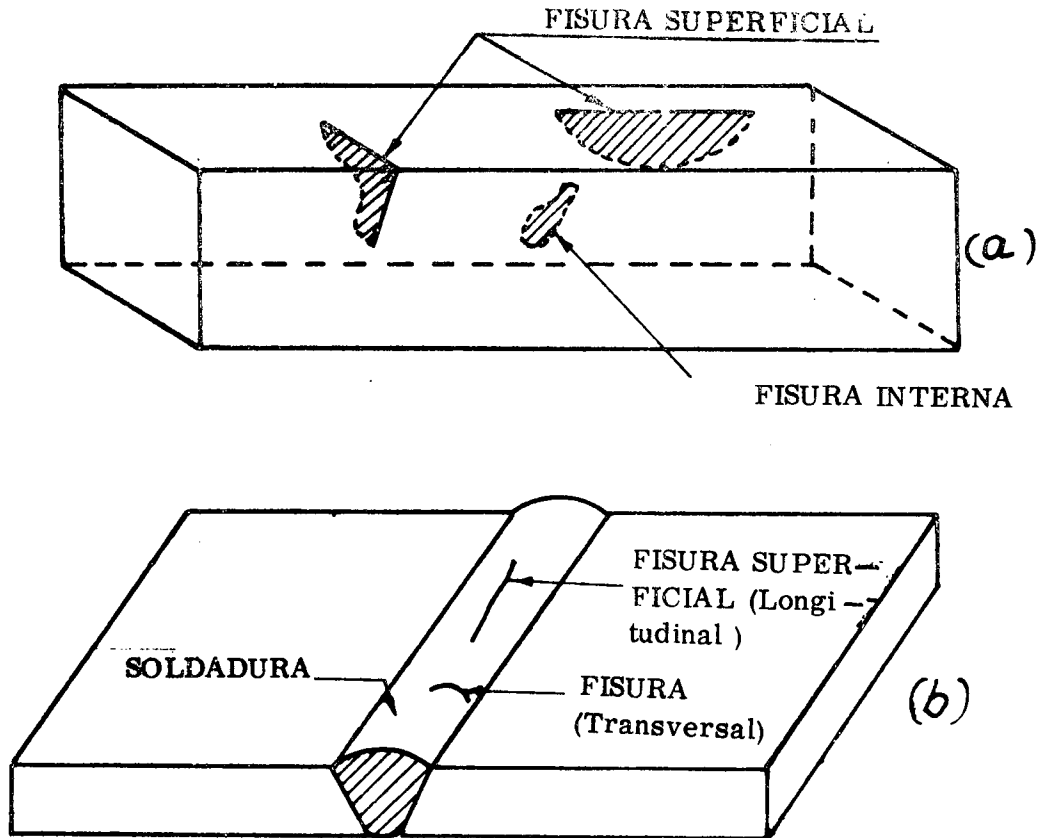


Figura 13

#### 4.3. Huecos internos

La mayoría de los metales sufren contracciones durante el proceso de solidificación. El metal líquido a alta temperatura cuando se cuele en los moldes (lingotera, coquilla, etc.), pierde una cierta cantidad de calor a través de las paredes del mismo mientras que en el núcleo de ese lingote existe material aun sin solidificar, ese intercambio térmico violento es el que produce la contracción de la masa metálica, dando lugar a vacíos internos o rechupes que se forman generalmente en la parte superior de los lingotes, dependiendo del molde en donde se está produciendo la colada (Fig. 14).

Cuando la pieza fundida tiene secciones grandes y pequeñas (cambios bruscos), generalmente existen contracciones desiguales y se pueden producir grietas. Si durante la solidificación no existe alimentación de metal líquido que compense la disminución de volumen del metal al solidificar. En esos casos se producirán vacíos de contracción que pueden o no estar vinculados al exterior.

Pueden ocurrir porosidades o vacíos debido a gases atrapados y su ubicación depende de la forma del molde (fig.14).

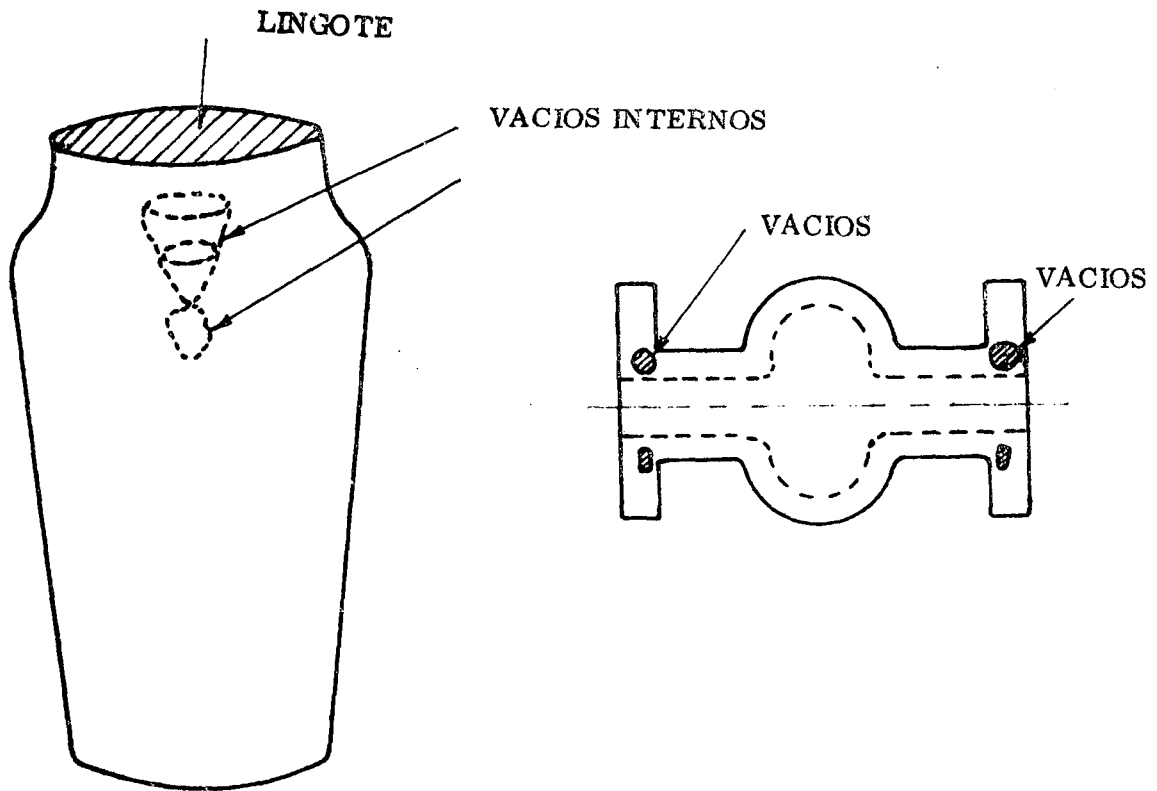


Figura 14 - Huecos internos en piezas fundidas

#### 4.4. Variaciones Metalúrgicas

##### - Estructura

Puede ocurrir durante alguna de las etapas de un tratamiento térmico que se produzca por ejemplo una concentración de tensiones residuales debido a un mal regulado de la velocidad de enfriamiento dando lugar a producirse una discontinuidad en la pieza que durante su servicio la pueda hacer llegar hasta la rotura.

##### - Segregaciones

La solidificación de una aleación lejos de hacerse a temperatura corriente se efectúa en un intervalo de temperatura a menudo constante en el que la composición de la fase sólida difiere de la líquida. Tratándose del depósito de una solución sólida, como en el caso de los aceros, se nota que los primeros cristales del esqueleto dendrítico que se separan del baño líquido son ricos en hierro y pobres en carbono y otros elementos (Si-P-S-Mn) etc., aumentando gradualmente sus dimensiones por la estratificación regular de nueva materia cristalina en torno al núcleo. Ahora bien como el C-Mn-S-P, etc., descienden el punto de solidificación de los aceros la composición del líquido madre es más rica en estos elementos que la de la fase sólida y, por lo tanto, los sucesivos estratos

contienen siempre mayor proporción de C-Si-Mn-S, etc.

Este fenómeno que provoca una acumulación de C e impurezas en las partes que solidifican en último término, o sea que provoca heterogeneidad de cristalinidad, se llama segregación.

La difusión tanto al estado sólido como al líquido debería hacer que cada cristal fuera homogéneo, y que al solidificar la última gota de líquido, cada cristal mixto tuviera en todas sus partes la misma composición que tenía originalmente el acero líquido.

#### - Inclusiones:

Desde el punto de vista de su origen se clasifican en endógenas y exógenas. Las primeras se forman por reacción química, y las exógenas por acción mecánica.

#### - Efecto de las inclusiones

Son varios los efectos producidos por las inclusiones sobre las distintas características de los aceros, para el caso a que nosotros nos ocupa podemos decir que toda estructura fibrosa da lugar a propiedades unidireccionales con lo que afecta grandemente las características del acero (generalmente producen un efecto nocivo).

Además de acuerdo al tamaño, cantidad y distribución de las inclusiones se reduce la tenacidad. Teniendo en cuenta el efecto de entalladura y su ubicación con respecto a las sollicitaciones favorece la Falla del material por sollicitaciones cíclicas.

#### 4.5. Discontinuidades que pueden constituir defectos en los principales procesos metalúrgicos

##### 4.5.1. Proceso de forja:

Las discontinuidades o plegados producidos durante el proceso generalmente son a causa de alguna protuberancia en el lingote primario cuando se lo somete a una deformación mecánica.

La baja temperatura de forja puede producir grietas debido a que el material no fluye debidamente.

La figura 15(a) muestra un lingote con protuberancias y la figura 15(b) el mismo lingote después de forjado.

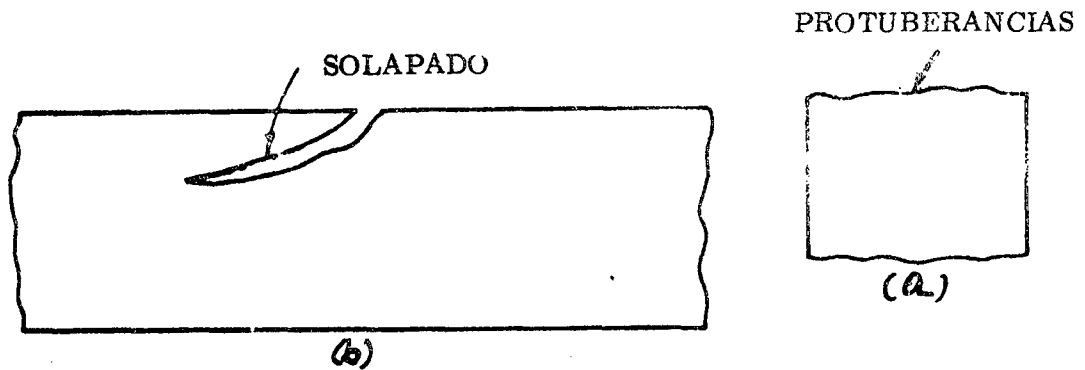


Figura 15 - a) Lingote con protuberancias  
b) Después de laminado o forjado, las protuberancias producen en general solapados.

#### 4.5.2. Proceso de soldadura

##### - Falta de fusión

Durante un proceso de soldadura el material de aporte debe fundirse conjuntamente con el metal base, si no existe un interno calentamiento entre los dos materiales habrá una interfase entre ambos, a este tipo de discontinuidad se la llama falta de fusión que mucho difiere de la falta de penetración. La figura 16 nos muestra una falta de fusión entre dos uniones soldadas.

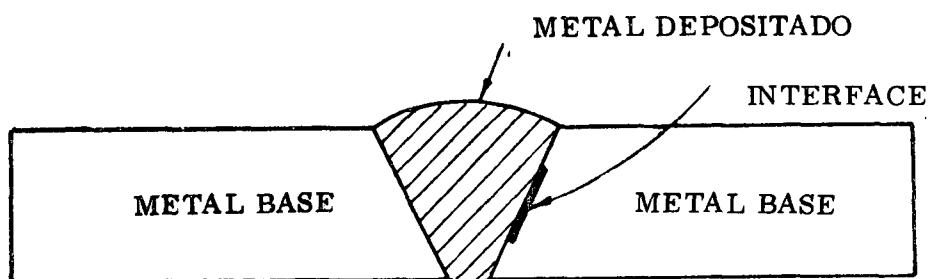


Figura 16

La falta de fusión o fusión incompleta puede presentarse también como interfase entre dos porciones del mismo cordón, es decir la interfase puede presentarse solamente en el material depositado como muestra la figura 17.

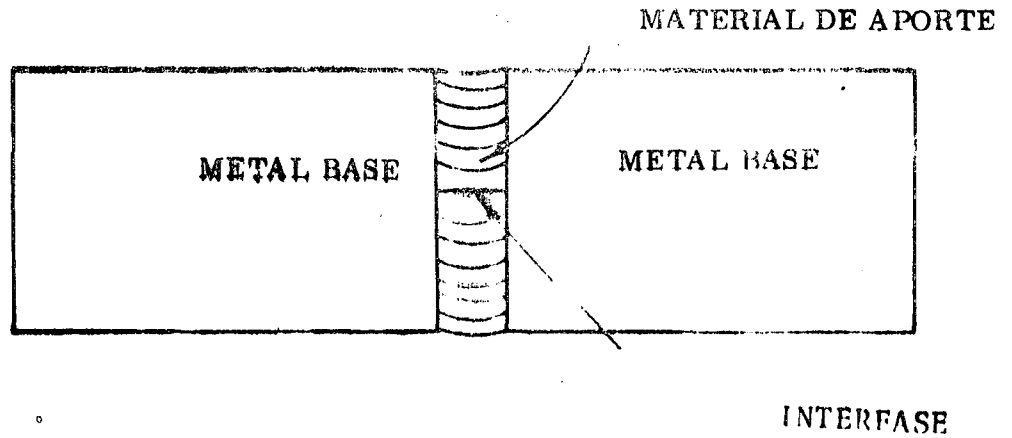


Figura 17 - Falta de fusión entre dos partes del mismo cordón de soldadura.

- Falta de penetración:

La falta de penetración es una discontinuidad que se presenta en las uniones soldadas motivada por ausencia de metal en las raíces de las mismas o por ausencia de metal en los centros de juntas soldadas. Son discontinuidades muy comunes cuando no se toman precauciones adecuadas. La figura 18 muestra este tipo de discontinuidades.

