

41126
83



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ARAGÓN"

PANORAMA GENERAL DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y SU APLICACIÓN TENTATIVA EN ALGUNOS COMPONENTES DE TURBINAS HIDRÁULICAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA ÁREA: **MECÁNICA**
P R E S E N T A :
JOSÉ ALBERTO OSORIO SÁNCHEZ

ASESOR:
DÁMASO VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ

de Acompañada de un disquete

MÉXICO

2003

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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**

...o a la Dirección General de Bibliotecas de la
...a difundir en formato electrónico e impreso el
...eido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: JOSÉ ALBERTO
OSORIO SÁNCHEZ

FECHA: 19-MAYO-2003

FIRMA: [Firma]

**A MIS PADRES: Jerónimo Osorio Carrillo y
Rosa María Sánchez Arcos** por todo su
apoyo y comprensión durante todos estos
años.

A los mejores hermanos del mundo entero:
Román, Nora, Jaime, Jerónimo y Omar.
A mis sobrinos, los pequeños (por ahora) de la
banda: Yenisei, Mariana e Isaac (sumito).
Y por supuesto, a mi novia Gaby por su amor,
su increíble paciencia y su apoyo incondicional
a través de los *milenios*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me dio la oportunidad de formarme dentro de sus aulas. A todos mis amigos y profesores.

¡Mil gracias!

c

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

	Pág.
-INTRODUCCIÓN	3
-CAPÍTULO 1	
LAS TURBINAS HIDRÁULICAS Y SUS COMPONENTES FUNDAMENTALES	
1.1 Clasificación de las máquinas	6
1.2 Tipos de turbomáquinas y su principio de operación	6
1.3 Turbinas hidráulicas	8
1.3.1 Turbinas de acción	
a. Turbina Pelton	10
1.3.2 Turbinas de reacción	
a. Turbina Francis	20
b. Turbina Kaplan	29
-CAPÍTULO 2	
METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	
2.1 Relación de los END con otras áreas y sus sectores de influencia	38
2.2 Métodos de los END	39
2.3 Organismos reguladores de los END	40
2.4 Normativa de los END	41
2.4.1 Procedimiento PC03: Cualificación y Certificación del personal que realiza END	42
2.5 Inspección visual	70
2.6 Ensayo de fugas	72
2.7 Ensayo con líquidos penetrantes	74
2.8 Ensayo con partículas magnéticas	81
2.9 Ensayo con radiografía	91
2.10 Ensayo con ultrasonido	98
2.11 Ensayo con corrientes de Eddy	105

-CAPÍTULO 3

EQUIPO Y APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN ALGUNOS COMPONENTES DE TURBINAS HIDRÁULICAS

3.1	Equipo para la realización de los END	111
3.1.1	Inspección visual remota	111
3.1.2	Termografía infrarroja	120
3.1.3	Ultrasonido	124
3.1.4	Partículas magnéticas	129
3.1.5	Corrientes de Eddy	139
3.1.6	Radiografía	140
3.1.7	Líquidos penetrantes	142
3.2	Cavitación en las turbinas hidráulicas	145
3.3	Evaluación de discontinuidades usando el método de líquidos penetrantes, para la verificación del caracol de una turbina Francis	147
3.4	Evaluación de espesor mediante medición ultrasónica usando el método de pulso-eco, para la verificación del intradós de un álabe de turbina Pelton	154
3.5	Evaluación de defectos utilizando el método de partículas magnéticas, para la verificación de un álabe de turbina Kaplan para un salto pequeño	159

-CONCLUSIONES 164

-BIBLIOGRAFÍA 165

-ANEXOS (*véase diskette*)

- DINF-PC03-1: Diagrama de flujo de exámenes.
- DINF-PC03-2: Formación y experiencia mínimas exigida a los niveles 1 y 2.
- DINF-PC03-3: Experiencia mínima exigida para nivel 3.
- DINF-PC03-4: Modelo de certificado de agudeza visual.
- DINF-PC03-5: Esquema de tipos de examen.
- DINF-PC03-6: Sistema estructurado de crédito para un nivel 3.
- DINF-PC03-7: Instrucciones para el llenado de los exámenes.
- Algunos distribuidores de equipo para END.
- Cursos sobre END en el Estado de México, IMENDE 2003.
- Cursos sobre END en el Estado de Tabasco, IMENDE 2003.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene la finalidad de ser un buen punto de apoyo para todas aquellas personas que por su profesión o aficiones se encuentren interesadas en el estudio de la parte teórica de los Ensayos No Destructivos. Hay muchas cosas a saber sobre estos ensayos, pero una de las más evidentes, es aquella que indica que nada está dicho aún sobre su alcance y aplicación. Así es, actualmente los equipos modernos utilizados para este tipo de ensayos, son muy potentes y logran tener una sensibilidad de detección muy grande comparados con los que se tenían hasta hace pocos años. En cuanto a la aplicación... pues bastara con mirar solo un momento a nuestro alrededor y darnos cuenta de que no hay un solo material que no sea susceptible de análisis mediante un Ensayo No Destructivo. Precisamente por ser los Ensayos No Destructivos de amplia aplicación y alcance, se duda sobre cual o cuales ensayos puede ser aplicados a un material determinado. La elección no es fácil, pues depende de muchos factores, de los cuales tres sobresalen de los demás: los costos de aplicación, la geometría de la pieza y el grado de sensibilidad del método a utilizar. El éxito o fracaso de los ensayos dependerá del correcto balance de estos tres factores. Es claro entonces que la persona o personas que tengan que "jugar" con esta tríada deberán de "empaparse" lo más que puedan con todo lo relacionado al tema.

La primera parte del título de este trabajo de tesis ("Panorama General de los Ensayos No Destructivos...") hace referencia a la parte "fuerte" de la misma. ¿Qué son los Ensayos No Destructivos?, ¿Cuáles son sus aplicaciones?, ¿Cuáles son sus restricciones?, ¿Cuál es su metodología?, ¿Cuáles son las normas que los rigen?, ¿Qué organismos calificados los aplican?, ¿Cuáles son los equipos necesarios para efectuarlos?, ¿Cómo puede una persona obtener la calificación para realizarlos y evaluar sus resultados?, etc. Todas estas preguntas tienen respuesta dentro de los capítulos que siguen adelante. Se comienza con analizar su metodología (Capítulo dos) y se prosigue con mencionar el equipo moderno del cual dispone el mercado en la actualidad (Capítulo tres).

La segunda parte ("...y su aplicación tentativa en algunos componentes de turbinas hidráulicas") se refiere a la parte "secundaria" del trabajo de tesis. Aquí (Capítulo uno y tres) se intenta dar de una manera especulativa, pero firme y coherente, una ejemplificación de las aplicaciones de algunos Ensayos No Destructivos a tres componentes concretos de turbinas hidráulicas. Por ese motivo el capítulo uno explica de una manera breve los componentes básicos de las tres turbinas más empleadas hoy en día.

Finalmente, es importante reconocer que un perfecto dominio de la aplicación, evaluación y alcance de los Ensayos No Destructivos requerirá de una inversión muy grande de horas dedicadas a la práctica, pero eso ya dependerá de los intereses y fines de cada individuo.

CAPÍTULO I:

LAS TURBINAS HIDRÁULICAS Y SUS COMPONENTES FUNDAMENTALES



uchas veces, al hablar de turbinas hidráulicas nos olvidamos de la gran importancia que juegan para nuestra vida cotidiana, pues éstas contribuyen a generar la mayoría de electricidad que usamos. La electricidad la empleamos en asearnos, preparar nuestros alimentos, protegernos del frío, hacer funcionar dispositivos, y en mil cosas más. Por ello, es bueno iniciar con un breve recuento de las antiguas máquinas que ahora nos parecen totalmente obsoletas, pero que en su momento contribuyeron a que el hombre saliera al paso, en su carrera por modificar la naturaleza a su favor.

Por allá del lejano año de 1800, las fabulosas para su era, turbinas hidráulicas como la Combe, la Cadiat, la Henschel-Jonval y la Fourneyron se encargaron de dar servicio a todas aquellas poblaciones que necesitaban de la generación de energía; no fue una labor fácil. Habrían que pasar algunos años más para que a mediados del siglo XIX, el ingeniero americano Francis modificará la turbina Fourneyron, dando como resultado una turbina radial centrípeta o turbina de remolino: La turbina Francis.

De la turbina Combe a la Cadiat, se presentó una modificación clave para su mayor aprovechamiento, éste consistió en lograr que el tubo alimentador se posicionara en la parte superior del rodete móvil y no debajo de él, tal y como sucedía en la Combe; se logró una mayor velocidad de la rueda gracias a que el agua impulsaba de una manera más eficaz los álabes curvos de esta última.