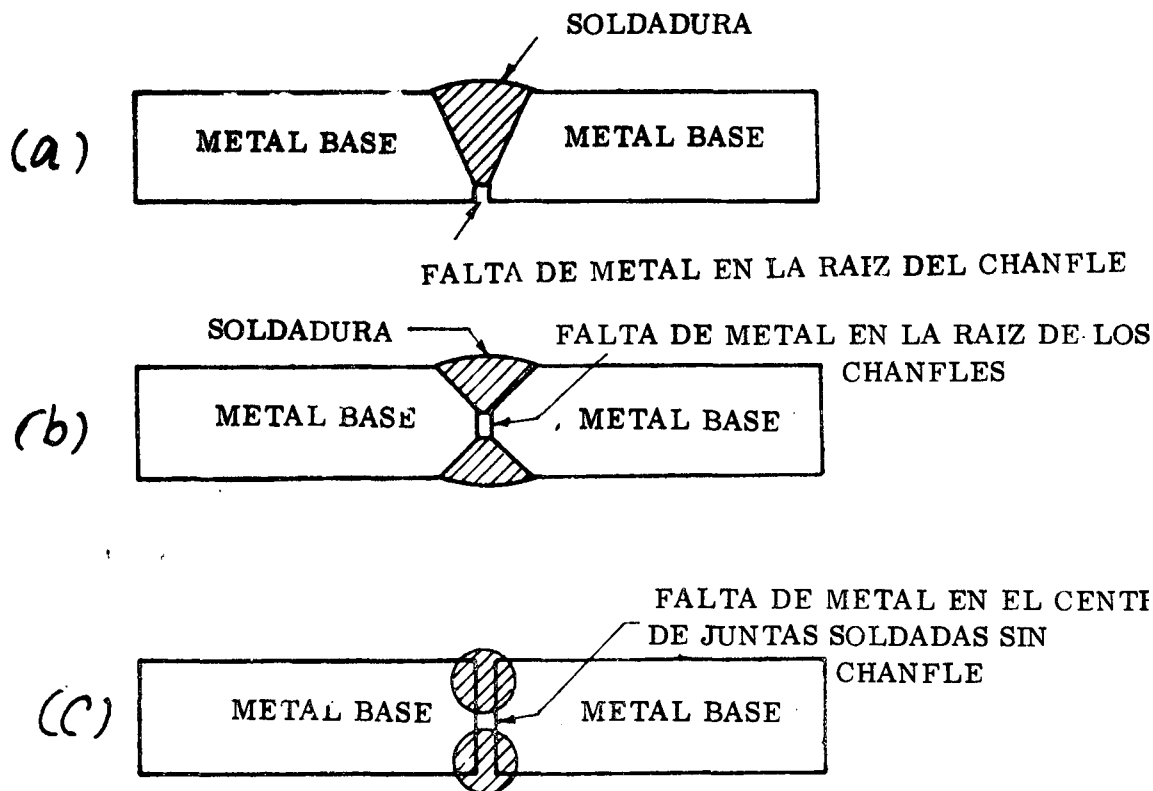


Figura 18 - Falta de penetración

- Falta de unión metálica

En las modernas técnicas de procesamiento, la Ingeniería Aero-náutica y la Ingeniería Nuclear, muchas veces son obligadas a construir piezas, componentes, etc., con la unión de dos metales en contacto íntimo.

En estos casos se acostumbra a llamar falta de ligazón o de contacto íntimo a una mínima separación de dos metales. En algunos tipos de elementos combustibles utilizados en reactores experimentales se busca una buena unión metalúrgica entre dos metales distintos mediante un proceso de colaminado

La figura 19 muestra una falta de unión entre dos materiales producida durante el proceso antes mencionado.

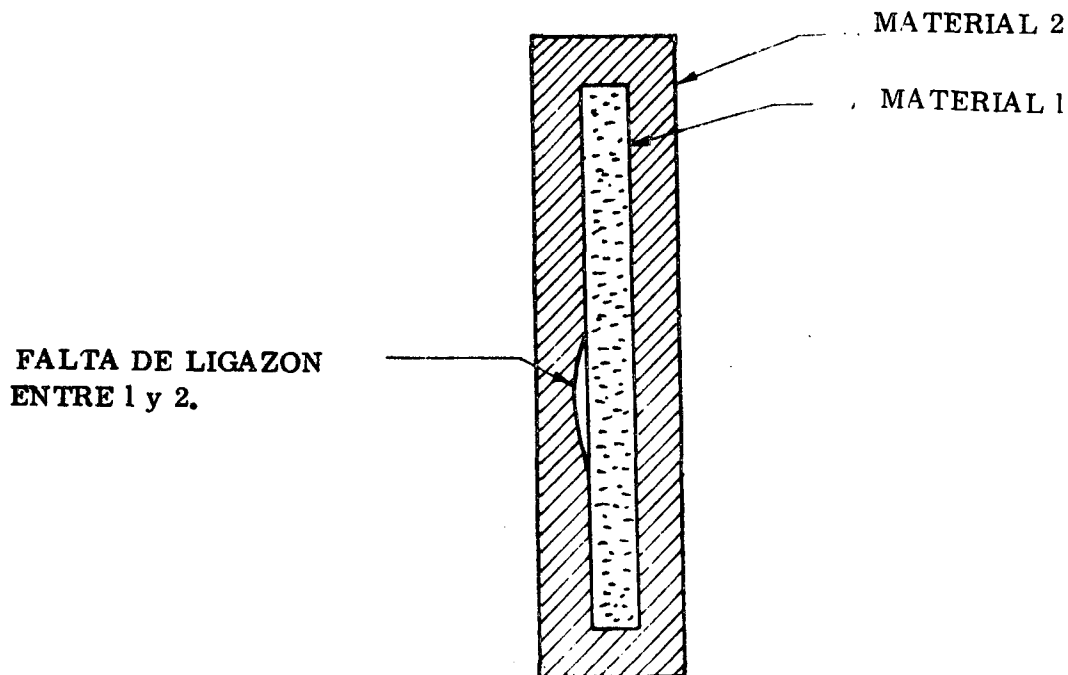


Figura 19

4.5.3. Proceso de Fundición

Cuando se está realizando la colada y esta se interrumpe se produce una superficie de separación del metal que está solidificando que de no volver a homogeneizarse en la solución puede ocasionar defectos internos.

Si las piezas fundidas tienen secciones grandes y secciones pequeñas hay contracciones desiguales y se pueden producir grietas.

Se producen también en la superficie de las piezas inclusiones gaseosas, debido generalmente a gases que provienen del molde.

La velocidad de enfriamiento es otro parámetro que de no ser bien controlado produce grietas especialmente si ha sido muy brusca y a que da do la pieza tensionada sin ser sometida a un tratamiento posterior de ablandamiento.

La figura 20 muestra una pieza de acero fundida con grán número de cavidades.

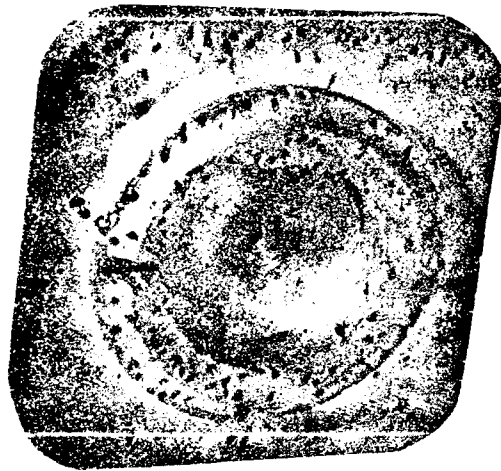


Figura 20

#### 4.5.4. Proceso de conformación de tubos - Laminación - Extrusión

En tubos soldados (tanto soldadura axial como helicoidal) pueden aparecer discontinuidades que pueden estar tanto dentro como fuera del tubo.

En el método paso de peregrino pueden aparecer decamaciones debido al roce del mandril.

En extrusión suelen aparecer porosidades, grietas o discontinuidades debido a la concentración de tensiones que produce la variabilidad que puede sufrir el enfriamiento del metal.

### 5. RUGOSIDAD. TERMINACION SUPERFICIAL

El acabado superficial y la planicidad de las piezas son en muchos casos factores de gran importancia puesto que tienen mucha influencia en fricción y en fatiga de materiales especialmente en metales. En muchos casos el rendimiento de una pieza o dispositivo depende mucho de su terminación superficial como por ejemplo: cojinetes de velocidad, arandelas de sello, dientes de engranajes, hélices, etc.

En algunos casos una superficie muy lisa o plana se comporta peor que una superficie rugosa. Es así como puede y algunos casos debe especificarse la rugosidad, de esta forma se pueden obtener resultados mucho más satisfactorios.

En una primera aproximación se puede juzgar la superficie, haciendo deslizar la uña sobre la misma o simplemente mirándola. En cualquier superficie el ojo humano sólo verá las partes que reflejen la luz incidente. Es decir que la apariencia de una superficie depende mucho de como incida la luz sobre la misma. Depende de la forma de las irregularidades y más precisamente del número de facetas que tiene el ángulo apropiado para reflejar la luz.

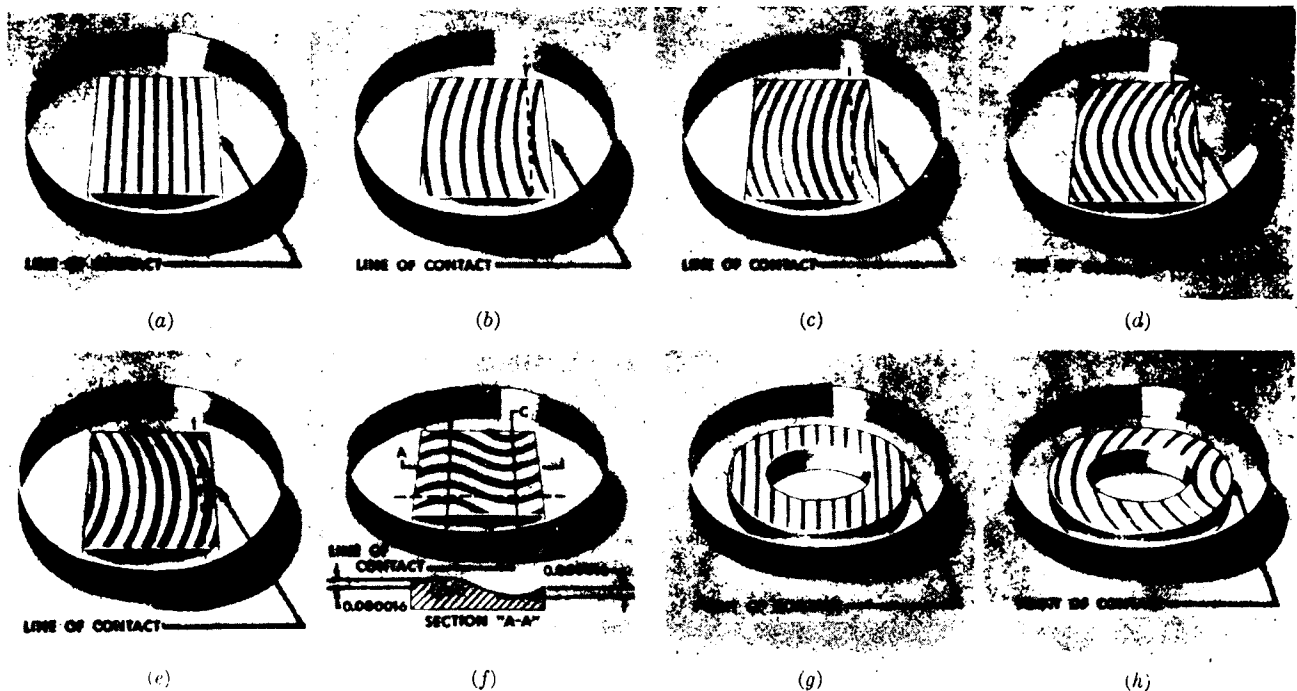


Figura 21

Patrones de Interferencia para especímenes rectangulares.

- a) Bandas rectas paralelas e igualmente espaciadas denotan que la superficie es perfectamente plana dentro de la millonésima de pulgada.

- b) Las bandas no tienen curvatura suficiente para que una línea tg intercepte una banda completa. La curvatura de las bandas es igual a la mitad de la distancia entre una banda y la siguiente o  $0.0000058''$  fuera de planicidad. La curvatura hacia afuera de la línea de contacto indica que la parte es convexa.
- c) La línea tg intercepta una banda completa mostrando que la parte está fuera de planicidad en el orden de una banda completa o  $0.0000116''$ . Nuevamente la curvatura se aleja de la línea de contacto lo que indica que la parte es convexa.
- d) La línea tg intercepta dos bandas lo cual muestra que la falta de planicidad equivale a dos bandas o  $0.0000232''$ .
- e) La curvatura de las líneas hacia la línea de contacto indican que la parte es convexa. La línea tg intercepta una banda completa, indica que la parte está fuera de planicidad en el orden de una banda o  $0.0000116''$ .
- f) Curva en S muestra que la muestra o parte tiene una cresta a lo largo de la línea B y un valle a lo largo de la línea C de  $0.0000116''$  de cada caso, mostrado en la sección AA

Este es un ejemplo simple de un mapa optotopográfico, efecto de una luz monocromática de una superficie ópticamente plana.

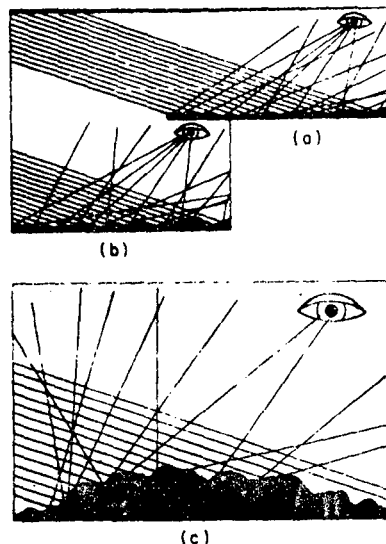


Figura 22 - Reflexiones de superficies rugosas. En maquinados, superficies vastas y/o terminadas solamente pocas facetas reflejan luz hacia el ojo a un mismo tiempo. Estas facetas son las únicas porciones de la superficie que son vistas, así la apariencia de la superficie depende del número y espaciado de esas facetas. En las dos superficies magnificadas que se muestran aquí, el número y espaciado de tales facetas es el mismo, de esta forma las su-

perfiles se ven como iguales, sin embargo difieren mucho en rugosidad. Las líneas indican rayos de luz. La superficie curva "C" tiene sustancialmente la misma rugosidad que la superficie plana B. Pero debido a su curvatura reflejan menos rayos de luz hacia el ojo. Esta superficie C se ve como menos rugosa que la superficie B.

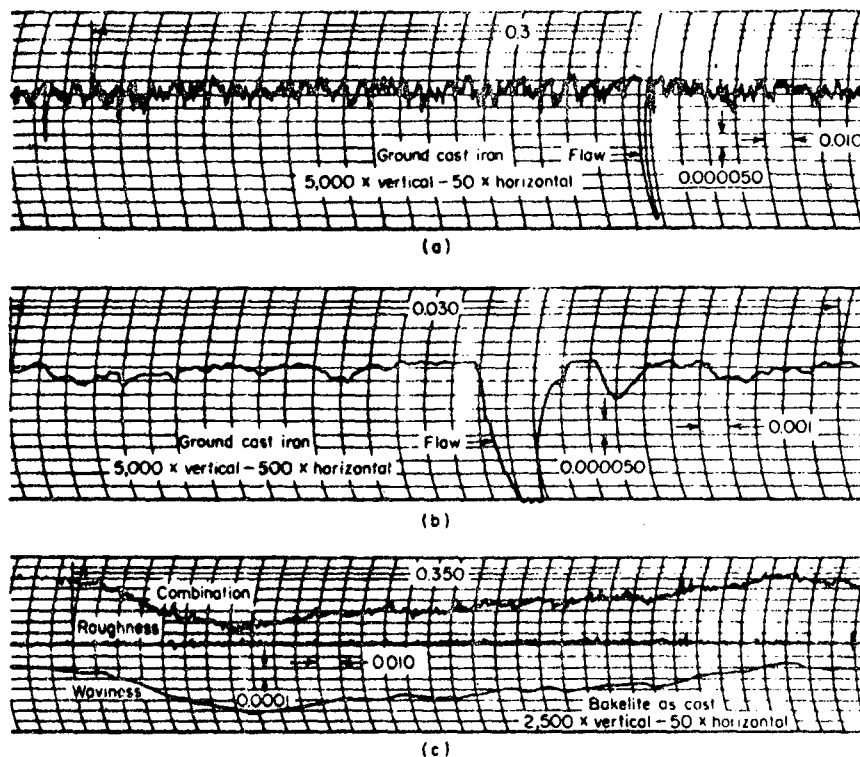


Figura 23 - Registros típicos de superficies

- a) Este registro de perfil muestra el perfil total de una fundición de Fe en tierra.
- b) Este registro muestra el mismo trazado pero con las ondulaciones eliminadas de manera de mostrar solamente las irregularidades de rugosidad.
- c) En este registro se muestra una misma superficie con la combinación de ondulación y rugosidad, rugosidad solamente y ondulación solamente.

## 6. FATIGA EN LOS METALES

Es importante señalar que la rotura de piezas metálicas en servicio, por fatiga es un problema muy grande en nuestra era tecnológica.

Cerca de un 90% de colapsos en piezas metálicas ocurre debido a este fenómeno.

Es bastante extenso lo que se podría decir sobre este tema, pero nosotros nos limitaremos en este apunte a describir como se reduce la resistencia de los metales a la fatiga por las discontinuidades que los mismos presentan.

En la mayoría de piezas metálicas que fallan en servicio por roturas provocadas por el fenómeno de fatiga, se puede observar perfectamente la existencia de un núcleo inicial o inicio de fisura coincidiendo sistemáticamente con la zona donde existen "concentración de tensiones" ya sea por motivos de proyecto, o por causa de discontinuidades. En órganos de máquinas por ejemplo, dada la necesidad de tener formato a veces complicado como entallas, aberturas para chavetas en ejes, orificios para lubricación, etc., es muy común que se encuentre un "núcleo inicial" coincidiendo con partes de estas discontinuidades.

Podemos clasificar las causas de rotura por fatiga de dos puntos de vista:

- Razones geométricas
- Razones metalúrgicas

Como razones geométricas podemos citar todas las causas que conducen a concentración de tensiones motivadas por el proyecto de la pieza (orificios, entallas, etc.).

Por razones metalúrgicas todas las causas que conducen a concentración de tensiones motivadas por discontinuidades superficiales en la masa de los metales (poros, rayaduras, escoria, etc.).

Es conveniente señalar también que los esfuerzos mecánicos que dan lugar a tensiones mecánicas cíclicas pueden producir colapso de piezas metálicas por el fenómeno de fatiga.

Indudablemente que el colapso de esas piezas tiene un origen como ya lo hemos señalado, origen que da lugar a "fisuras microscópicas" que no evolucionan cuando se trabaja a esfuerzos menores al admisible por dichas piezas.

Cuando se supera el esfuerzo a la tensión admisible fijada estas "fisuras microscópicas" se transforman en "fisuras de fatiga" que se propagan hasta la rotura de la pieza.

Actualmente en un microscopio electrónico, en el orden de 20.000 x (aumentos), sometiendo a las piezas a cargas cíclicas con un pequeño número

ro de ciclos se puede verificar la existencia de "fisuras microscópicas" en los metales.

Si las tensiones mecánicas fueran elevadas, estas "fisuras microscópicas" aparecen en las primeras decenas de ciclos de tensiones.

Podemos decir que el mecanismo de formación de "fisura de fatiga" puede ser asemejado a un mecanismo de "fluencia de los metales". La evolución de una fisura de fatiga puede ser explicada a través de la curva de la figura 24 trazada en función del área de la fisura y el número de ciclos.

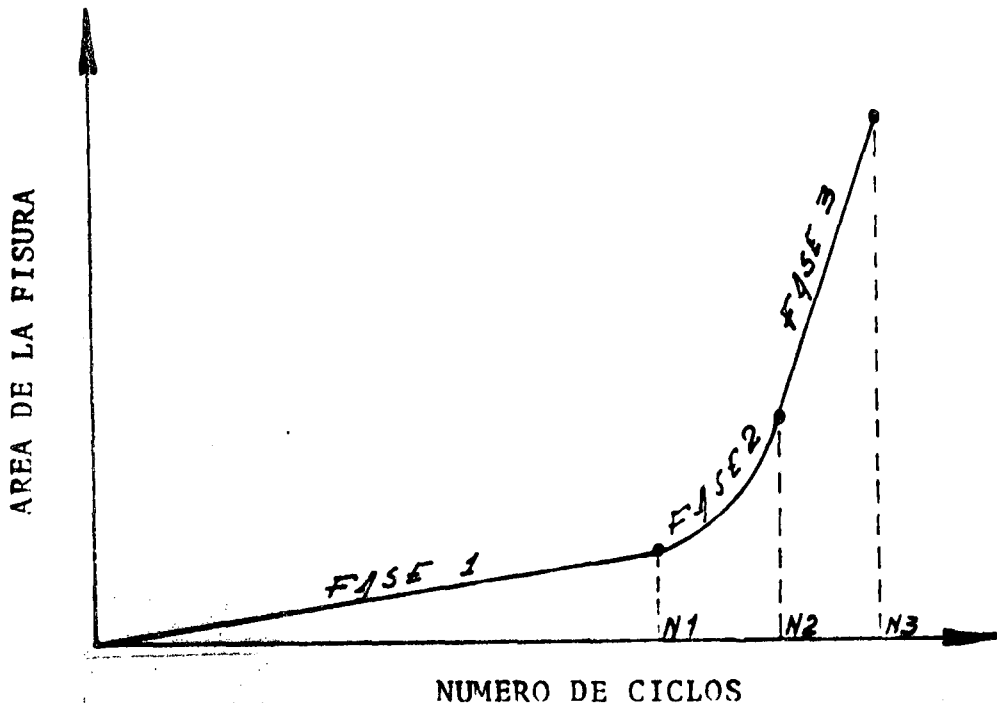


Figura 24 - Fases típicas de evolución de una fisura de fatiga. Solamente en la fase 3 es posible a través de END la detección de la misma.

La fase 1 muestra la formación de fisura submicroscópica para un determinado número de ciclos. La fase 2 para un mismo ciclo de tensiones representa una fisura microscópica que evoluciona a una velocidad mayor que la fase 1. La fase 3 tiene una velocidad de crecimiento de la fisura mayor que la fase 2.

No hay posibilidad de detectar fisuras por los métodos de END en las dos primeras fases.

Sólo en la fase 3 las técnicas de END permiten detectar fisuras de fatiga, en el inicio de dicha fase el área de la fisura es muy pequeña, en el final de la fase la fisura puede ser observada a simple vista o aplicando técnicas de END apropiadas en cada caso.

La figura 24 muestra también que el número de ciclos de la fase 3 es relativamente pequeño en comparación con el número de ciclos desde el inicio de la operación hasta el inicio de la fase 3.

La inspección de metales que tengan fisuras de fatiga deben ser realizadas en períodos de tiempo adecuados, especialmente en piezas de responsabilidad, un intervalo grande de inspecciones después de un gran número de ciclos es altamente no aconsejable como rutina de inspección.

## 7. ENSAYO VISUAL

Como se vió anteriormente casi toda la inspección se reduce en último grado a una observación visual, pero es necesario determinar los ámbitos del Ensayo visual.

Normalmente se entiende por Ensayo visual a la observación que puede hacer un individuo a ojo desnudo o con aditamentos ópticos que hagan mejorar el alcance y definición de su sentido de la vista.

El Ensayo visual es probablemente el END más usado. Es simple, fácil de aplicar y rápido para efectuar (en la mayoría de los casos) y normalmente de bajo costo (salvo cuando las condiciones son muy críticas) como puede presentarse en materiales activados o inmersos en fluido).

Por más que las piezas deban ser inspeccionadas usando otros métodos la inspección visual es sumamente importante. Así por ejemplo la inspección visual por un experto en ella puede dar una información muy valiosa: En una soldadura puede revelar defectos, orientación y posición de las grietas en distintas zonas, porosidad superficial, huecos no llenados y posiblemente la orientación de la interfase entre la zona de fusión de la soldadura y la unión con el metal base.

Otras observaciones pueden revelar penetración presencia o no de películas de óxidos, superficies potenciales de debilidad, como indentaciones agudas.

El examen visual de la soldadura puede ayudar para decidir el ángulo de incidencia de rayos X en una radiografía para ver grietas. El uso de la Inspección visual previo a otro ensayo puede decidir el éxito o fracaso del segundo.

En una inspección visual el instrumental requerido "generalmente" es de poco costo pero eso sí, deberá tenerse una iluminación muy buena. Que la iluminación sea buena no quiere decir en ningún momento que debe ser de mucha intensidad sino que para cada specimen y cada superficie debe ser la adecuada. Para especímenes opacos y oscuros conviene una

iluminación puntual y brillante. Por el contrario si el espécimen es brillante y claro conviene que la iluminación sea menos intensa y como condición casi siempre muy útil que sea difusa.

Hay que tener asimismo muy en cuenta el tiempo que se le permite a un observador o inspector visual trabajar sin interrupciones. Es bien sabido que cuando se produce cansancio en la vista ello puede conducir a errores de apreciación. De acuerdo a la iluminación que sea necesaria para el caso y cuando debe fijarse la vista así será el tiempo de trabajo del inspector. Deberán considerarse descansos periódicos durante la jornada de trabajo. Asimismo la experiencia que tenga una persona es un antecedente de mucho valor para que la inspección sea realmente eficaz.

Asimismo la superficie a ser analizada debe estar limpia, desengrasada y muchas veces es conveniente un arenado previo.

Dado que el elemento fundamental de la inspección visual es el ojo, lo más lógico es comenzar el estudio del mismo para poder luego comprender la ayuda que al mismo pueden prestar todos los instrumentos ópticos.

Es conveniente señalar entonces que un ensayo visual no da crédito para dar conclusiones sobre el estado interno de una pieza.

### 7.1. El Ojo Humano

Como elemento de registro el ojo es notablemente malo o falto de precisión. La visión es algo muy variable y depende para un mismo individuo del lugar de observación y para varios individuos varía también en forma subjetiva.

Todo esto se debe tanto a variaciones en el ojo del observador como así también en su sistema nervio óptico y cerebro. Hay que tener en cuenta que influye mucho la experiencia anterior del individuo. El ojo es realmente muy poco confiable cuando es necesario reconocer cambios de iluminación. El brillo relativo de dos fuentes luminosas puede ser juzgado solamente en forma aproximada y tal aproximación sólo puede hacerse cuando ambas fuentes tienen el mismo orden de brillo.

El ojo como sistema óptico se ve esquematizado en la figura 25. Su forma es aproximadamente esférica con unos 2,5 cm de diámetro. La parte frontal tiene una curvatura mayor y esta recubierto por una membrana transparente y resistente llamada córnea. Detrás de la misma existe un líquido llamado humor acuoso. Tras del humor acuoso se encuentra el "cristalino" que es un cuerpo más rígido en el centro y más blanco en la periferia. El cristalino es una lente convergente de distancia focal variable y es el principal responsable de la formación de la imagen sobre la retina.

Este cristalino está sujeto en su lugar por un tejido que lo une al músculo ciliar.

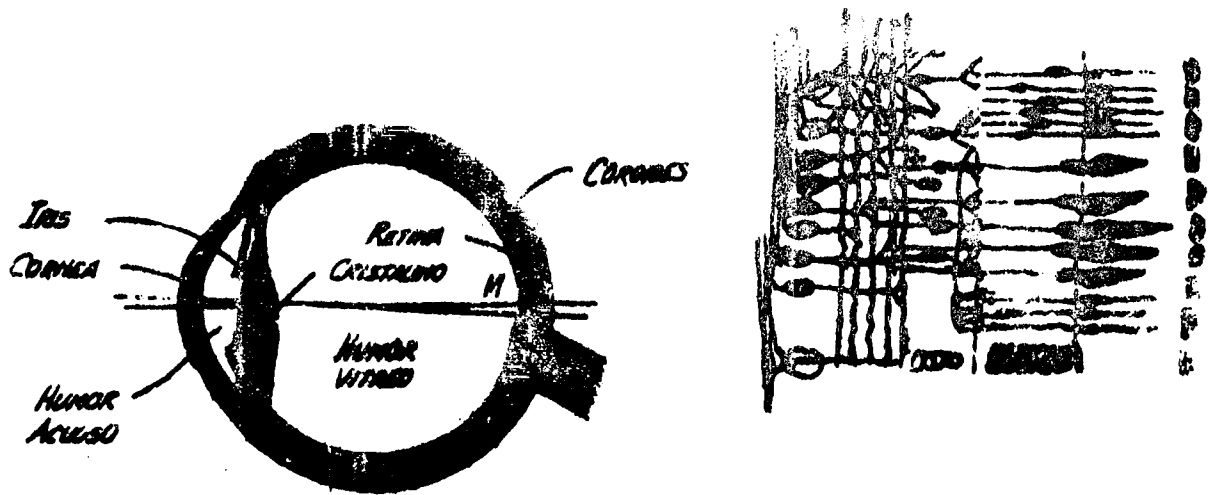


Figura 25

Detrás del cristalino se encuentra una gelatina cristalina llamada humor vítreo.

Los índices de refracción del humor acuoso y del humor vítreo son 1,336. El cristalino tiene un índice medio de 1,437.

Una parte interna del ojo especialmente en la parte diametralmente opuesta al iris, está recubierta por una película de fibras nerviosas llamada retina que mueve el nervio óptico con la parte fotosensible. Estas fibras nerviosas se denominan bastones y conos. Entre estos conos y bastones existe un líquido azulado llamado Púrpura visual.

En la retina existe una pequeña depresión llamada "mácula" o "mancha amarilla". En su centro hay una región de unos 0,25 mm de diámetro llamada "fóvea centralis" que posee la virtud de dar una zona de visión más clara y allí se centraliza la visión cuando se observa un cuadro o escena.

En el punto por el cual entra el nervio óptico al ojo no existen conos ni bastones y allí hay por ende una zona ciega que se denomina "punto ciego".

Delante del cristalino se encuentra el iris en cuyo centro está la pupila. La función de la pupila es regular la cantidad de luz que entra en el ojo.

El brillo o iluminación de la retina depende del diámetro de la pupila. El diámetro de la pupila varía entre 1 y 6 mm, es decir que el área de la pupila tiene una variación dada por un factor de 36. El diámetro de la pupila para una luz de 5500 Å es de 2,5 mm. La mínima separación angular para ver resueltos dos puntos objetos es aproximadamente de 1' de arco.

De esta forma el mínimo tamaño de defectos que puede verse depende de este ángulo y de la superficie que se observa del nivel de brillo y del contraste entre el espécimen y el fondo circundante. El brillo de la imagen en la retina es de mayor importancia que el brillo de la pieza a examinar.

Asimismo el ojo puede adaptarse a variaciones de luz entre 1 y 100.000 veces. No solamente regula la sensibilidad la pupila sino que también se adapta al nivel de iluminación toda la parte receptora sensible.

La sensibilidad del ojo varía con la longitud de onda de la luz incidente. El pico de sensibilidad como se ve en la figura 26, se encuentra en el color amarillo verdoso  $\sim 5500 \text{ \AA}$ .

Dado que el ojo humano da una visión satisfactoria en un amplio ámbito de condiciones no es apropiado para juzgar niveles de iluminación.