La turbina ideada por el ingeniero francés Fourneyron, quien en 1826 mejoró la Cadiat, es considerada como la primera turbina hidráulica moderna, la cual ha sido mejorada considerablemente, tanto en Europa como en los Estados Unidos de Norte América. La Fourneyron, empleaba una corona de álabes directrices dentro del rodete móvil con el fin de obligar al agua a tomar una dirección conveniente, para que permaneciera en el rodete móvil todo el tiempo.

La turbina de Henschel-Jonval fue una turbina vertical de escurrimiento paralelo, que tuvo la grandísima importancia de haber utilizado por primera vez el tubo de aspiración o caracol, cuya ventaja principal primordialmente consistió en poder aprovechar íntegra la caída disponible.

Todas las máquinas mencionadas arriba, nos dan una idea de la gran imaginación y reto que ha tenido el hombre para la generación de dispositivos que den solución a grandes apremiantes de su vida cotidiana. Pero faltan aún tres turbinas más que analizar, de las cuales a la Francis ya se le ha hecho mención.

Los detalles de estas tres turbinas se verán con más cuidado en el apartado 1.3 que corresponde a las turbinas hidráulicas.

1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS

A fin de ubicar correctamente a las máquinas de este estudio, se presenta a continuación la clasificación habitual de las máquinas en ingeniería.

De acuerdo al **tipo de fluido**, se tienen:

- a. **MÁQUINAS HIDRÁULICAS**, las cuales manejan fluidos no comprimibles.
- b. *Máquinas térmicas*, las cuales manejan fluidos comprimibles.

De acuerdo a como se **manejan respecto al fluido**:

- a. *Máquinas motoras o motrices*, en las cuales el fluido mueve a la máquina.
- b. *Máquinas generadoras*, en las cuales el fluido es impulsado por la máquina.

De acuerdo al **principio de operación**:

- a. *Máquinas de desplazamiento positivo*, las cuales trabajan en base al principio de desplazamiento positivo (a un aumento de presión en el fluido le sigue una disminución en su volumen).
- b. *Turbomáquinas*, en ellas el fluido tiene un flujo constante y tienen un componente u órgano principal llamado **RODETE O ROTOR**.

1.2 TIPOS DE TURBOMÁQUINAS Y SU PRINCIPIO DE OPERACIÓN

"Las turbomáquinas son máquinas rotativas que permiten una transferencia energética entre un fluido y un rodete provisto de álabes o paletas (algunas veces llamados también cangilones), mientras el fluido pasa a través de ellos. La transferencia de energía tiene su origen en un gradiente de presión dinámica que se produce entre la salida y la entrada del fluido en el rodete, por lo que, también se denominan máquinas de presión dinámica".¹

Dentro de las turbomáquinas tenemos a muchas candidatas importantes, de las cuales destacan las siguientes:

- **Turbinas hidráulicas.**
- Bombas hidráulicas.
- Turbinas térmicas.
- Compresores. --

Todas las **turbinas hidráulicas** son:

1. Máquinas hidráulicas.
2. Máquinas motoras.
3. Turbomáquinas.

Todas las bombas hidráulicas son:

1. Máquinas hidráulicas.
2. Máquinas generadoras.
3. Turbomáquinas.

Todas las turbinas térmicas son:

1. Máquinas térmicas.
2. Máquinas motoras.
3. Turbomáquinas.

Todos los compresores son:

1. Máquinas térmicas.
2. Máquinas generadoras.
3. Turbomáquinas.
4. Máquinas de desplazamiento positivo.

El principio de operación de las turbomáquinas se basa en el movimiento continuo del fluido, a través del rodete, el cual es el órgano más importante de estas máquinas. Cuando se analiza a estas máquinas se hace con dos enfoques:

Interno:

Apoyándose siempre en la ecuación de *Euler* y el *triángulo de velocidades*, estos elementos de análisis son generales para cualquier turbomáquina y relaciona las partes internas móviles de la máquina con el fluido que trabaja en ellas.

Externo:

Basándonos en el análisis que relaciona al fluido, a su operación y al sistema al que pertenece el fluido y la máquina. Como se comprende para este análisis, es necesario considerar varios aspectos como son: tipo de máquina, tipo de fluido, presión, temperatura, etc.

1.3 TURBINAS HIDRÁULICAS

Existen dos tipos de turbinas hidráulicas: de **acción**² y de **reacción**, generalmente son máquinas motoras, es decir, el agua proporciona la energía necesaria para que éstas giren; la parte importante de las turbinas es su rodete, al cual van sujetos los aditamentos necesarios para captar el flujo de agua.

Las turbinas hidráulicas son turbomáquinas que permiten la transferencia de energía del agua a un rotor provisto de álabes, mientras el flujo pasa a través de éstos.

Cuando el paso del agua por el rotor se efectúa en dirección radial³, las máquinas se llaman radiales, de las cuales, el tipo más representativo es la turbina Francis. Cuando el paso por entre los álabes se hace en la dirección del eje de la máquina, se dice que ésta es de tipo axial, de las que son ejemplos la turbina Kaplan y la turbina Pelton, aunque a esta última se le clasifica también como turbina tangencial, por la forma particular de ataque del agua al rotor.

Las tres turbinas citadas, Francis, Kaplan y Pelton, son conocidas como las tres grandes, por ser las principales turbinas hidráulicas empleadas en la actualidad. Recientemente se están introduciendo las turbinas tubulares, de bulbo y de pozo para cargas muy reducidas (hasta de poco más de un metro) y grandes caudales.

La **figura 1** representa esquemáticamente las 4 turbinas citadas y las curvas de rendimiento, operando cada una dentro de las condiciones de carga y caudal propias de cada tipo. Cuando hablamos de los límites de aplicación de las turbinas Pelton, Francis y Kaplan de acuerdo con la carga y la velocidad específica⁴, se puede notar en la Francis, el cambio de forma que va teniendo su rodete, con mayor o menor acción radial o axial, según la carga y el caudal, esto es, a mayores cargas mayor acción radial y a mayores caudales mayor acción axial. En la Kaplan, disminuye el número de álabes al aumentar la velocidad específica, esto es, al aumentar el caudal y disminuir la carga.

El rotor de la turbina con sus álabes, es el elemento básico de la turbina, pues en él se logra la transferencia energética. Completan la máquina otros elementos auxiliares. En las turbinas de reacción (Francis y Kaplan) se dispone de un ducto alimentador en forma de *caracol* circundando la máquina, el cual recibe el agua de la tubería de llegada y la sirve al rodete móvil por medio del *distribuidor*; este último regula el gasto de acuerdo con la potencia exigida a la turbina y además impone al líquido el giro necesario para su acción sobre los álabes. En la descarga del agua de la máquina se instala otro ducto abocinado, llamado *tubo de desfogue*, que permite una ganancia en el gradiente de presión y mejora el rendimiento de la máquina.

En la turbina Pelton, la alimentación se efectúa a través de las *toberas*, que transforman la energía estática del agua en dinámica para que así pueda ser aprovechada por la rueda móvil provista de álabes. Después de su acción sobre los álabes, el agua se descarga a la presión atmosférica.

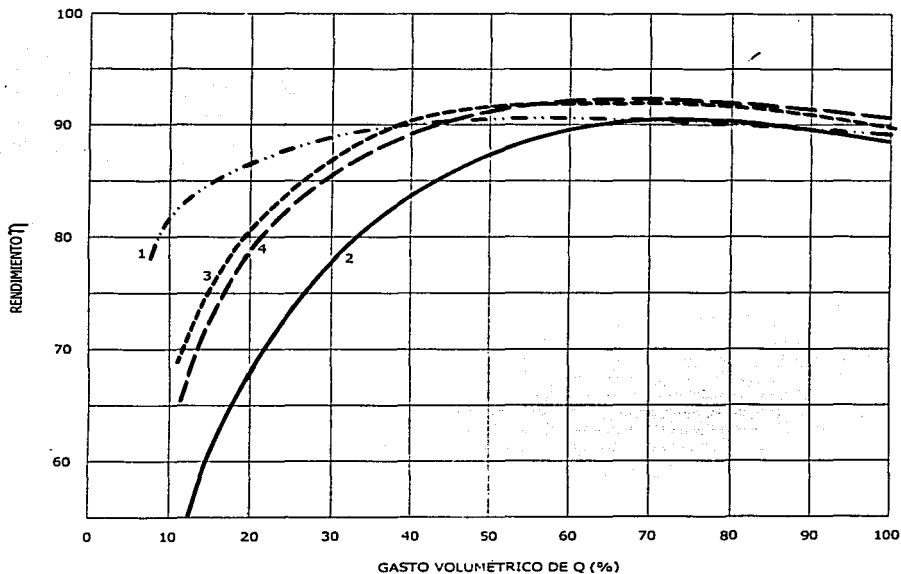
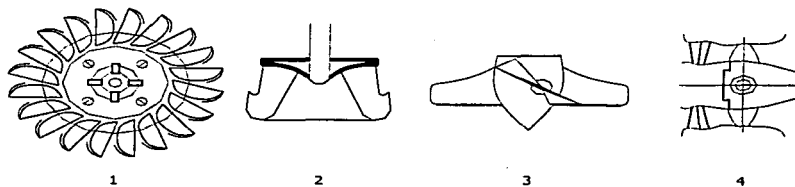


Figura 1. Curvas de rendimiento en función del gasto de las cuatro turbinas típicas: 1) Pelton, 2) Francis, 3) Kaplan y 4) Tubular. (Escher Wyss).