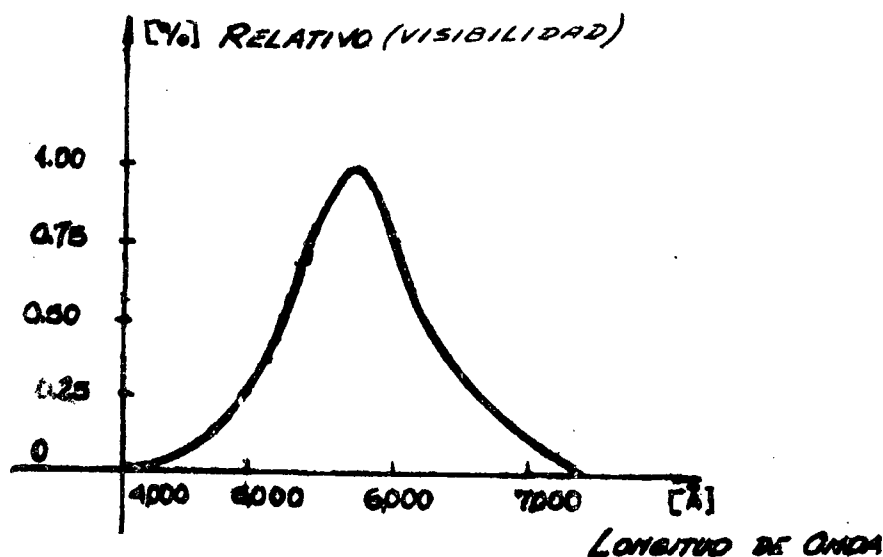


Figura 26

#### 7.1.1. El ojo como instrumento óptico

Si no se toma en cuenta el aspecto fisiológico del ojo sino que se lo considera desde el punto de vista de instrumento óptico, el ojo es una cámara oscura. En la parte frontal posee un orificio de entrada de luz delante del cual se encuentra una lente convergente "cristalino" que es la que forma la imagen sobre la parte posterior fotosensible llamada retina. Delante del cristalino se encuentra un diafragma

que limita la cantidad de luz y que se llama pupila.

El ángulo de aceptación del ojo  $\theta$  es de aproximadamente  $85^\circ$ ; es decir, que un objeto a  $42,5^\circ$  a cada lado del eje óptico forma imagen en la retina. El ángulo total de visión o aceptación de ambos ojos normales es entre  $160^\circ$  y  $170^\circ$ . La distancia focal del cristalino es de aproximadamente 20 a 22 mm, además variable para poder enfocar o sea dar imágenes nítidas desde unos 25 cm hasta el infinito.

Con estos datos podemos catalogar al ojo como instrumento óptico de la siguiente forma.

$$\text{Luminosidad} = \frac{\text{Distancia focal}}{\text{Apertura del diafragma}}$$

Para el caso de una apertura máxima de la pupila que es aproximadamente 6 mm se tiene

$$L = \frac{21}{6} = 3,5$$

Luminosidad :  $L = 1:3,5$

Distancia focal :  $f = 21$

Angulo aceptación:  $\theta = 85^\circ$

Hay que tener en cuenta que estas tres características del ojo son variables de acuerdo a: edad, intensidad luminosa, distancia del objeto y área de interés de visión.

Si el ojo tuviera todas sus dimensiones físicas rígidas podría enfocarse solamente a una distancia determinada, mientras que el ojo normal puede enfocar como ya se dijo desde 25 cm hasta infinito. Casi todo el proceso de enfoque está a cargo del cristalino quien al variar su distancia focal logra que las imágenes en la retina sean siempre nítidas. A este fenómeno se lo llama proceso de acomodación o capacidad de acomodación. Es de hacer notar que en los niños y en los jóvenes este proceso de acomodación se realiza en pocos centésimos de segundo, mientras que en las personas mayores demora varios décimos y en algunos casos llega al segundo.

De esto puede deducirse que si bien no es el instrumento óptico más perfecto es de cualidades sobresalientes y aún hoy en día aventaja en ciertos aspectos a los creados por el hombre.

## 7.2. Instrumentos auxiliares de la visión

En la inspección visual el ojo humano es auxiliado por una serie

de instrumentos ópticos que en ciertos tipos de inspección son indispensables.

Los instrumentos ópticos más usados para la inspección en END son los siguientes:

- Espejos y Prismas
- Lentes
- Microscopios
- Telescopios y Prismáticos
- Periscopios
- Endoscopios
- Circuitos cerrados de T.V.

Todos estos instrumentos desempeñan funciones importantes ya sea para compensar el cuidado del ojo humano, ya sea para permitir una inspección visual en lugares de difícil acceso, de piezas, conjunto, parte o componentes complejos.

Las lupas utilizadas por los inspectores de END permiten aumentos que van desde 1,5 x hasta 10 x.

Permiten observar (cuando las condiciones son favorables, discontinuidades hasta la centésima de mm, y son lentes en general biconvexas.

Las más importantes características de las lupas son:

1. Aumento
2. Distancia de trabajo
3. Campo
4. Corrección cromática
5. Visión mono o binocular

En general una lupa de gran aumento posee una pequeña distancia de trabajo o pequeño campo.

Cuando se desea examinar con detalle un objeto pequeño o un detalle pequeño en un objeto grande se acerca el mismo al ojo para que el ángulo y la imagen retenida sean lo más grande posible. El ojo no puede ver perfectamente un objeto situado a una distancia menor que el punto próximo que es  $\sim$  25 cm. Colocando una lente convergente delante del ojo se aumenta la acomodación dado que el objeto puede acercarse al ojo a una distancia menor que el punto próximo y en consecuencia tendrá un

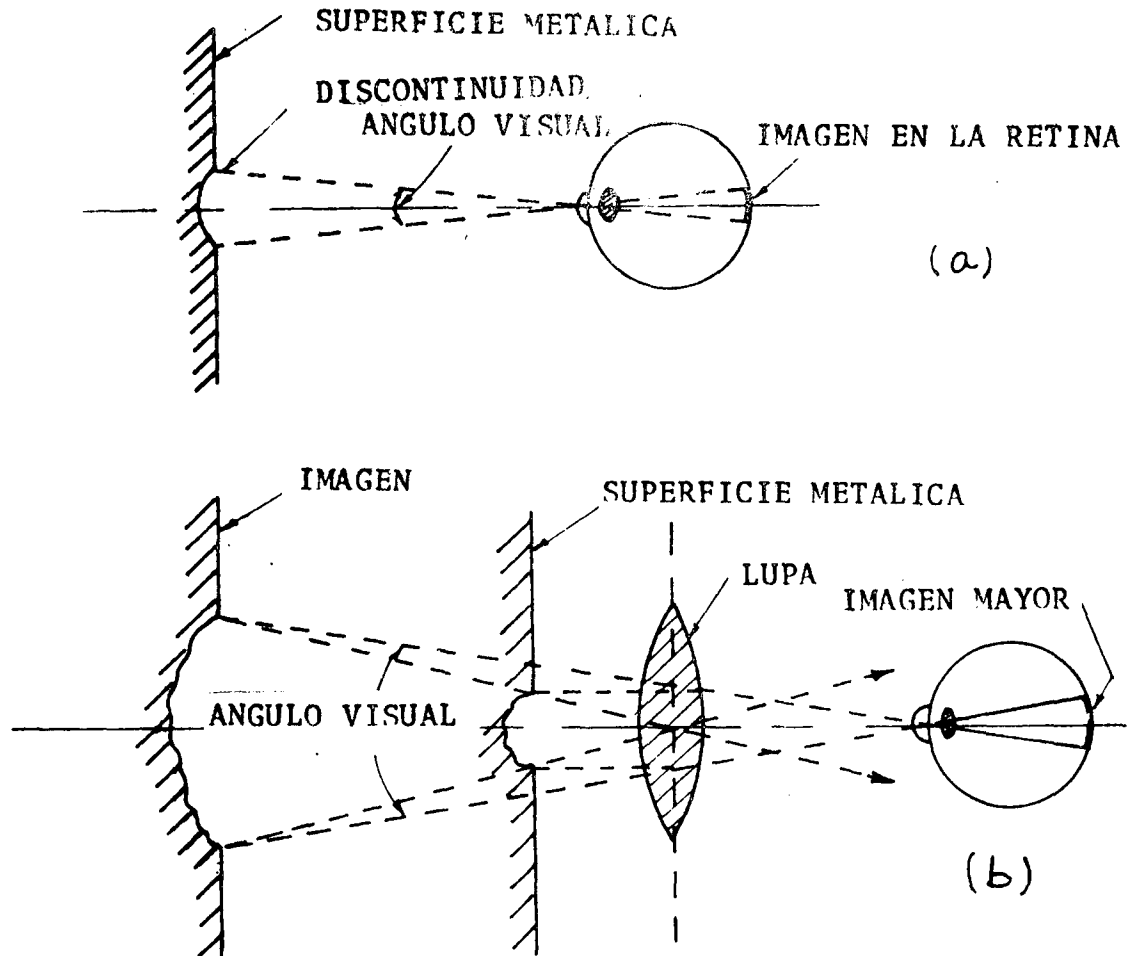


Figura 27 - Formación de imágenes de una discontinuidad en la superficie  
a) a ojo desnudo. b) con ayuda de una lupa.

ángulo mayor. Una lente usada así se denomina "lente de aumento", "Microscopio simple" o "lupa". La lupa forma una imagen virtual de ese objeto y ella es la que mira el ojo.

#### 7.2.1. Espejos:

Se usan normalmente cuando se desea ver en lugares inaccesibles o cuando es necesario intensificar la iluminación en lugares incómodos. Comúnmente se utilizan los espejos para hacer más cómoda la visión o para invertir imágenes dadas por otros dispositivos ópticos.

La condición fundamental para un buen espejo es su reflectividad y el hecho que sea bien plano, salvo para espejos que ya de por sí deben tener curvatura.

Normalmente el poder reflector de un espejo es de 0,75 y decrece cuan-

do el espejo envejece. Para casos especiales se utilizan recubrimientos especiales y además la placa de vidrio es de muy buena calidad y de un espesor mínimo compatible con las otras medidas, así se llega a aumentar el poder reflectivo a algo más de 0,90.

Cuando se usan varios espejos es conveniente tener presente que hay que usar un número tal que la imagen final no esté invertida en ningún sentido.

### 7.2.2. Lentes

Se considera que una lente es delgada cuando su espesor es despreciable respecto a su diámetro. En la realidad las lentes delgadas no existen pero a veces se aproximan mucho.

La distancia focal de una lente es la distancia entre el centro de la lente y cada foco.

Existen dos tipos fundamentales de lentes que son:

- Convergentes en los cuales por lo menos una cara es convexa.
- Divergentes en los cuales por lo menos una cara es cóncava.

Las lentes que son cóncavo convexas pueden ser convergentes o no dependen de las curvaturas de los casos.

Las reglas fundamentales para la construcción de imágenes en las lentes es que:

Todo rayo que incide paralelo al eje óptico sale pasando por el foco de la lente.

Todo rayo que incide pasando por el foco sale paralelo al eje óptico.

Todo rayo que pasa por el centro óptico de la lente no se desvía.

En la realidad puede considerarse para fines prácticos una lente como delgada cuando su relación espesor y diámetro no supera 0,08.

Hasta una relación de 0,2 puede trabajarse con algunos errores y con relaciones mayores ya es necesario considerar lentes gruesas y hacer un estudio distinto.

### 7.2.3. Prismas

Otro elemento utilizado como ayuda óptica de la visión son los prismas.

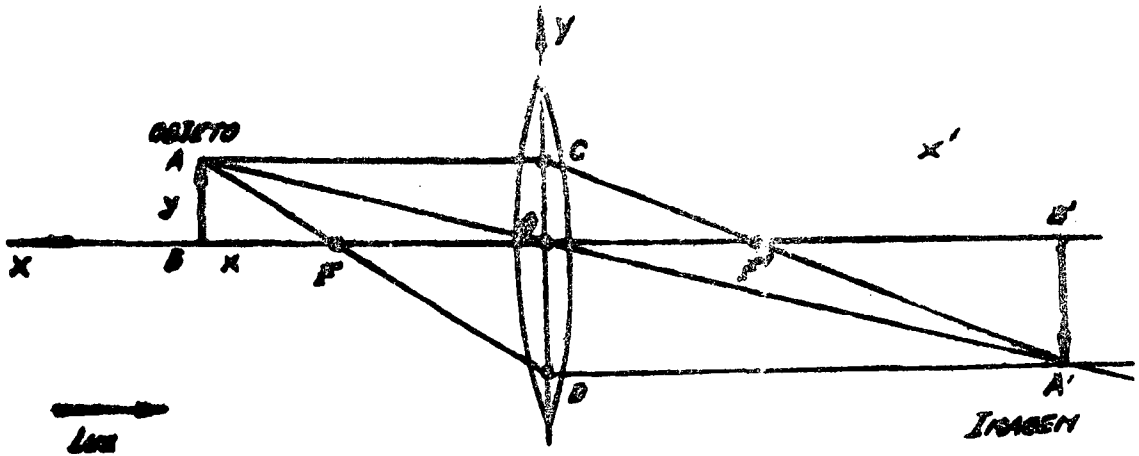
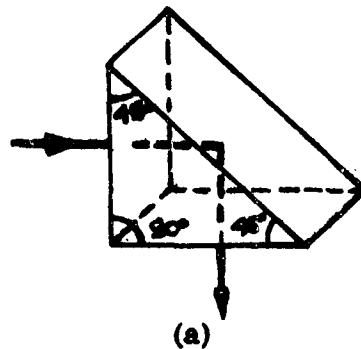


Figura 28 - El objeto es el punto A y su imagen el punto A'

El comportamiento físico de los mismos responde a la ley de Snell que dice que el  $\angle$  de incidencia es igual al  $\angle$  de refracción multiplicado por el índice de refracción de las sustancias que se estudian.

Los más utilizados en instrumentos de óptica son los prismas de reflexión total cuyas ventajas sobre las superficies metálicas usadas como reflectores son: 1) que la luz es reflejada totalmente (figura 29),



Prisma de reflexión total

Figura 29

mientras que ninguna superficie metálica refleja el 100% de la luz incidente. Las propiedades reflectantes son permanentes y no se alteran por deslustrado de las superficies.

Como contrapartida tiene que siempre hay algo de pérdidas por reflexiones en las superficies por las cuales entra y sale la luz, aunque recientemente se descubrieron procedimientos para recubrir esas superficies con películas antireflectantes.

#### 7.2.4. Microscopios

Cuando es necesario tener una imagen mayor de un objeto o defecto muy pequeño se recurre al microscopio que esencialmente se compone de tres partes principales: Sistema objetivo - ocular e iluminación.

La magnitud y elección de los detalles depende en gran manera de la corrección óptica de objetivo y ocular y la práctica que se tenga en el manejo del microscopio, pero es muy importante estar familiarizado con los sistemas ópticos.

El objetivo está compuesto de varios lentes que forman un sistema óptico positivo y convergente. Si colocamos un objeto iluminado un poco más allá del punto focal frontal del objetivo se obtiene una imagen primaria mayor que el objeto y situada al otro lado del sistema de lentes que componen dicho objetivo. El tamaño de esta imagen depende de las distancias a que se encuentran del objetivo el objeto y su imagen. Si la imagen primaria producida por el objetivo se forma a una distancia adecuada, el segundo sistema óptico (ocular) amplificará esa imagen proporcionalmente a su aumento. El objetivo nos dará una imagen real del objeto, para algunos oculares como los de Huygens colaborarán en la formación de esa imagen. La lente frontal del ocular (lente de campo) junto con el objetivo forma una imagen primaria dentro de la distancia focal de la lente. Si es correcta la posición de esta imagen, la lente ocular con el sistema de lentes del ojo humano producen una imagen real en la retina (imagen derecha), pero el sistema nervioso hace que el observador vea esta imagen a cierta distancia del espacio exterior (250 mm) y en forma invertida, tal imagen no existe en realidad y se denomina imagen virtual.

#### OBJETIVOS MICROSCOPICOS

Pueden dividirse en cuatro grupos generales que son: Los Acromáticos - Semiapocromáticos - Apocromáticos y Monocromáticos; estos últimos se emplean con luz ultravioleta. Los tres primeros se distinguen por el grado en que se encuentran corregidas sus aberraciones.

#### Aberración cromática

El índice de refracción de los medios, tales como los vidrios ópticos, es tanto mayor cuanto más corta es la longitud de onda de la luz visible que los atraviesa. La imagen violeta se produce más cerca de la cara de salida de la lente que la imagen roja.

Tal lente no permite el enfoque nítido como consecuencia de la dispersión de la luz blanca que la atraviesa. La imagen formada aparecerá rodeada de halos coloreados, tal defecto se denomina aberración cromática.

### Aberración esférica:

La luz que pasa más próxima a los bordes de la lente se refracta más intensamente que la que pasa más próxima al centro óptico, por consiguiente, los rayos marginales originan una imagen que se forma más cerca de la cara de salida que la que forman los rayos más centrales.

Los objetivos de mayor corrección de errores son los apocromáticos, además son de mayor calidad, mayor apertura numérica y aumento propio y menor distancia focal. Están compuestos de mayor número de lentes que los acromáticos de allí su mayor corrección.

Cromáticamente están corregidos para tres regiones del espectro (rojo, verde y violeta) y esféricamente para dos: verde y violeta.

### PROPIEDADES DE LOS OBJETIVOS

#### 1. Aumentos

Es la capacidad para dar una imagen, un número determinado de veces mayor que el objeto. Este aumento suele ir grabado en el montaje. El sistema óptico del microscopio se completa con el ocular. El aumento total dado por la combinación del objetivo y ocular depende de los aumentos propios de cada uno de estos y de la distancia que los separa en el microscopio.

El aumento total logrado (cuando se emplea la longitud de tubo previsto) es igual al producto de los aumentos propios del objetivo y ocular, por ejemplo: objetivo 100 aumentos, ocular 10 aumentos, el aumento total es 1.000.

En fotomicrografía o cuando se proyecta la imagen formada por el ocular el aumento total depende, además, de la distancia que existe desde la lente de salida (lente ocular) del ocular hasta la pantalla (distancia de proyección):

$$M = \frac{D M_1 M_2}{250}$$

M : Aumento total

M<sub>1</sub> : Aumento objetivo

M<sub>2</sub> : Aumento ocular

D : Distancia de proyección

El factor 250 de la ecuación se refiere a la distancia en milímetros para la cual están calculadas ocular y objetivo.

### Apertura numérica

Es la que define los detalles más pequeños de un objeto. La resolución de los detalles finos depende esencialmente de la cantidad de luz que penetra en el objetivo y será esta cantidad mayor cuanto mayor sea la amplitud angular del cono citado.

Esta cantidad de luz depende además del índice de refracción del medio que separa el objetivo del objeto y a través del cual pasan los rayos que formarán la imagen.

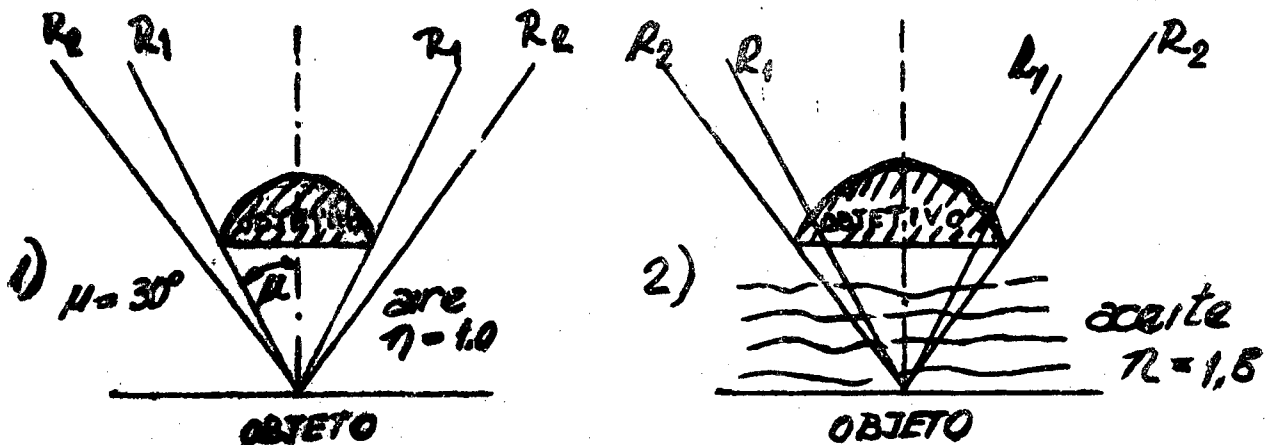


Figura 30

Si el medio que separa el objetivo del objeto en vez de ser aire es aceite de cedro, que tiene un índice de refracción mayor que el aire, el cono de luz formado por los rayos R penetra en el objetivo, tendremos mayor cantidad de luz que ayudará a formar la imagen.

La apertura numérica NA se puede expresar como el producto del índice de refracción  $n$  del medio y el seno de la mitad de la amplitud angular del cono en cuestión.

$$N.A. = n \cdot \text{Sen} \mu$$

$$1) N.A. = 1 \cdot \text{Sen } 30^\circ = 1,00 \cdot 0,5 = 0,5$$

$$2) N.A. = 1,5 \text{ Sen } 30^\circ = 1,50 \cdot 0,5 = 0,75$$

### 2. Poder resolvente

Es la capacidad de un objetivo para producir imágenes separadas y distintas de dos detalles del objeto muy próximo (finura del detalle) y depende de la apertura numérica y de la longitud de onda de la luz empleada en la iluminación.

Cuando la iluminación se realiza con un haz muy estrecho de rayos centrales el poder resolvente se expresa por:

1)  $d = \frac{\lambda}{N.A.}$  (en unidades de longitud de onda) cuando la luz es pro  
ducida por un haz ancho o estrecho y obtiene el poder  
resolvente alcanza un máximo:

2)  $d = \frac{\lambda}{2 N.A.}$

Ejemplo:

Si tenemos un objetivo de N.A. = 1, luz verde ( $\lambda = 0,00053$  mm)  
 $d = 0,000265$  mm., es decir que ese objetivo, en esas condiciones, pue-  
de dar imágenes distintas de dos detalles del objeto cuya distancia  
sea, como mínimo,  $0,000265$  mm.

El ojo humano normal, resuelve detalles separados más de  $0,11$  a  $250$  mm  
de distancia, necesitamos que la imagen virtual sea de tal magnitud  
que los  $0,000265$  mm. que separan los detalles del objeto correspondan  
en ella a  $0,11$  mm. Necesitaremos un aumento total de  $0,11/0,000265 =$   
 $400$  aumentos.

### 3. Profundidad de foco

Es la capacidad de un objetivo para dar imágenes nítidamente enfo-  
cadas cuando la superficie del objeto no es completamente plana, es in  
versamente proporcional a la apertura numérica y a los aumentos pro-  
pios del objetivo.

### 4. Curvatura del campo

Los objetivos producen una imagen, más o menos curvada, lo que da  
lugar a que la nitidez lograda por un buen enfoque del centro del cam-  
po visual se pierda al curvarse a los bordes. La curvatura de campo  
varía con la apertura y es más notable con los apocromáticos y de gran  
apertura numérica.

## OCULARES MICROSCOPICOS

El ocular es un sistema de lentes cuya finalidad es aumentar la imagen  
primaria produciéndola por el objetivo y haciéndola visible como ima-  
gen virtual o proyectarla como real, como sucede en fotomicrografía,  
en ciertos casos también corrigen aberraciones de los objetivos.

Pueden dividirse en tres grupos:

### 1. Tipos Negativos

Se componen en su forma más sencilla de dos lentes no acromáticos y plano convexas, montadas en un tubo y con sus lados convexos en la dirección del objetivo. Entre las dos lentes existe un diafragma situado exactamente a la distancia focal de la lente ocular. El término negativo es para indicar su comportamiento diferente al positivo, y la circunstancia de que el punto focal equivalente de la combinación formada por la lente ocular y la lente de campo quede entre las dos lentes citadas.

### 2. Tipos Positivos

Constan de varios lentes sencillos, calculados y combinados. El primer foco principal del sistema se halla delante de la lente de campo y por ello puede funcionar como una lupa. Generalmente están formados por dos lentes planos convexas colocados sobre la montura del ocular de tal forma que sus caras convexas queden frente a frente. Para definir y limitar el campo de visión existe un diafragma situado delante de la lente de campo, en el plano focal equivalente del sistema.

### 3. Tipos Fotográficos

Se utilizan en foto-micrografía o para proyección a distancia relativamente corta. La pupila de salida de estos sistemas queda entre sus lentes y el objetivo (por ello no se les puede utilizar para el examen visual, ni como lupa).

## SISTEMA DE ILUMINACION

Un foco luminoso emite un rayo que en general es "colimado" o rectificado por una lente que transforma el rayo en una serie de rayos paralelos que inciden en un iluminador vertical que los envía sobre la probeta. El sistema de iluminación debe ser potente ya que son numerosas las pérdidas (cristal, aire, etc.) para tal fin se utiliza el arco voltaico o lámparas de filamento puntiforme. El primero a pesar de ser más potente presenta problemas en la fotografía por no mantener constancia en la intensidad luminosa, las segundas tienen menor potencia pero mayor uniformidad.

## FILTROS DE LUZ

El objeto de los filtros es absorber toda la luz visible, menos una banda estrecha de longitudes de ondas. Una elección adecuada del filtro constituye al logro de imágenes de mayor contraste. Estos filtros suelen ser placas de vidrio o gelatina cementada, entre placas de vidrio. El filtro más usado es el de vidrio.

## DIAFRAGMAS

Los diafragmas, tipo Iris, son utilizados para regular la cantidad y salidas de luz que llega al iluminador para ser proyectada sobre el objetivo.

### DIAFRAGMA DE APERTURA

La posición en que se encuentra este diafragma varía con la disposición general del sistema óptico, pero su imagen se proyecta siempre en el plano focal posterior del objetivo, por consiguiente, basta cerrarlo o abrirlo para regular el haz luminoso y evitar las pérdidas por reflexión interna. Una apertura óptima del diafragma permitirá una buena resolución y un mínimo de pérdida de contraste.

### DIAFRAGMA DE CAMPO

Al igual que el anterior puede estar ubicado en un lugar variable, entre la lente colimadora y el iluminador vertical, pero su imagen se proyecta sobre el plano de la superficie de la probeta y su borde es visible en el campo imagen, es debido a esto, su apertura o cierre, no tiene efecto sobre la resolución, al cerrar el diafragma de campo disminuye el campo visible, pero se mejora notablemente el contraste.

## ILUMINADOR

Puede ser:

- a) Un vidrio plano
- b) Un prisma de reflexión total

El segundo tiene el inconveniente de que, el prisma respecto al eje óptico, tiene que ser desplazado, ya que en otro caso no permite el retorno de los rayos de la probeta al ojo del observador. Siempre refiriéndonos al segundo tipo diremos que tiene pocas pérdidas pero permite pocos aumentos (lo contrario sucede con el vidrio plano). El rayo que produce el prisma es más oblicuo y permite mayor contraste lo cual es una ventaja.

## LA ILUMINACION

Puede ser:

- a) A campo claro
- b) A campo oscuro

En la primera permanece claro el campo y oscuro los detalles. El rayo de luz que no encuentra irregularidades sobre la superficie de la probeta será visto por el ojo (aparece claro a la vista), en cambio el rayo de luz que encuentra una irregularidad no pasará por la lente y la irregularidad aparecerá oscura a la vista.

En la segunda se ven claros los detalles y el campo oscuro, este sistema lleva un filtro que sólo permite pasar un haz de rayos correspondientes a un anillo circular para evitar que los rayos que inciden sobre el iluminador no pasen por el objetivo. Estos rayos inciden sobre la probeta con un gran ángulo debido al paraboloide y a su disposición y no pasan, a su regreso, por el objetivo (permaneciendo oscuro a la vista esa porción de superficie. Si encuentra un detalle el ángulo de reflexión puede ser tal que haga pasar el rayo por el objetivo (razón por la cual aparece claro el ojo del observador).

#### 7.2.5. Telescopio o anteojo de distancia y Prismáticos

En el telescopio generalmente se observan objetos grandes a grandes distancias del observador. No solamente ni siempre, se lo utiliza para observaciones astronómicas. Modernamente se lo utiliza en muchas aplicaciones, y mucho para realizar observaciones detalladas de objetos que no están al alcance de la mano ya sea por su distancia, porque se encuentran en lugares inaccesibles o porque están irradiados.

A diferencia del microscopio este anteojo se compone de un "objetivo" de gran distancia focal y de un "ocular" de pequeña distancia focal. En este tipo de anteojos se define el aumento como

$$M = - \frac{f_1}{f_2}$$

Siendo  $f_1$  la distancia focal del objetivo y  $f_2$  la distancia focal del ocular. El signo (-) indica que la imagen está invertida. En anteojos de este tipo para uso terrestre es deseable que la imagen sea derecha y para ello se intercalan pares de lentes que invierten la imagen.

Normalmente este tipo de anteojo es de un solo tubo por ende debe mirarse con un solo ojo.

#### Binocular o Prismático

Para obviar el problema del uso del telescopio dado que este está compuesto por un tubo muy largo y que además tiene un campo de visual muy restringido, se inventaron los binoculares o prismáticos.