1.3.1 TURBINAS DE ACCIÓN

a. Turbina Pelton

GENERALIDADES

Las turbinas de impulso o de acción tienen la peculiaridad de aprovechar solamente la energía cinética del fluido; no existe, pues, gradiente de presión entre la entrada y la salida de la máquina. El grado de reacción es **cero**.

Entre las turbinas hidráulicas de este tipo más representativa y, por así decir, casi la única, es la Pelton, aunque también se podría citar la Michell-Ossberger de chorro cruzado, pero está poco generalizada y su empleo se halla limitado a muy pequeños aprovechamientos (25 a 2 000 litros por segundo y saltos de 12 a 50 metros).

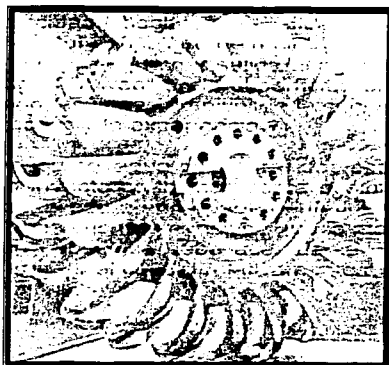
La turbina Pelton debe su nombre a Lester Allan Pelton (1829-1908) quien buscando oro en California, concibió la idea de una rueda con cucharas periféricas que aprovechara la energía cinética de un chorro de agua, proveniente de una tubería de presión, incidiendo tangencialmente sobre la misma. Ensayó diversas formas de álabes hasta alcanzar una patente de la rueda en 1880, desde cuya fecha ha tenido gran desarrollo y aplicación.

En la turbina Pelton actual la energía cinética del agua, en forma de chorro libre, se genera en una tobera colocada al final de una tubería de presión. La tobera está provista de una aguja de cierre para regular el gasto, constituyendo el conjunto, el órgano de alimentación y de regulación de la turbina.

El álabe tiene la forma de doble cuchara, con una arista diametral sobre la que incide el agua, produciéndose una desviación simétrica en dirección axial, buscando un equilibrio dinámico de la máquina en esa dirección. Por ser el ataque del agua en sentido tangencial a la rueda se le denomina turbina "tangencial"; por tener el fluido un recorrido axial a su paso por el álabe, se clasifica también entre las máquinas de tipo axial (véase **figura 2**).

Encuentra justa aplicación la turbina Pelton en aquellos aprovechamientos hidráulicos donde la ponderación de la carga es importante respecto al caudal. La velocidad específica es pues baja, entre 10 y 60 en el sistema métrico y entre 2 y 12 en el sistema inglés aproximadamente, siendo preferible valores centrales entre estos límites por razones del rendimiento, el cual es del orden del 90% y se conserva bastante bien a carga parcial.

Entre las turbinas Pelton más grandes instaladas hasta el momento pueden citarse las Mont-Cenis (Alpes franceses) de 202 830.4 KW (272 000 HP)² cada una, bajo 870 metros de carga.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2. Rueda Pelton de una pieza. $P = 37\ 000\ \text{KW}$, $N = 400\ \text{rpm}$, $H = 415.5\ \text{m}$. (Escher Wyss).

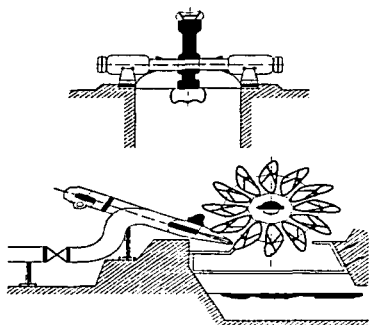
TURBINAS PELTON DE EJE HORIZONTAL Y DE EJE VERTICAL

La clasificación más general posible que puede hacerse de las turbinas Pelton es en tipos de eje horizontal y tipos de eje vertical. Existen otras divisiones que toman en cuenta el número de inyector por rueda o el número de rotores montados en un mismo eje.

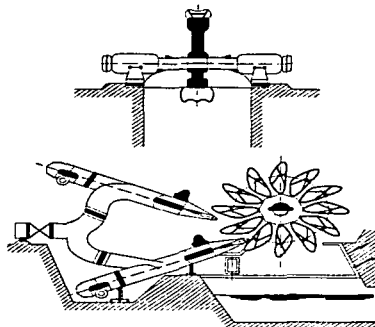
En la disposición de *eje horizontal* el número de chorros por rueda se reduce generalmente a uno o dos, por resultar complicada la instalación en un plano vertical de las tuberías de alimentación y las agujas de inyección. La rueda queda sin embargo, más accesible para su inspección, lo mismo que los inyectores, con lo que la reparación de averías pequeñas y desgastes por erosión pueden efectuarse sin desmontar la turbina. Encuentra así aplicación, este sistema de montaje, en aquellos casos donde se tienen aguas sucias que producen deterioros o notable acción abrasiva. Con el eje en horizontal se hace también posible instalar turbinas gemelas para un solo generador colocado entre ambas, contrarrestando empujes axiales (véase **figura 3**).

Con la disposición de *eje vertical* (véase **figura 4**) se facilita la colocación del sistema de alimentación en un plano horizontal, lo que permite aumentar el número de chorros por rueda (4 a 6); se puede así incrementar el caudal y tener mayor potencia por unidad. Se acorta la longitud del eje turbina-generador; se amenguan las excavaciones; se puede disminuir el diámetro de la rueda y aumentar la velocidad de giro; se reduce en fin el peso de la turbina por unidad de potencia. Todo esto viene dando lugar a que encuentre más partidarios la disposición vertical hoy día, a pesar de la preferencia que siempre tuvo, hasta hace poco, la instalación con eje horizontal. Conviene hacer notar,

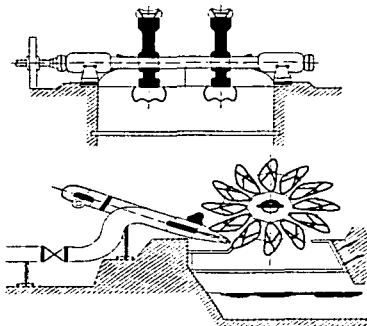
que con el montaje del eje en vertical, la inspección y las reparaciones se hacen más difíciles, por lo que conviene reservar esta disposición para los casos en que se tengan aguas limpias que no produzcan gran efecto abrasivo sobre los álabes e inyectores; tanto más, que los álabes en este caso, están ya sometidos a una acción más repetida del agua, al existir mayor número de chorros por rueda.



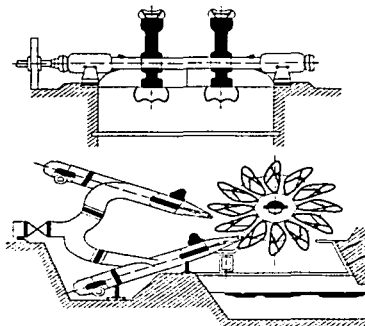
P1 N1 - H EJE HORIZONTAL, 1 RUEDA Y 1 CHORRO.



P1 N2 -H EJE HORIZONTAL, 1 RUEDA Y 2 CHORROS.



P2 N2 - H EJE HORIZONTAL, 2 RUEDAS Y 2 CHORROS.



P2 N4 -H EJE HORIZONTAL, 2 RUEDAS Y 4 CHORROS.

Figura 3. Cuatro disposiciones de turbinas Pelton de eje horizontal. (Hitachi).