En este tipo de anteojo se logra acortar la longitud del tubo usando

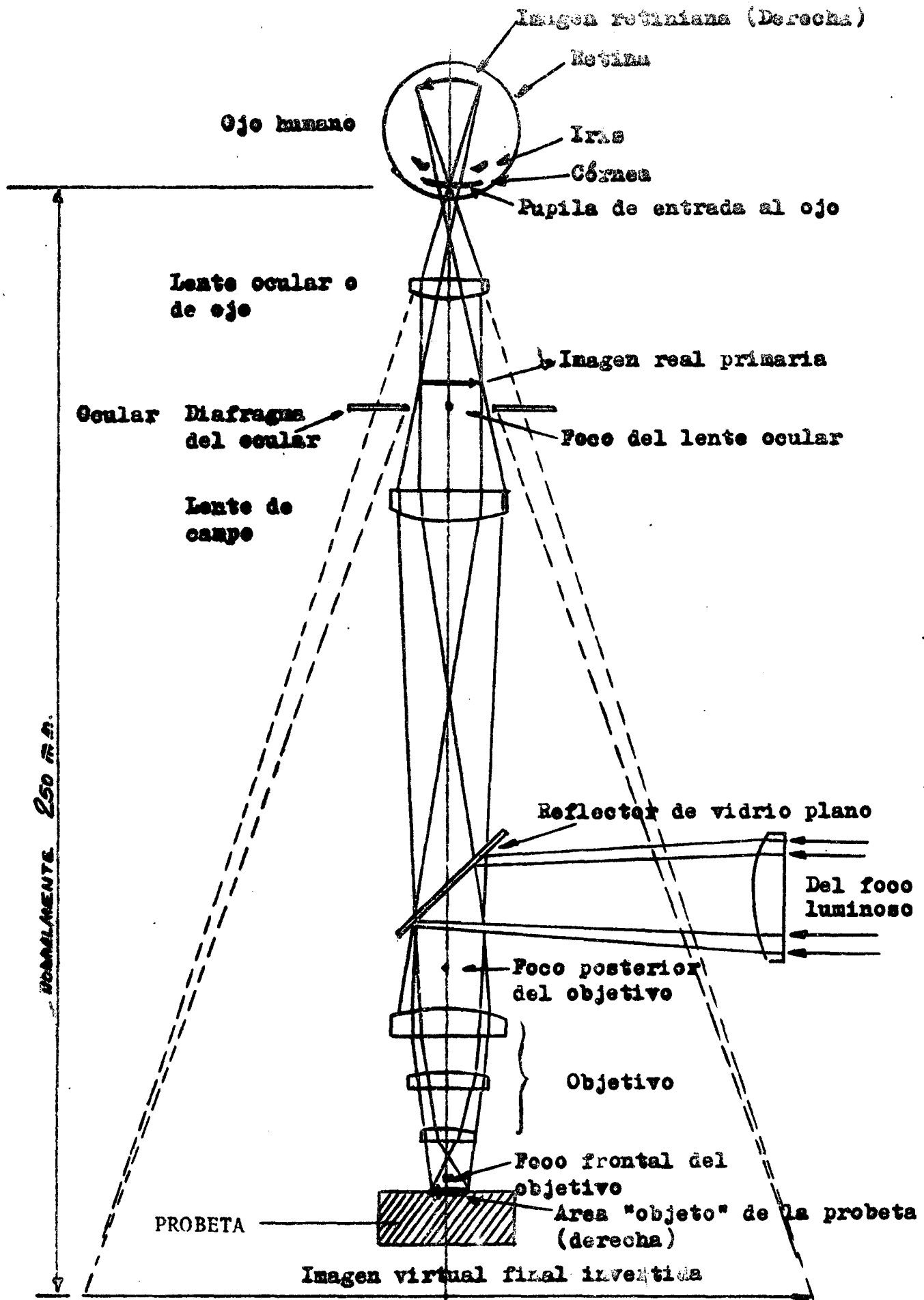
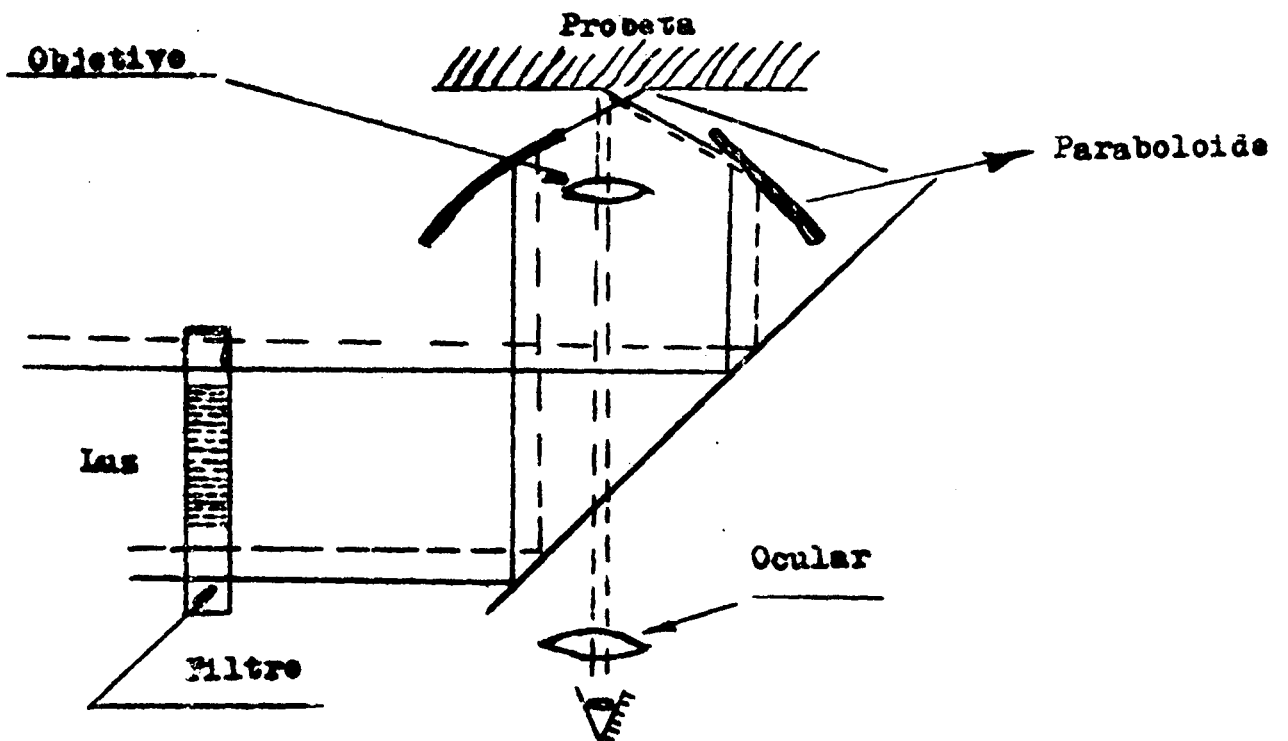
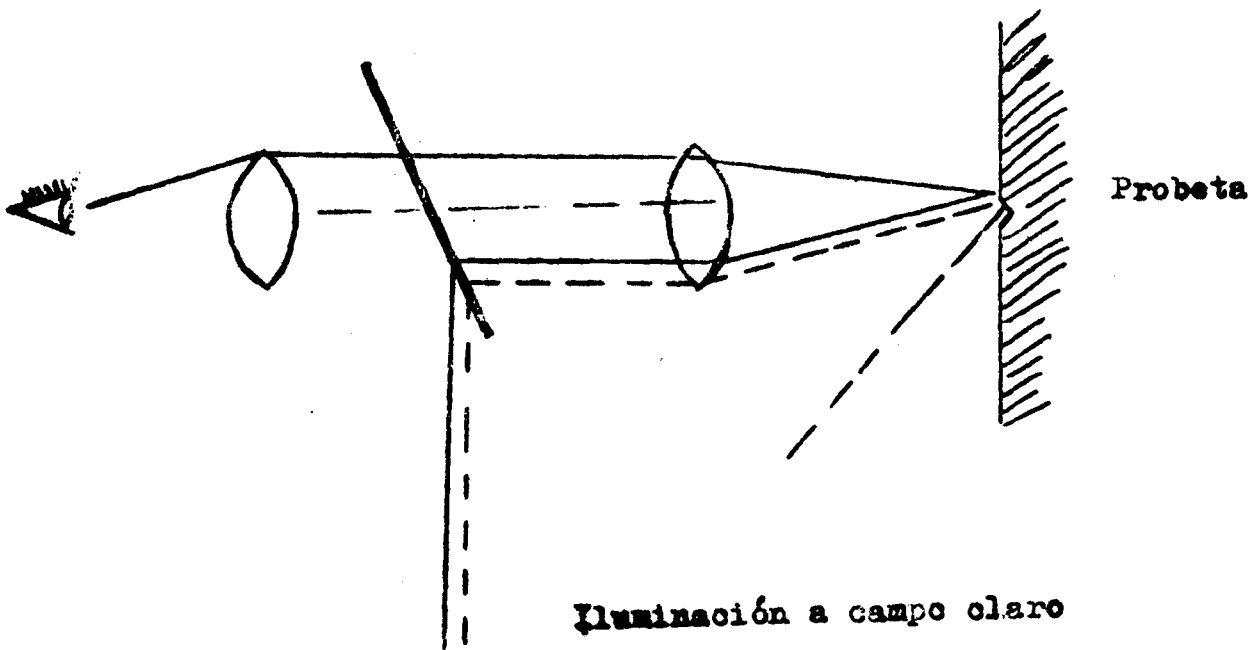
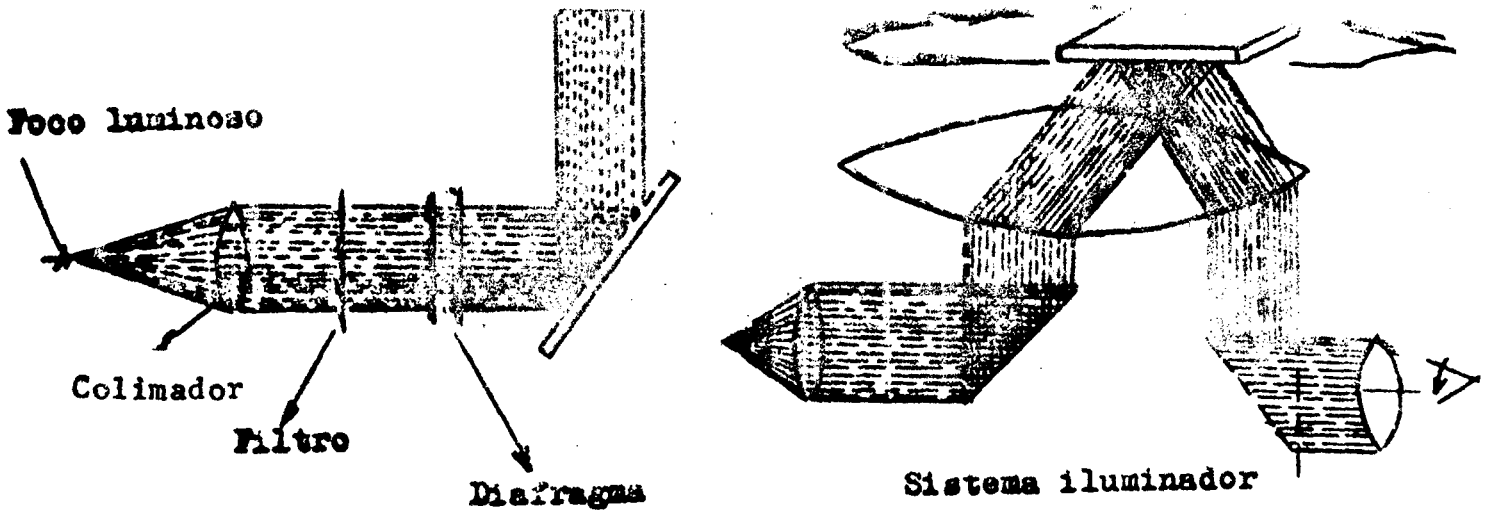


Figura 31



Iluminación a campo oscuro

dos juegos de prismas. Además se utilizan dos tubos de manera tal que cada ojo mira por uno y el campo que abarca es mucho mayor. El juego de prismas que hay dentro del tubo además de acortar considerablemente el tubo dá una imagen final derecha.

Este tipo de anteojos se utilizan también en inspección de elementos que se encuentran a distancias inaccesibles o que se hayan activado. Para estos casos estos anteojos tienen un ajuste fino de foco y un sistema de retículo para poder estimar dimensiones. Además tienen todo un sistema de sujeción pues normalmente no se los sostiene con la mano. Generalmente tienen la posibilidad de acoplar una cámara fotográfica para tener de esa forma un registro fotográfico.

En caso de usar este tipo de prismáticos para conocer tanto aumento como distancia siempre es aconsejable consultar el manual de instrucciones.

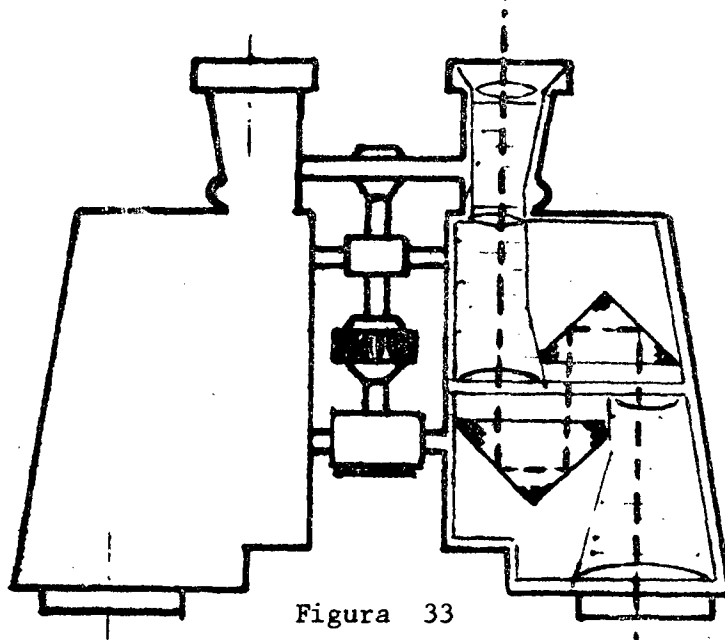


Figura 33

#### 7.2.6. Periscopio

Se denomina así a casi todo sistema óptico que permite ver objetos, para los cuales es necesario que el camino óptico sea quebrado en ángulos de aproximadamente  $90^\circ$ . En los trabajos científicos y tecnológicos también se usan estos tipos de instrumentos ópticos. Así en equipos de mucha altura se utilizan sistemas periscopios para controlar la posición de ciertas piezas o controles que son movidos desde otro lugar. Posiblemente en la ciencia y tecnología que mayor aplicación tienen sea en la referente a elementos radiactivos. En este campo de la tecnología es necesario trabajar a través de paredes de blindaje normalmente de gran espesor. Debido a que las radiaciones emitidas por los elementos que se encuentran activados tienen trayectorias rectilíneas es sumamente peligroso usar instrumentos ópticos en los cuales el camino óptico es recto pues el mismo camino harían las radiaciones.

nes y de esa forma perjudican al observador. Es así como se usan en estos casos los "periscopios".

El sistema periscopio más simple es el mostrado en la figura 34 en el cual se usan 2 espejos a  $45^\circ$  con la vertical y fijos. Normalmente el

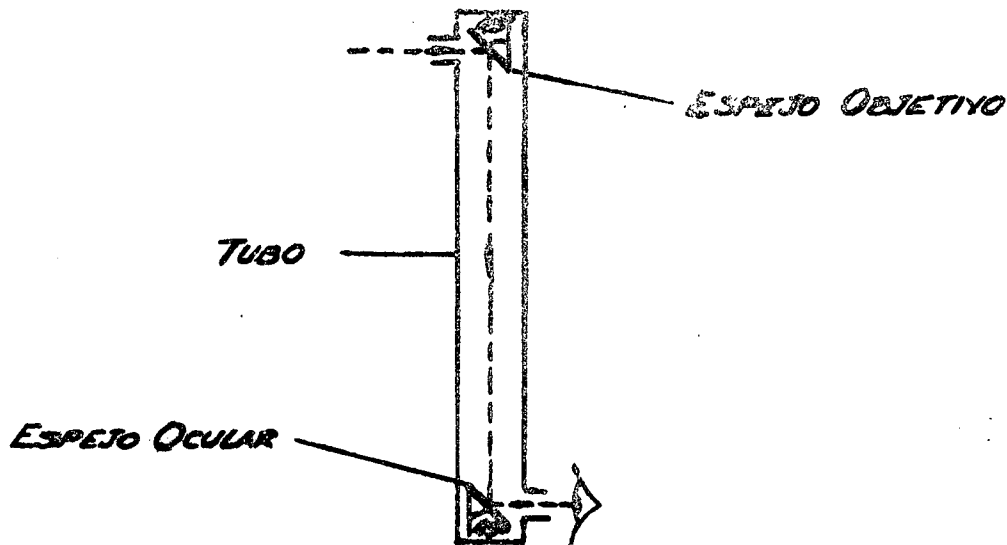


Figura 34

Periscopio Simple

espejito ocular es mucho más pequeño que el espejo objetivo. En este periscopio para cambiar el campo de visión es necesario mover todo el tubo, en los periscopios comerciales para cambiar el campo de visión no es necesario mover el tubo sino que con un sistema mecánico se mueven ángulos pequeños en ambos espejos y además dichos espejos son reemplazados por prismas. Cuando se necesita tener al mismo tiempo aumento delante tanto del primer ocular como del objetivo hay un sistema de lentes.

Para trabajos detrás de paredes de blindaje el periscopio es normalmente de doble codo como muestra la figura 35. En este caso en el punto A la visión puede ser recta o a  $90^\circ$  como la que se muestra. Para variar el campo de visión el sistema mecánico es muy complicado y generalmente la mayor parte del costo del equipo es justamente la parte mecánica. A pesar de ello para algunos casos es muy útil y más económico que un sistema de televisión con circuito cerrado. Para la industria nuclear hay una gran variedad de periscopios de diversos tipos que permiten observación en distintos lugares y con ángulos diversos. Actualmente hay periscopios binoculares estereoscópicos, es decir, que permiten una visión con relieve y además equipados con amplificación óptica de varios aumentos.