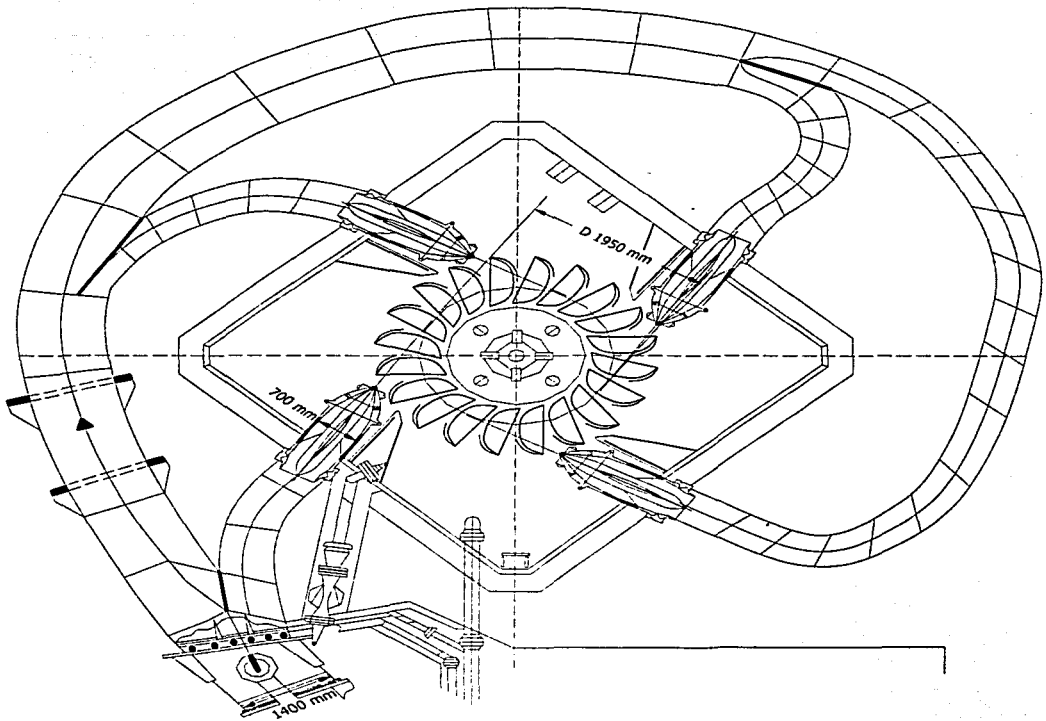


Figura 4. Turbina Pelton de 4 chorros y eje vertical. $P = 49\ 100$ KW, $N = 375$ rpm, $H = 478.2$ m. (Escher Wyss).

En la **figura 5** se ofrece un diagrama para la selección de la disposición más conveniente, en el que puede advertirse la ventaja del eje vertical en grandes potencias, en turbinas Pelton. La zona inferior derecha del diagrama corresponde a turbinas Francis.

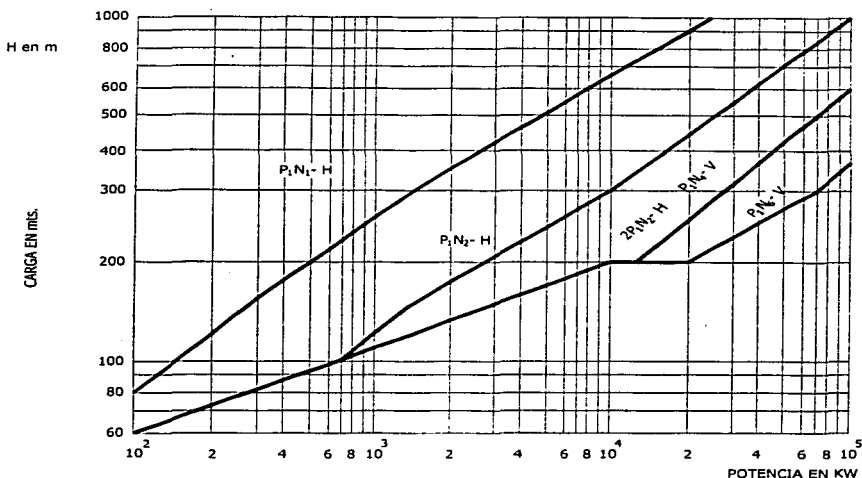


Figura 5. Diagrama para la selección de la disposición más conveniente en función de la carga y la potencia, para turbinas Pelton. (Hitachi).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL RODETE PELTON. NÚMERO DE ÁLABES

El rodete o rueda Pelton, como se muestra en la figura 2, está constituido por un disco de acero con álabes periféricos en forma de doble cuchara. Estos pueden estar fundidos con el disco en una sola pieza (figura 2) o individualmente, sujetándose después al disco por medio de bulones⁶.

La fundición por separado de disco y álabes ha sido la forma más tradicional, ya que no sólo se facilita la construcción (fundición, maquinado y pulido de piezas) sino que también hace posible la reposición de cucharas averiadas por la erosión. Sin embargo, modernamente se advierte una gran tendencia a fundir disco y álabes en una sola pieza, sobre todo cuando se trata de ruedas de alta velocidad específica. Se consigue con este procedimiento mayor rigidez y solidez; uniformidad en la resistencia y montaje rápido. Para la misma potencia, las ruedas resultan ligeras. Métodos modernos de fundición y de

control de calidad (Magnaflux, Magnaglo, ultrasonidos⁷, etc.) permiten obtener piezas sin grietas ni fisuras en el templado.

El material de los álabes debe resistir a la fatiga, a la corrosión y a la erosión. Cuando estas acciones son moderadas pueden bastar la fundición de granito laminar. Si las condiciones de trabajo son más drásticas debe recurrirse al acero al carbono, aleado con níquel (0.7-1)-molibdeno (0.3). Aceros con 13% de cromo y los aceros austeno-ferríticos (Cr 20, Ni 8, Mo 3) presentan una resistencia extraordinaria a la cavitación⁸ y a la abrasión. El material del disco de la rueda es de acero fundido o forjado.

El número de álabes suele ser de 17 a 26 por rueda, dependiendo de la velocidad específica de la turbina. Para alta velocidad específica el número de álabes es menor. En efecto, para una rueda de un diámetro determinado por una carga y una velocidad de giro si la velocidad específica es alta es que el gasto es grande, lo que exige álabes mayores y, por lo tanto, caben menos en la misma periferia de la rueda.

El espacio requerido por álabes suele estar entre $1.4d_0$ y $1.6d_0$, siendo d_0 el diámetro del chorro. El valor del coeficiente depende de la velocidad específica por chorro, n_{so} . Para alta n_{so} el coeficiente es menor. El número de álabes z será pues:

$$z = (\pi D_p) / (1.4 \text{ ó } 1.6)d_0$$

Siendo el D_p el diámetro de la rueda Pelton medida al punto central de incidencia del chorro.

En cualquier caso, el número de álabes debe ser tal que el agua proveniente del chorro no tenga lugar para pasar entre dos álabes sin acción sobre algunos de ellos. La determinación del paso se realiza con el trazado de las trayectorias relativas del agua respecto a la rueda concebida está en su plano ecuatorial geométrico.

La arista media del álabe no es completamente radial, sino que está ligeramente inclinada con relación a la dirección del chorro. El ángulo de inclinación es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad específica de la turbina.

FORMA Y DIMENSIONES DE LOS ÁLABES

Los álabes de una rueda Pelton tienen la forma de doble cuchara, como ya se ha dicho, con una arista mediana donde se produce el ataque del chorro del agua. Las dimensiones del álabe (**figura 7**) son proporcionales al diámetro del chorro; éste a su vez es función del diámetro de la rueda y de la velocidad específica (**figura 6**) el valor de d_0 está entre el 5% y el 12% aproximadamente del valor de D_p .

Sería deseable que el ángulo α que forman las dos caras interiores del álabe fuera cero, para evitar componentes de choque de la velocidad en la incidencia; sin embargo, esto no es posible, ya que se debilitaría demasiado la arista media, sujeta a la acción directa del chorro de agua y a los efectos no solo mecánicos sino de erosión y corrosión. El ángulo α es del orden de 20° según recomendación de los constructores.

A la salida, el ángulo del álabe β está normalmente entre 8° y 12° en la parte media del álabe. También aquí convendría reducir en lo posible el valor de β para disminuir el valor de la velocidad absoluta⁹ de salida V_2 y mejorar la utilización de la energía del agua, pero se presenta el peligro de recirculación y de choque del agua contra el estradós del álabe siguiente. Hay que dar salida al agua con la propia forma del borde de fuga, según las líneas de "Thalweg" en la superficie del intradós (figura 7). El diseño del álabe se realiza definiendo las líneas de nivel de la superficie activa, cuyo trazado está basado, en mucho, en la práctica y la experiencia.

Como la energía cinética del agua del chorro decrece con la distancia al orificio de salida, conviene colocar los inyectores lo más cerca posible del rodete, para lo cual se produce en los álbes una entalladura en la parte periférica, la que además impide que el agua salpique por el borde de la cuchara e incluso que la ataque por la parte posterior. En las ruedas de alta velocidad específica debe acentuarse el tamaño de la entalladura o destalonado de los álbes, por ser el caudal relativamente más abundante.