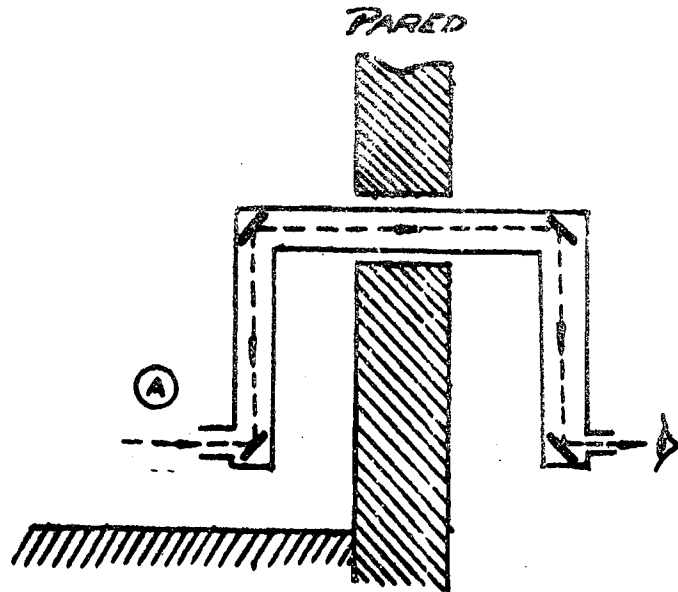


Figura 35

Periscopio de Doble Codo

#### 7.2.7. Endoscopios

Son sistemas ópticos que permiten la observación de superficies internas no accesibles directamente con aumentos y enfoques que se adecúan al tipo de examen a realizar. Permiten la observación visual interna y la inspección fotográfica de agujeros, orificios internos y otras partes inaccesibles para examinar terminación superficial, detectar defectos o irregularidades, medir dimensiones, etc. Su aplicación está generalizada en aviación, industria automotriz, astilleros, industria química, mecánica, etc.

##### 7.2.7.1. Endoscopios rígidos

La disposición básica de un Endoscopio rígido se puede ver en la figura 36, consiste en un cabezal visor integrado con una lámpara para iluminar el área bajo observación, un conducto tubular (espaciador) que conduce la corriente eléctrica para la lámpara y alinea el sistema óptico, para conducir la imagen del cabezal visor al ocular provisto de enfoque y de un transformador de corriente que alimenta la lámpara.

##### 7.2.7.2. Endoscopios flexibles

Su principio de funcionamiento está basado en la conducción

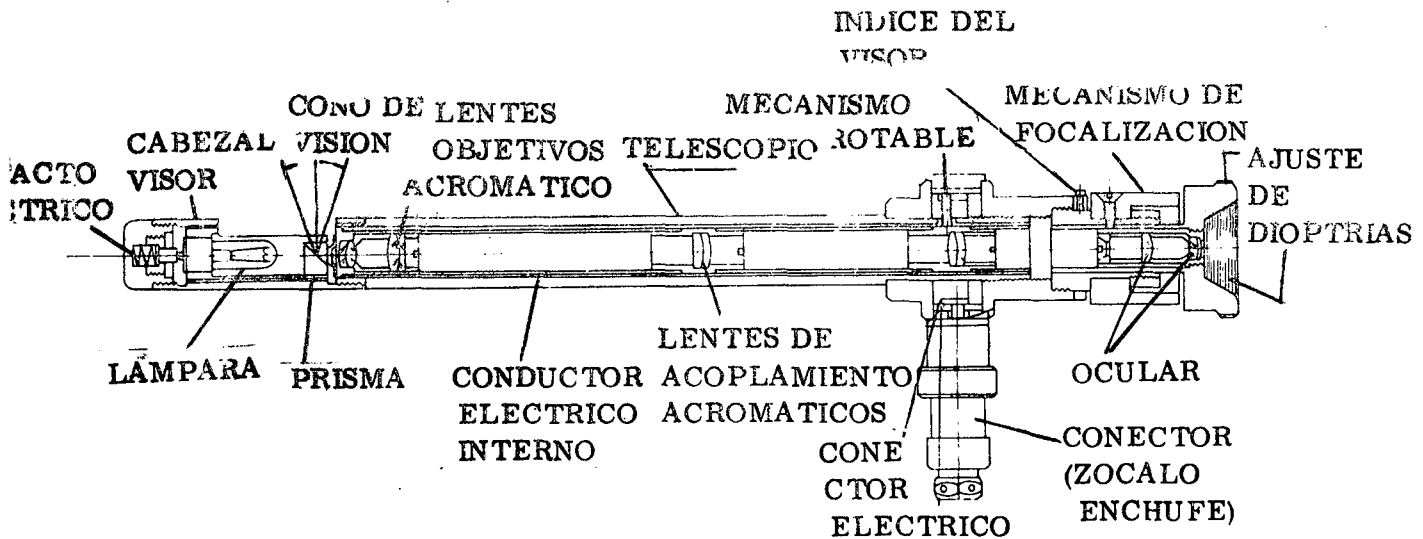


Figura 36

de luz por las llamadas fibras ópticas. Dichas fibras ópticas son muy finos hilos de vidrio de alta pureza. Por ser muy finos dichos hilos son totalmente flexibles. La superficie exterior de estos hilos está tratada para aumentar su reflectividad, es así como la luz que penetró por el extremo de uno de estos hilos sufre  $n$  reflexiones en sus paredes y así viaja hasta el otro extremo.

Estos endoscopios están contruídos con miles de finas fibras ópticas que en conjunto forman un diámetro suficientemente grande como para proporcionar buen camino óptico para la observación.

Estos endoscopios pueden curvarse mucho sin que por ello se interrumpa la visión. El límite de la curvatura de estos endoscopios está dada por la rigidez mecánica del manojó de fibras ópticas. Al igual que en el otro tipo de endoscopio se utilizan sistemas de iluminación y aumento como así también distintos ángulos de visión (figura 37).

#### 7.2.7.3. Selección del tipo de Endoscopio.

Como regla general se debe seleccionar un endoscopio cuyo diámetro sea del orden de los  $\frac{2}{3}$  del diámetro interior de la pieza a examinar.

El largo debe estar en relación con el de la pieza a examinar teniendo en cuenta que cuando los dos extremos son accesibles se debe hacer el examen de ambos extremos.

Los endoscopios a fibra óptica se deben reservar para partes de acceso intrínicado.

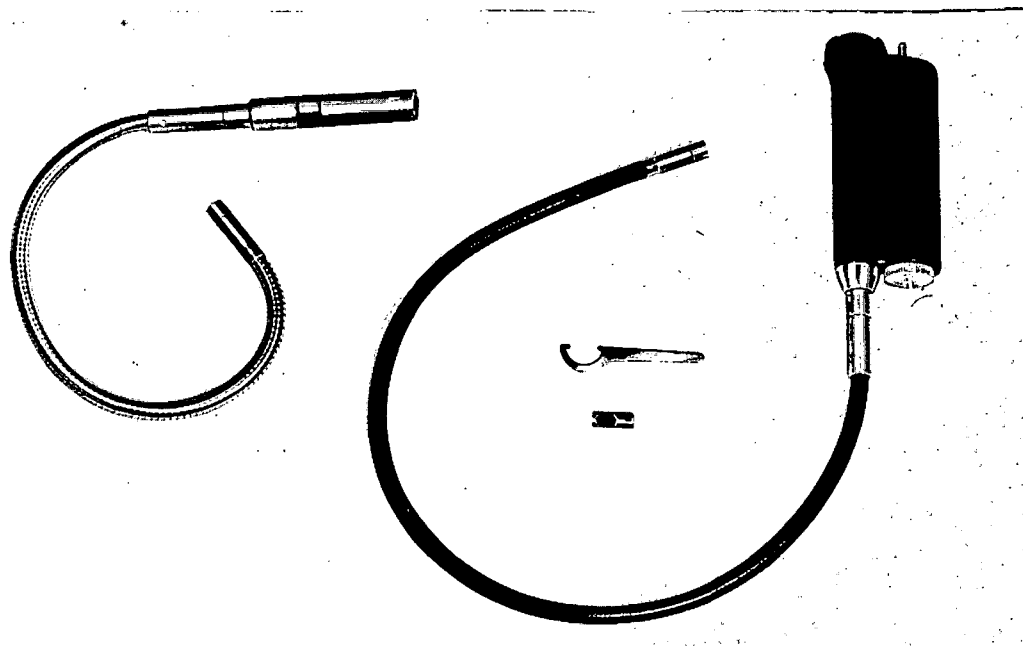


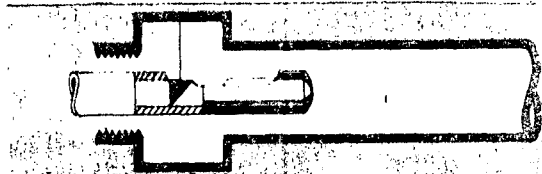
Figura 37

En cuanto al cabezal visor el mismo debe ser elegido en función del ti  
po de examen a realizar.

Como dato ilustrado en la figura se muestran los esquemas de diversos  
tipos de visores y su campo de aplicación

Provee visión anular de paredes, se em-  
plea principalmente para el control rápi-  
do de tubos y agujeros.

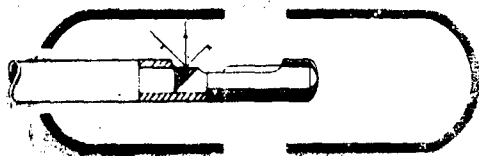




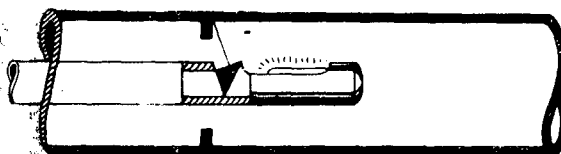
Provee visión lateral de paredes bajo  $\angle$  de  $90^\circ$ .  
Para observación de gargantas y fileteados.



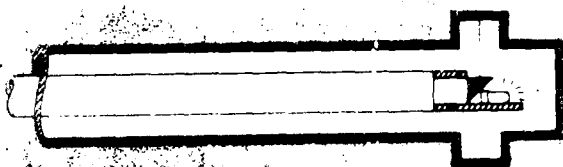
Posee visión lateral de paredes bajo  $\angle$  de  $60^\circ$   
Se emplea en el examen detallado de tubos y agujeros



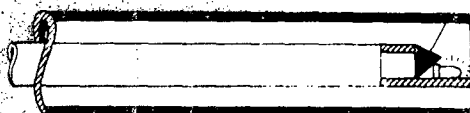
Dispositivo con prisma a  $\angle$  prefijable. Provee  $\angle$  de visión variable (retrovisión, visión  $\perp$ , visión hacia adelante) que se regula antes del ensayo.



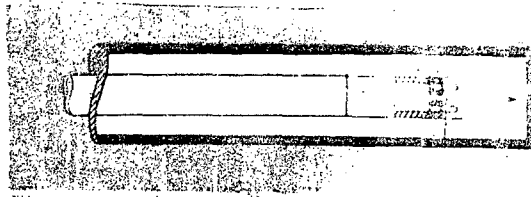
Provee retrovisión, para observación de ojivas, flanco de gargantas o filetes.



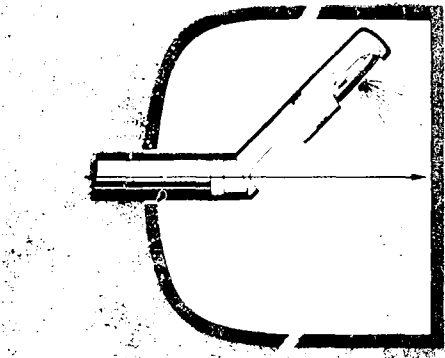
Provee visión de paredes laterales bajo  $\angle$  de  $90^\circ$  con iluminación invertida.  
Para observación de gargantas estrechas.



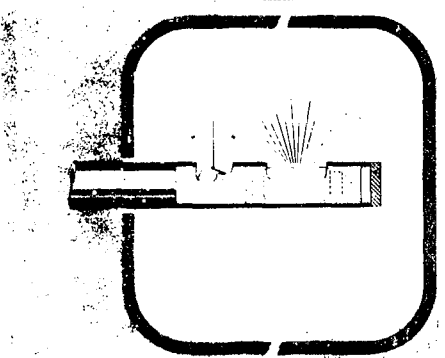
Provee visión lateral, bajo  $\angle$  de  $60^\circ$  con iluminación invertida.  
Para observación de paredes en agujeros ciegos.



Provee visión axial hacia adelante.  
Para observación de fondos de agujeros ciegos.



Provee visión axial hacia adelante con ángulo muy abierto.  
Para observación de fondos de gran superficie.



Provee visión lateral con ángulo variable regulable a distancia desde la misma posición que el ocular.  
Para observación de paredes de cilindros.

En la figura 38 se puede observar la curva de magnificación en función de la distancia objetivo-objeto para un endoscopio de 30 mm  $\emptyset$ .

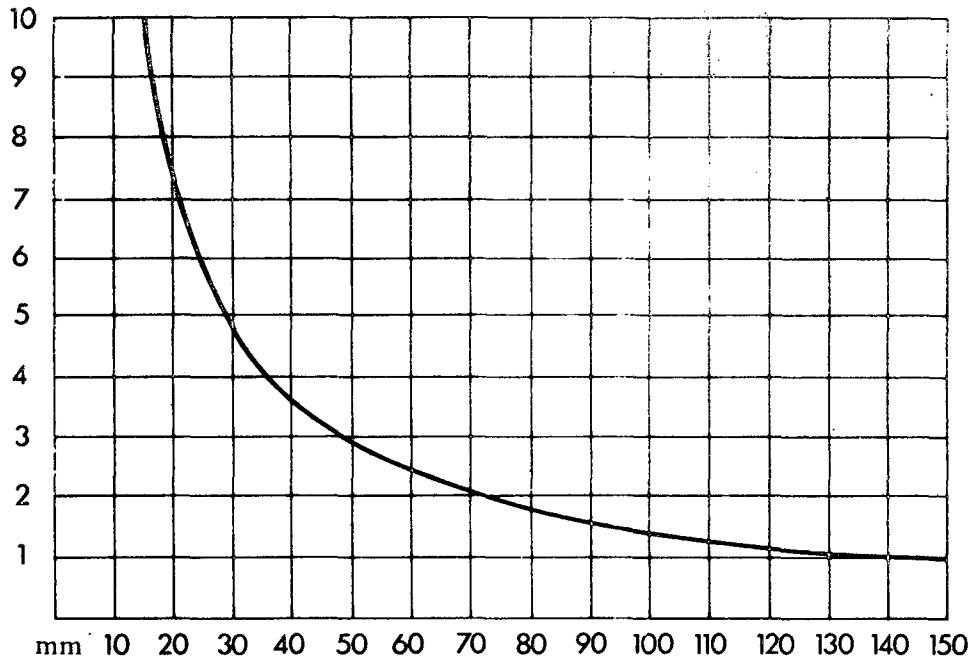


Figura 38

#### 7.2.8. Proyectores de Perfiles

Un modelo de uso universal como el de la figura está diseñado para uso en fábricas, laboratorios, investigación, etc., para inspeccionar y medir partes mecánicas y componentes de gran precisión. Posee un sistema óptico de eje vertical con sistema de control motorizado para examen rápido con iluminación de superficie o de contorno, o ambos simultáneos. Pantalla rotativa de 600 mm de  $\emptyset$  con transportador de ángulos.