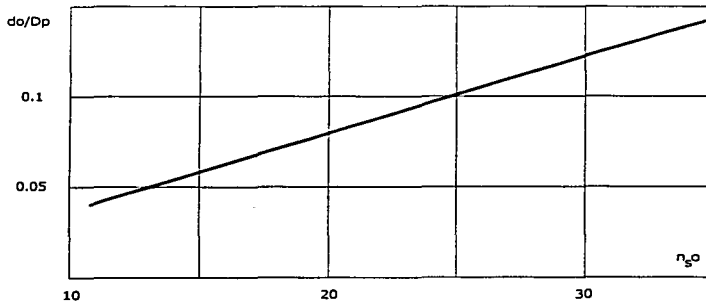


Figura 6. Relación del diámetro del chorro al diámetro de la rueda en una turbina Pelton, en función de la velocidad específica por chorro. (L. Vivier).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

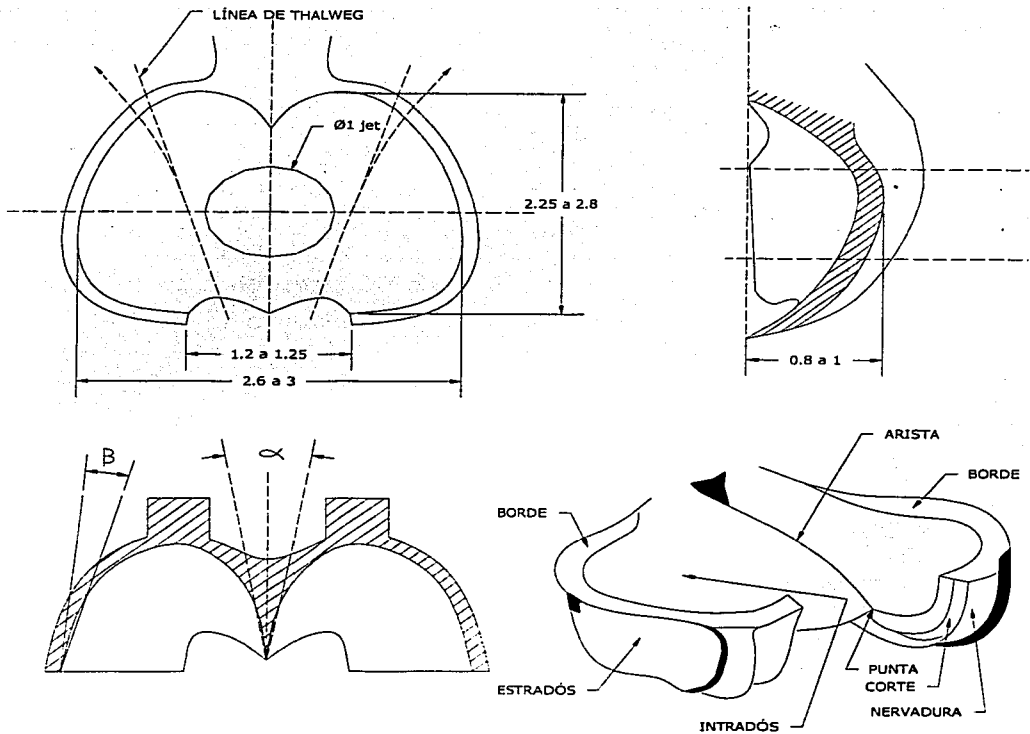


Figura 7. Forma y dimensiones de los álabes de una turbina Pelton.

EL INYECTOR: ÓRGANO DE ALIMENTACIÓN, DE REGULACIÓN Y DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

La tubería de presión que sirve el agua a una turbina Pelton termina en un inyector en forma de tobera convergente, con aguja de cierre cónica, que cumple las funciones de alimentador, de regulador del gasto y de convertidor de la energía potencial del agua en energía cinética para ser aprovechada por la turbina.

En la **figura 8** se muestra un inyector, donde puede observarse la forma de la tobera y de la aguja de cierre. La posición de la aguja determina el grado de apertura de la tobera y en consecuencia el gasto. El movimiento de la aguja se logra por medio de un servomotor¹⁰ ligado al gobernador del grupo turbina-generador. La potencia exigida queda así regulada por el gasto. La forma convergente de la tobera realiza la conversión de la energía de presión en energía de velocidad, que se traduce en un chorro de agua que ataca a los álabes de la rueda. También se presenta en la figura 8 el deflector, cuya misión es la de desviar el chorro fuera de la rueda, impidiendo la acción sobre ésta, cuando la turbina se queda violentamente sin carga por alguna avería en el sistema de generación y distribución de energía eléctrica a que da servicio la turbina.

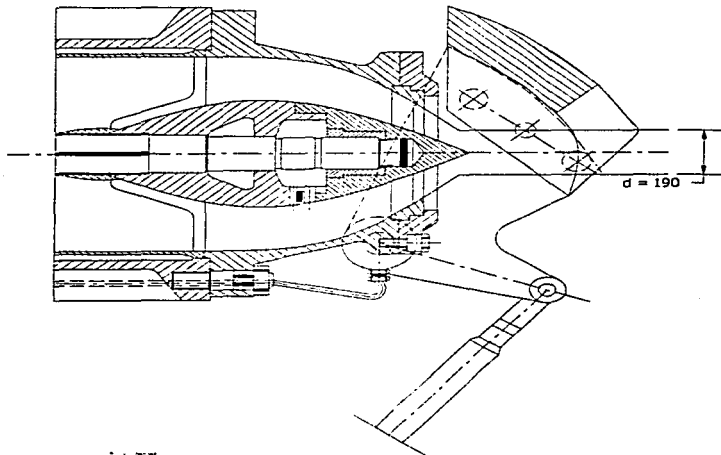


Figura 8. Inyector de turbina Pelton con deflector. (Escher Wyss).

El material de la punta de la aguja y el de la boca de la tobera, debe resistir la acción abrasiva y corrosiva del agua, por lo que en su construcción conviene emplear acero de alta calidad, análogo al de los álabes. Particularmente requieren especial cuidado los inyectores que deben trabajar con aguas sucias o que traen mucha arena en suspensión. En ciertos casos se hace la punta de la aguja intercambiable. Cuando se trata de pequeñas cargas, en turbinas de pequeña potencia, las agujas pueden ser de acero forjado en una sola pieza con el vástago.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES:

1. El agua pega al rodete a la presión atmosférica.
2. El rodete consiste de una rueda provista en la periferia de cangilones (álabes), los cuales tienen un corte que permiten mayor tiempo del chorro sobre ellos, así como un buen ángulo de ataque (figura 7).
3. Se utilizan para grandes caídas.
4. La energía disponible en forma de energía de posición se transforma por medio de una tubería rematando en un chiflón, en energía cinética.
5. Están provistas de una válvula esférica como medio de seguridad.
6. La regulación de estas máquinas se efectúa por medio de la acción de las agujas en el chiflón y por medio de deflectores.
7. Pueden considerarse como ruedas tangenciales, según la clasificación que se basa en la dirección del flujo de agua.
8. En estas turbinas, axialmente no habrá reacción en la chumacera ó en las chumaceras si se trata de ruedas horizontales. En las unidades verticales la reacción axial en la chumacera es debido solamente al peso del rodete y la flecha.
9. El distribuidor de una turbina de impulso esta formado por los chiflones que, como ya se dijo, sirven de dispositivos reguladores del gasto.
10. Los deflectores juegan un papel muy importante para evitar una sobre presión muy grande en la tubería, en caso de que las agujas de un distribuidor cierren bruscamente.

1.3.2. TURBINAS DE REACCIÓN

a. Turbina Francis

GENERALIDADES

La turbina Francis es, en la actualidad, la turbina hidráulica típica de reacción de flujo radial. Lleva este nombre en honor al ingeniero James Bichano Francis (1815-1892), de origen inglés y que emigró a los Estados Unidos, donde fue encargado de realizar algunos proyectos hidráulicos, utilizando turbinas centrípetas, esto es, con recorrido radial del agua hacia dentro, para un debido aprovechamiento de la acción centrípeta, en la transferencia energética al rotor. Ya Samuel Dowd había obtenido una patente de la turbina centrípeta en 1838, pero los perfeccionamientos introducidos por Francis fueron de tal naturaleza que se le dió su nombre.

La turbina Francis ha evolucionado mucho en el curso de este siglo, encontrando buena aplicación en aprovechamientos hidráulicos de características muy variadas de carga y caudal. Se encuentran turbinas Francis en saltos de agua de 30 metros como también en saltos de 550 metros y con caudales que a veces alcanzan 200 metros cúbicos por segundo y otras, sólo de 10 metros cúbicos por segundo. Esta versatilidad ha hecho que la turbina Francis sea la turbina hidráulica más generalizada en el mundo hasta el momento actual. De acuerdo con la ponderación de la carga sobre el caudal o viceversa, se originan unas particulares características en la máquina, que dan lugar a dos tipos, no siempre completamente definidos: la Francis pura y la Francis mixta.

En la Francis puramente radial (**figura 9**), prácticamente toda la transferencia energética de fluido a rotor se efectúa mientras el agua pasa a través de los álabes, todo el tiempo, en dirección radial y de afuera hacia adentro, con un aprovechamiento máximo de la acción centrípeta, para lo cual se procura siempre dar al agua un recorrido radial relativamente largo. Se justifica este tipo de Francis pura en los saltos de agua con cargas relativamente grandes y caudales relativamente reducidos (**figura 10**).

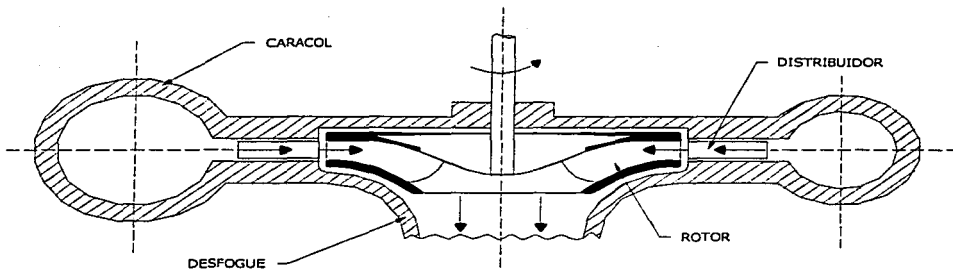


Figura 9. Turbina Francis pura.

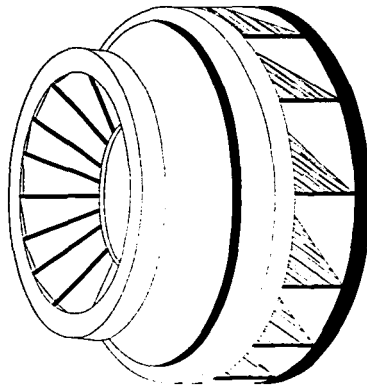


Figura 10. Rodete para Francis pura. $P = 22\ 050\ \text{KW}$ ($30\ 000\ \text{CV}$)¹¹, $N = 375\ \text{rpm}$, $H = 206\ \text{m}$. (TECNOEXPORT, PRAGA).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la Francis mixta (**figura 11**), el agua recorre los álabes en dirección radial y de afuera hacia dentro sólo en una parte de los mismos (la superior), terminando el agua su recorrido por entre los álabes en dirección axial¹², en cuya fase final trabaja como turbina axial. La ponderación de la acción radial y de la axial puede establecerse en forma gradual según las exigencias de la carga y caudal disponible. Evidentemente la acción axial se acentúa cuando aumenta el caudal con relación a la carga, para una determinada potencia. Como veremos adelante, al tratar las turbinas axiales de reacción (Kaplan), la disposición del rodete para un recorrido axial del agua, permite desalojar gran caudal. En la turbina Francis mixta, para lograr la doble acción, los álabes deben tener un alabeo muy particular, que los hace aparecer alargados en dirección axial, presentando conjuntamente una forma abocardada que, naturalmente, facilita el desfogue de mayor caudal. La Francis mixta tiene aplicación en saltos de agua de cargas medianas y bajas, con caudales medianos y relativamente grandes.

La **figura 12** muestra un rodete móvil de una turbina Francis. Un Rodete similar se encuentra en la Planta Hidroeléctrica de Malpaso (Chiapas, México) de 218 000 KW, cuyo rotor mide 5.6 metros de diámetro y 2.5 metros de altura, con un peso de 63 000 Kgs. Es una de las unidades más grande de América Latina.

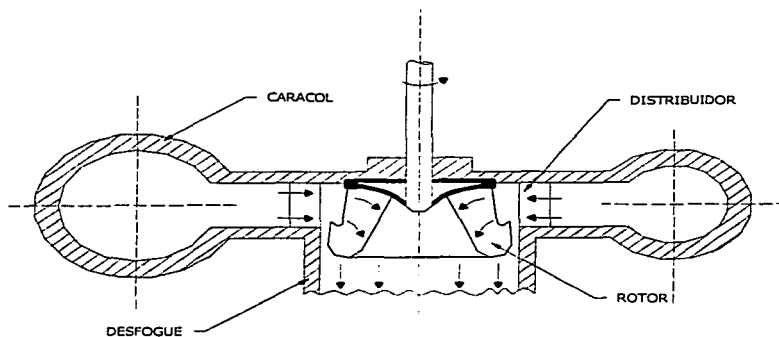


Figura 11. Turbina Francis mixta.



Figura 12. Rodete de turbina Francis. (Turbinas WIRZ).

ÓRGANOS PRINCIPALES DE UNA TURBINA FRANCIS

Los órganos principales de una turbina Francis, en el orden del paso de agua son: el caracol, el distribuidor, el rodete móvil y el tubo de desfogue. La **figura 13** representa un esquema, en un corte ecuatorial de una turbina Francis, donde puede apreciarse el recorrido del agua por los diferentes órganos.

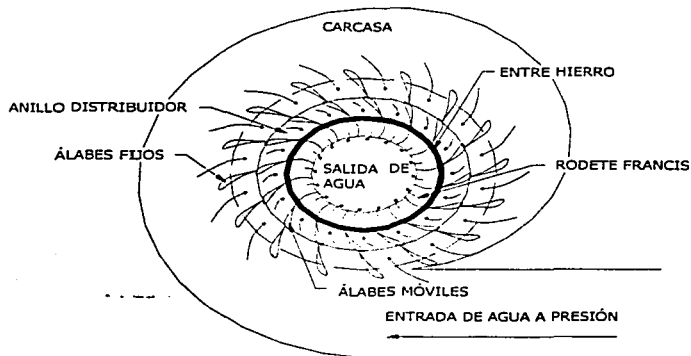


Figura 13. Corte ecuatorial de una turbina Francis.

La carcasa, caja espiral o caracol, es un ducto alimentador, de sección generalmente circular y diámetro decreciente, que circunda al rotor, procurando el fluido necesario para la operación de la turbina. Generalmente es de lámina de acero (**figura 14**). Del caracol pasa el agua al distribuidor guiada por unas paletas direccionales fijas a la carcasa, que forman los portillos de acceso.



Figura 14. Caracol de turbina Francis. (Turbinas WIRZ).

El distribuidor lo constituye una serie de álabes directores en forma de persiana circular (**figura 15**), cuyo paso se puede modificar con la ayuda de un servomotor, lo que permite imponer al fluido la dirección de ataque exigida por el rodete móvil y, además, regular el gasto de acuerdo con la potencia pedida a la turbina, desde valores máximos a un valor cero, en posición cerrada. En el distribuidor se transforma parcialmente la energía de presión en energía cinética.

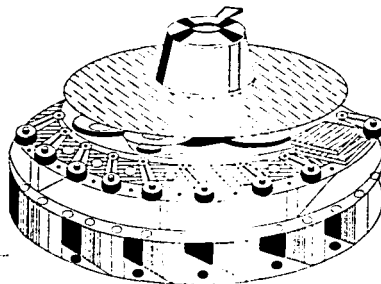


Figura 15. Distribuidor de una turbina Francis. P = 14 914 KW, N = 400 rpm, H = 126 m. Nueva Compañía Eléctrica de Chapala, Jalisco, México. (Allis Chalmers).

El rodete móvil o rotor está conformado por los propios álabes, los cuales están engastados en un plano perpendicular al eje de la máquina, de cuyo plato arrancan siguiendo la dirección axial (central) exigida a la turbina. Los álabes se ciñen en su extremo final por un zuncho¹³ en forma de anillo para dar la debida rigidez al conjunto. Véase la **figura 16**.

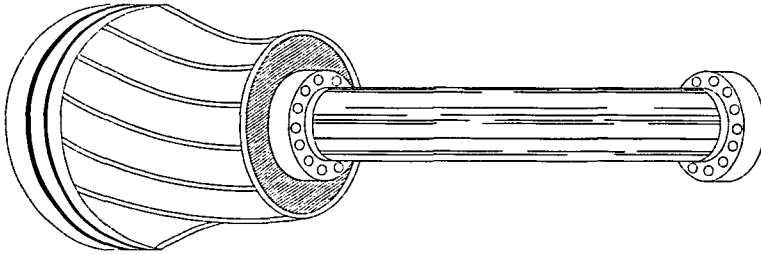


Figura 16. Rotor de turbina Francis. P = 68 000 KW, N = 280.8 rpm, H = 110 m. Instalado en Cambambe, Angola. (Escher Wyss).

El tubo de desfogue o difusor da salida al agua de la tubería y al mismo tiempo procura una ganancia en carga estática hasta el valor de la presión atmosférica, debido a su forma divergente. Se tiene así a la salida del rotor una presión más baja que la atmosférica y, por tanto, un gradiente de presión dinámica más alta a través del rodete. Su forma puede ser simplemente cónica (tubo Moody) o más compleja cuando es acodada¹⁴. La forma acodada permite colocar el rodete móvil más próximo al nivel de aguas abajo, exigencia que se tiene particularmente en las máquinas de velocidad específica alta, o sea, las Francis mixtas, con mucha acción axial, que se emplean con más grandes caudales (**figura 17**).