Permite proyectar especímenes de hasta 250 mm de espesor.

Aumentos de 5x hasta 800x en 10 etapas con una precisión desde  $\pm 1\%$  en los mayores aumentos hasta  $\pm 0,75\%$  para iluminación de superficies en aumentos hasta 100x y hasta  $\pm 0,05\%$  para iluminación de contorno en aumentos entre 5x y 100x.

Para micrometro óptico la superficie de plataforma es de 610 x 270 mm con un rango de barrido de 200 x 75 mm. La lectura menor es de 0,001 mm. La fuente luminosa para iluminación de contorno es de 12 V, 200 W y para iluminación de superficie es de 100 V - 300W.

La figura 39 muestra un proyector de perfiles similar al detallado.

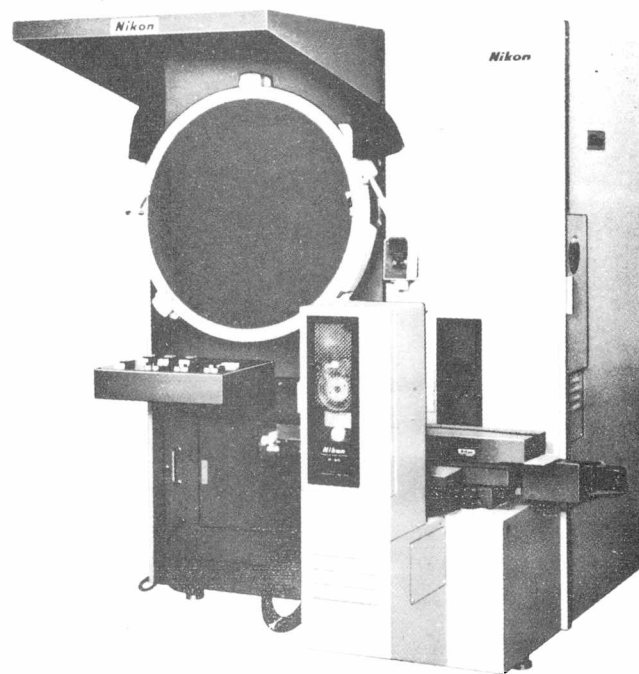
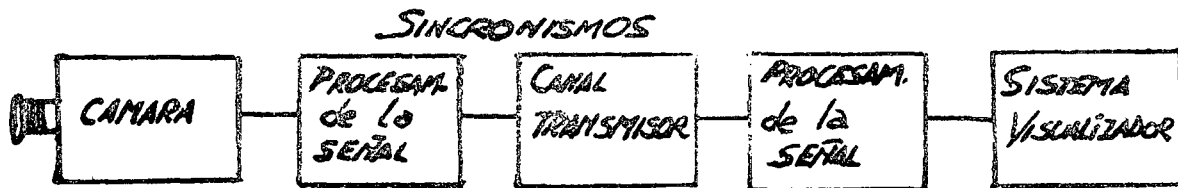


Figura 39

### 7.2.8. Televisión

Los sistemas de televisión son ampliamente usados en controles nucleares y también como receptores de señal en centrales termoelectricas.

Todo sistema de televisión se compone de las partes básicas indicadas en la figura.



#### Sistema de Conversión de Imagen Óptica en Señal Eléctrica

Se hará a continuación una descripción breve de cada una de las partes principales y se comparará también en forma breve un sistema de broadcasting con uno de circuito cerrado.

#### Camara

Normalmente el dispositivo que convierte la imagen óptica en señal eléctrica recibe el nombre de "cámara"

El alma de la cámara de televisión es el tubo de imagen. Normalmente dicho tubo en las cámaras de broadcasting es el denominado "ortocón de imagen" u "orthicón de imagen". Generalmente en las cámaras para circuito cerrado se utiliza el llamado "vidicón de imagen". Si bien en cuanto a su funcionamiento puramente electrónico difiere uno del otro, el resultado final del tubo de imagen es el mismo. Ambos poseen un frente fotosensible sobre el cual se proyecta la imagen de la escena mediante la óptica convencional. Dicha imagen de la escena es recorrida en zig-zag de trama muy cerrada por un haz de electrones. Dicha corriente electrónica queda "modulada" por las distintas zonas claras y oscuras de la imagen de la escena y es así como ya se tiene la imagen en forma de una señal eléctrica que por medios electrónicos se amplifica lo necesario.

### Circuitos de sincronismo

La misión fundamental de estos circuitos es generar los denominados "pulsos de sincronismo" y "dientes de sierra". Dichos pulsos de sincronismo y dientes de sierra sirven para que tanto en la cámara como en el "monitor" o "televisor" el haz de electrones haga el mismo camino y en cada instante en ambos lugares se encuentre en el mismo punto de la escena. Tanto en los sistemas de broadcasting como en los de circuito cerrado los circuitos de sincronismo tienen otros circuitos auxiliares para mejorar la calidad de la imagen.

Normalmente la cantidad de líneas horizontales de exploración de imagen en los sistemas de televisión oscilan entre 500 y 2000 líneas por cuadro. Asimismo se proyectan entre 25 y 32 cuadros por segundo, generalmente cada cuadro dos veces para eliminar el efecto pantalleo o flikering tan molesto para la visión. La cantidad de líneas depende de la definición que se desee obtener.

### Canal de transmisión de información

Estos son los circuitos que varían más de un sistema de broadcasting a un sistema de circuito cerrado.

En un sistema de broadcasting estos circuitos son todos los sistemas de conformación de la señal, modulación de la onda portadora, generación de la onda portadora, amplificadores de potencia, antenas transmisoras, espacio.

Mientras que en un circuito cerrado dicho canal de transmisión es normalmente un cable o un conjunto de cables de los llamados coaxiales.

### Procesamiento de la señal recibida

Este es otra porción de la cadena que difiere bastante de un sistema de broadcasting a un sistema de circuito cerrado.

En un sistema de broadcasting, todos estos circuitos los tenemos dentro del televisor que normalmente poseemos en nuestros hogares. En el sintonizador hay circuitos capaces de seleccionar la onda modulada que deseamos recibir. Hay circuitos que filtran de alguna forma el "ruido eléctrico" que modula también la información que se desea ver. Hay circuitos que decodifican la señal y separan los pulsos de sincronismo que envía la estación transmisora, separan la información de "video" (imagen) de la información de "audio" (sonido) y las elaboran como para ser visualizadas en la pantalla y oídas en el parlante.

En un circuito cerrado de televisión toda esta porción está muy simplificada pues solamente basta separar los pulsos de sincronismo de la información de video, y con ambas separadas excitar los circuitos finales que comandan al tubo de imagen del televisor o "cinescopio".

## Sistema visualizador

El sistema visualizador tanto para receptores de broadcasting como para los de circuito cerrado es común y es el tan conocido tubo de imagen de televisión y sus circuitos conexos. El tamaño del tubo o cinescopio depende del uso que se dé al sistema. Si el tubo va a ser usado como monitor generalmente es pequeño entre 2 y 5 pulgadas, mientras que cuando va a ser usado para un auditorio generalmente es de 20 a 23 pulgadas.

Con lo que se vio hasta ahora se puede tener una idea escueta de lo que es un sistema de televisión.

Es evidente que para dominar el tema deben leerse muchos libros específicos, pero con estos conocimientos básicos se podrán leer especificaciones de los sistemas comerciales sin tener una ignorancia total de los términos que se usen. Se podrá juzgar aproximadamente las características de uno u otro equipo comercial para las necesidades que se tengan.

En algunos sistemas de circuito cerrado las cámaras tienen servomecanismos que permiten enfocar distintas escenas, siendo todo ello comandado desde la consola de control. En la industria nuclear dichas cámaras de televisión tienen blindajes especiales para protegerlas de las radiaciones.

Normalmente la televisión científica tiene mayor definición que la TV de broadcasting es decir mayor número de líneas por unidad de longitud (pulgada o cm.).

La figura 40 muestra un sistema de cámara de televisión, algunas de cuyas características técnicas son:

Tensión de entrada: funciona con tensión nominal de 120 V c.c. 50 o 60 Hz con variaciones de 105 a 130 V.

Potencia de entrada: menos de 30 W.

Velocidad de barrido vertical: 50 a 60 Hz.

Velocidad de barrido horizontal: 15750 ó 15625 Hz.

### 7.3. Fotografía

Es bien conocido que un registro gráfico de un fenómeno, evento o estado de una cosa, ayuda enormemente, luego que dicho fenómeno no se tiene disponible, si bien en el aspecto puramente fotográfico este tipo de fotografía tiene poca diferencia con la artística, hay una serie de consideraciones y agitaciones que deben tenerse en cuenta en la fotografía científica

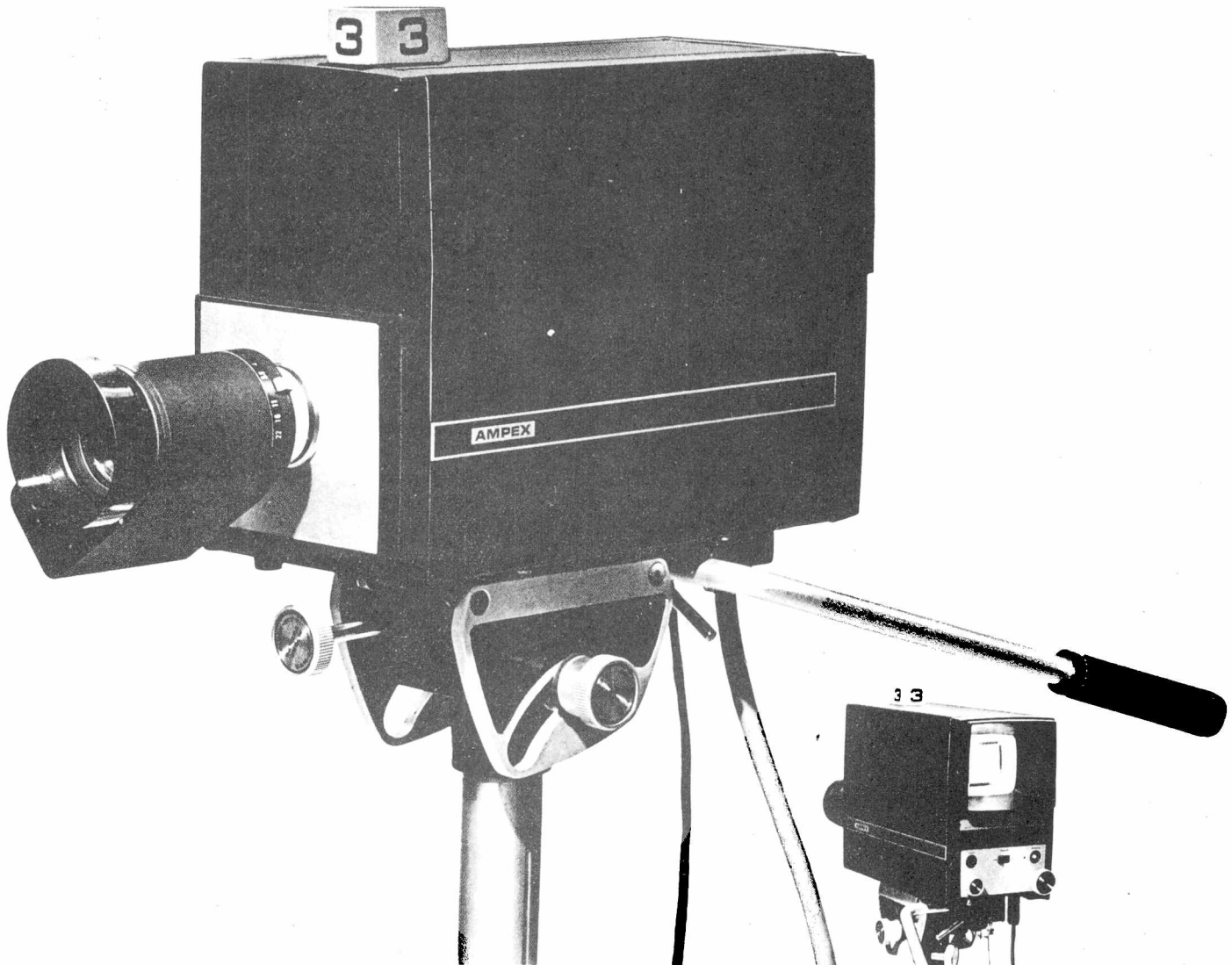


Figura 40

Primero la fotografía en blanco y negro y más tarde la fotografía en colores permiten tener un registro gráfico permanente de un evento.

En la fotografía científica hay que tener en cuenta que en muchos casos las condiciones pueden no ser las más favorables y entonces hay que disponer de una cámara que tenga las más amplias posibilidades de variación tanto de diafragmas como de velocidades. Es necesario que se tenga la posibilidad de combinar lentes, filtros, protectores de luz, etc.

En algunos casos los eventos son de muy corta duración y hay que tener disponible un sistema de iluminación adecuada. Cuando hay que hacer fotografía bajo agua o a través de ventanas de gran espesor, se complica notablemente la obtención de imágenes con buena definición.

Para ciertos eventos es notablemente útil el cine tanto monocromo como en color. Modernamente hay sistemas de televisión de circuito cerrado que incluyen una grabadora de video. De esta forma se puede ver el evento cuantas veces sea necesario.

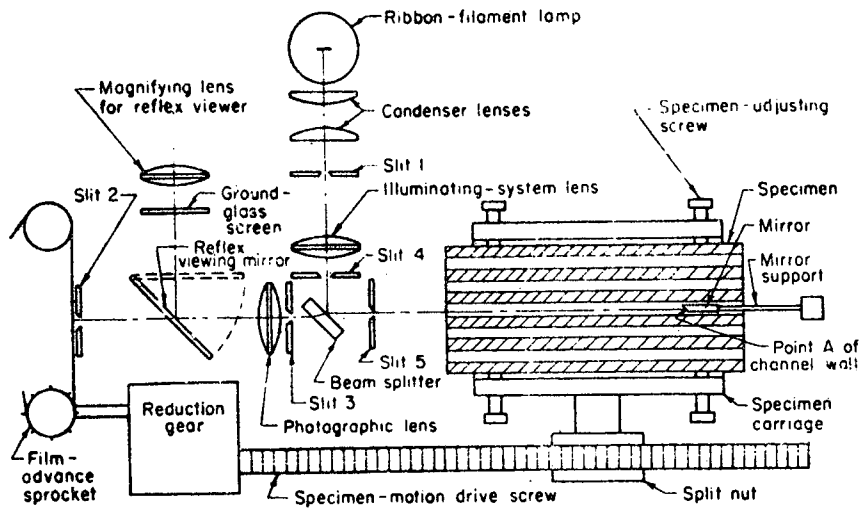


Figura 41 - Diagrama esquemático de una cámara panorámica.

REFERENCIAS.

- 1.- Robert C. McMaster, Non-Destructive Testing Handbook, Vol. 1. The Ronald Press Co. 1963.
- 2.- Warren J. McGonnagle, Non-Destructive Testing, Second Edition. Gordon and Breach, 1966.
- 3.- Eng. Prof. P. G. De Paula Leite. Ensaio Nao-Destrutivos Dos Metais, Associacao Brasileira de Metais, 1966.
- 4.- The Non-Destructive Testing Society of Great Britain. Parte 9. Defects in Steel Forgings, G. A. Fearn, Pág. 48.
- 5.- Defects in Fusion Welds.  
I. G. Young, part 6.
- 6.- The use of the image intensifier as a class 1 inspection tool.  
R. Hill, Member.
- 7.- Prácticas Metalúrgicas. G. Khel.

~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~  
~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~