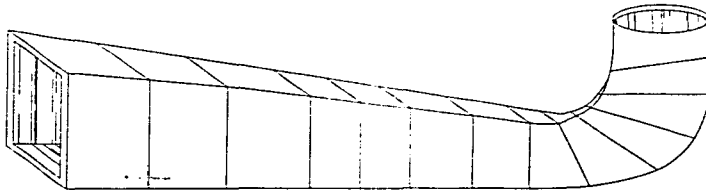
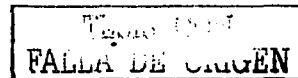


Figura 17. Tubo de desfogue de una turbina Francis. P = 8 948 KW, N = 240 rpm, H = 46.6 m. (Allis Chalmers).



DISPOSICIONES DE OPERACIÓN DE TURBINAS FRANCIS

Las **figuras 18, 19 y 20** muestran algunas disposiciones de operación de turbinas Francis.

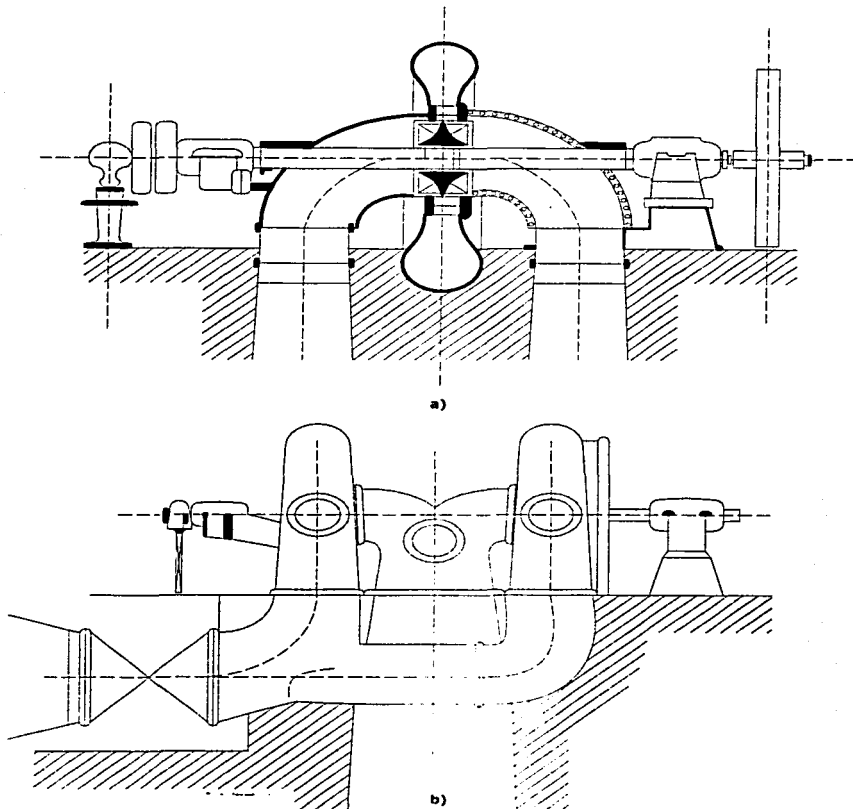


Figura 18. Inciso a) Eje horizontal, un rotor y un difusor doble. Inciso b) Eje horizontal, doble rotor y un difusor gemelo. (Hitachi).

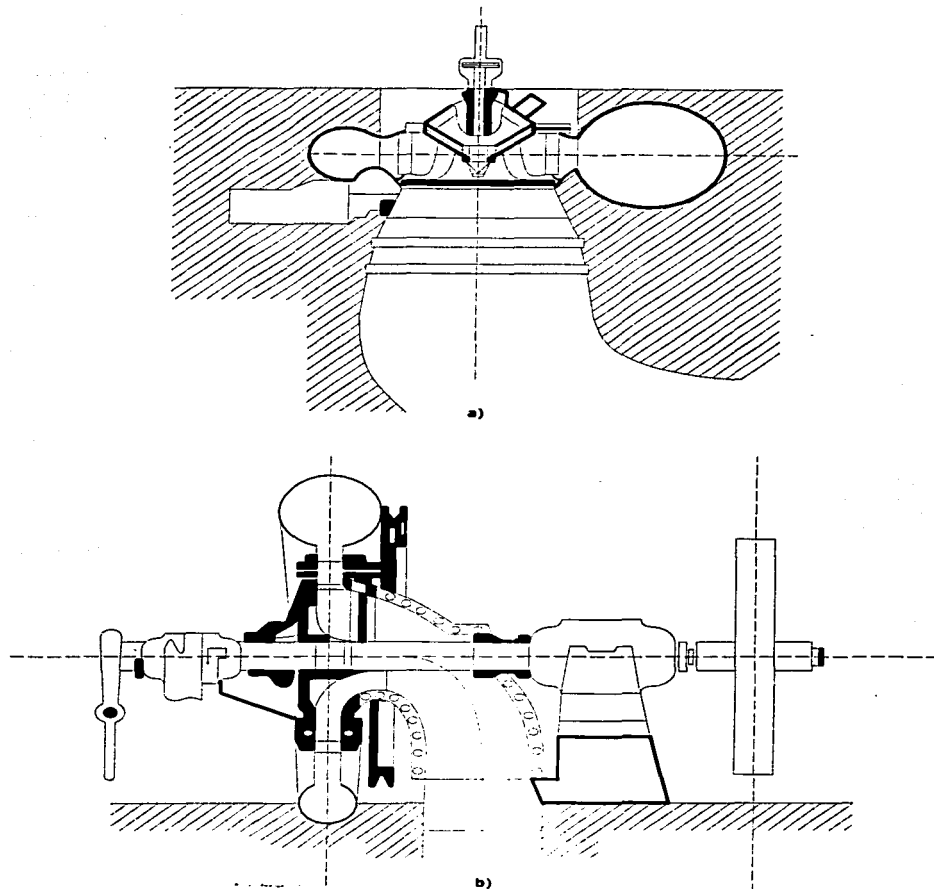


Figura 19. Inciso a) Eje vertical, un rotor y un difusor. Inciso b) Eje horizontal, un rotor y un difusor. (Hitachi).

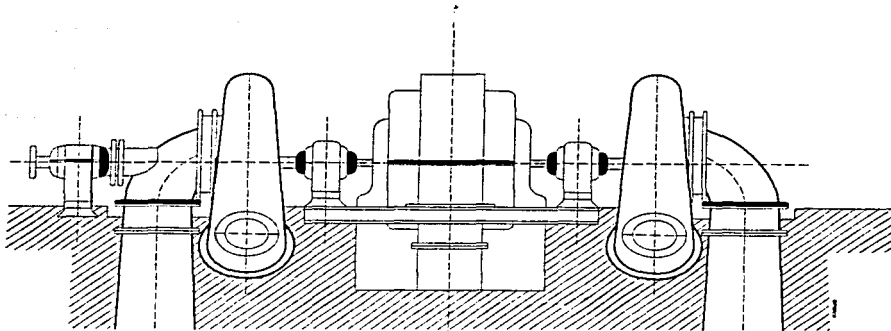


Figura 20. Dos turbinas gemelas en un mismo eje horizontal. (Hitachi).

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES:

1. Están formadas por una espiral que va a alimentar al rodete.
2. Se utilizan para caídas medianas.
3. Tienen un distribuidor que orienta el agua hacia el rodete.
4. A semejan una bomba centrífuga.
5. El agua no está a la presión atmosférica.
6. Descargan a contra presión.
7. Generalmente están provistas de una válvula de mariposa como órgano de seguridad.
8. La regulación se efectúa por medio del distribuidor que consiste en unos álabes móviles dispuestos en forma de persiana a la salida del espiral.

Las características que sirven para ver las diferencias con las turbinas de acción, son los mismos 4 puntos que se indican en las turbinas Kaplan.

b. Turbina Kaplan

GENERALIDADES

La Kaplan¹⁵ es una turbina de hélice con álabes ajustables, de forma que la incidencia del agua en el borde de ataque del álabe pueda producirse en las condiciones de máxima acción, cualesquiera que sean los requisitos de caudal o de carga. Se logra, así, mantener un rendimiento elevado a diferentes valores de potencia (figura 1); característica importantísima para un rotor de hélice, pues es una de las deficiencias más notables que se advierten en las turbomáquinas de hélice de álabe fijo, en las cuales la incidencia del agua sobre el borde de ataque se produce bajo ángulos inapropiados, al variar la potencia, dando lugar a separación o choques, que reducen fuertemente el rendimiento de la unidad. Puede, sin embargo, justificarse el empleo de turbinas de hélice de álabe fijo en aquellas instalaciones en las que no sea muy sensible la variación de potencia.

La turbina Kaplan (**figura 21**) debe su nombre al ingeniero Víctor Kaplan (1876-1934), profesor de la Universidad Técnica de Brno (Checoslovaquia), quien concibió la idea de corregir el paso de los álabes automáticamente con las variaciones de potencia. Una técnica constructiva de las turbinas hidráulicas poco desarrolladas al comienzo del siglo, hacía concebir la idea de Kaplan como irrealizable. Pero con el avance del siglo, progresaba el desarrollo tecnológico, y la construcción de la turbina Kaplan fue imponiéndose, primero en Europa y después en el mundo entero. En la actualidad, la turbina Kaplan encuentra aplicación en una gama de cargas que varía aproximadamente de 1 metro a 90 metros, si se incluyen a las turbinas tubulares o de bulbo, que también son de hélice con paso variable.

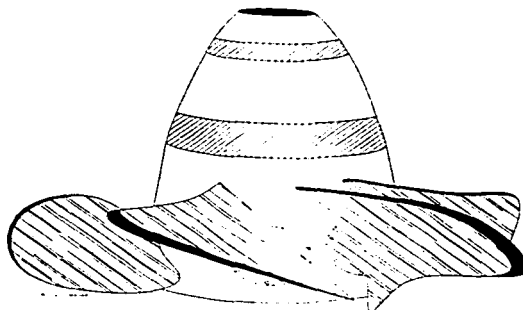


Figura 21. Rodete Kaplan. Planta de Aswan, Egipto, $P = 47\ 775\ \text{KW}$, $H = 31.2\ \text{m}$. $Q = 180\ \text{m}^3/\text{s}$, $N = 100\ \text{rpm}$. (Escher Wyss).

Los álabes de estas turbinas, disminuyen al aumentar el caudal y disminuir la carga (véase **figuras 22, 23 y 24**).

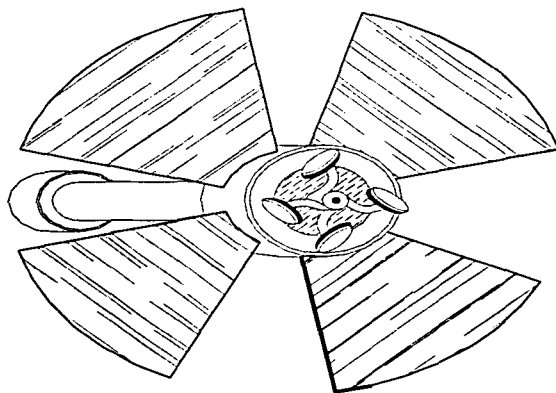


Figura 22. Rodete Kaplan de 4 álabes para saltos pequeños.

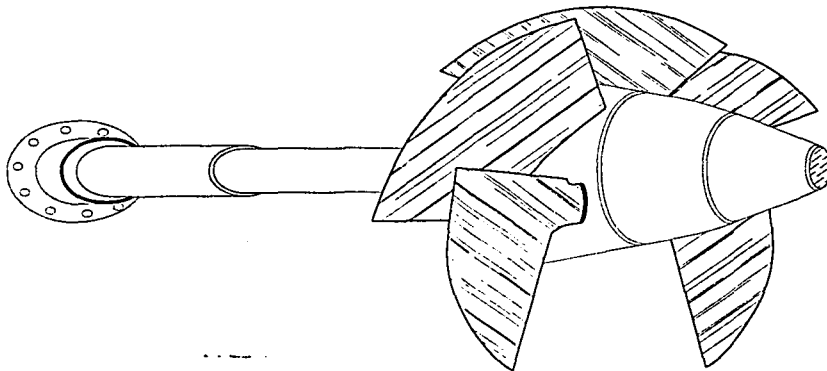


Figura 23. Rodete Kaplan de 5 álabes para saltos medianos.

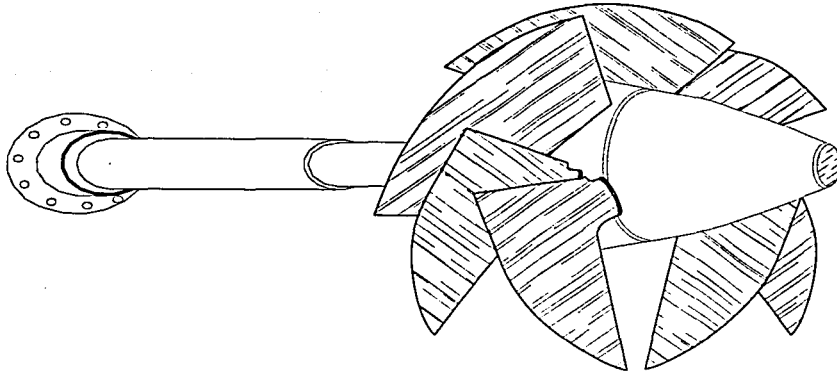


Figura 24. Rodete Kaplan de 7 álabes para saltos grandes.

La turbina Kaplan, además de mantener buen rendimiento en la regulación del gasto o con las oscilaciones de la carga por variación de la cota de nivel del embalse, permite también aumentar el caudal por unidad, *para una determinada carga* y, por tanto, la potencia, con lo cual se puede reducir el número de unidades en ciertos aprovechamientos hidráulicos y, en consecuencia, disminuir los costos de primera instalación. La multiplicación de unidades para atender mejor a las necesidades de la demanda se hace obligado en las plantas que operan aisladas. Pero, en la actualidad, lo más frecuente es la interconexión de plantas, controladas por un Despacho Central, con lo que una planta, en el sistema interconectado, viene a ser como una unidad operando en una planta aislada. Las unidades pueden ser pues de mayor potencia, lo cual, por otra parte, se va haciendo posible gracias al desarrollo de la tecnología constructiva. Bien es verdad, sin embargo, que *si para una carga determinada*, la potencia de la Kaplan puede ser mayor que la de la Francis, dentro de una posible solución con ambos tipos, en *forma absoluta*, la tecnología actual está desarrollando unidades más grandes en turbinas Francis que en ninguna otra turbina hidráulica, debido a que esta turbina permite combinar caudales importantes con cargas relativamente altas. Las Francis de Itaipú, sobre el río Paraná, de 700 MW cada una, son sin duda las turbinas más grandes instaladas hoy día. También las Francis de Grand Coulee, sobre el río Columbia, Washington, Estados Unidos de Norte América, de 611 474 KW cada una, se encuentran entre las mayores del mundo.

Trabaja CON
FALLA DE URGEN

ÓRGANOS PRINCIPALES DE UNA TURBINA KAPLAN

Los órganos principales de una turbina Kaplan son, como en la Francis, la cámara de alimentación o caracol, el distribuidor, el rodete móvil y el tubo de desfogue, ya que es también turbina de reacción. En la **figura 25**, se presenta una sección de una turbina Kaplan, en donde puede apreciarse el tubo de aspiración y también el gobierno de los álabes del rotor y del distribuidor.

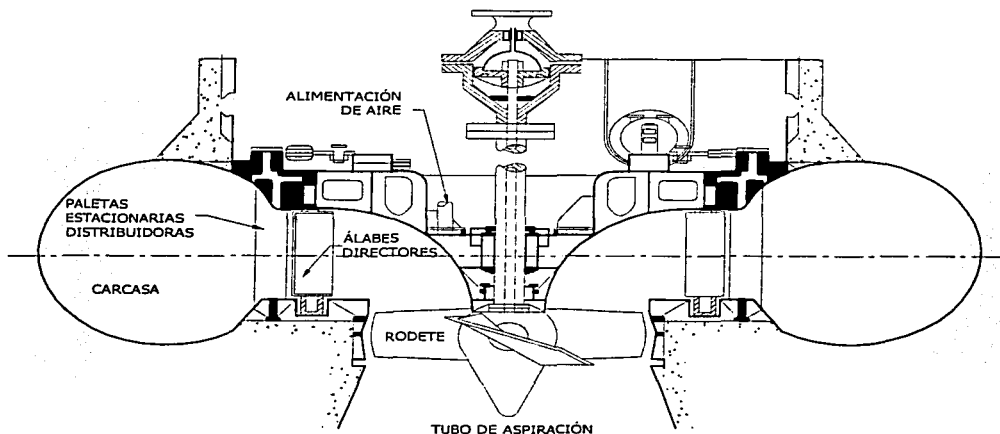


Figura 25. Turbina Kaplan de álabes ajustables.

Las funciones de estos órganos son las mismas que se describieron en la turbina Francis, con excepción del de regulación del paso de los álabes del rotor.

La *cámara de alimentación* suele ser de concreto (véase **figura 26**) en muchos casos, debido a la gran capacidad de gasto que admite la turbina Kaplan. La sección toroidal puede ser circular o rectangular (**figura 27**).

El *distribuidor*, que sigue a la cámara de alimentación, regula el gasto y, además, imprime al agua el giro necesario, en una zona de vórtices libres, que precede al rotor, propiciando el ataque adecuado del agua a los álabes para una transferencia de energía eficaz. Los álabes del distribuidor se ajustan automáticamente, de acuerdo con las necesidades de la potencia, por medio de un servomotor ligado al gobernador que controla la velocidad del eje del grupo turbina-generador.

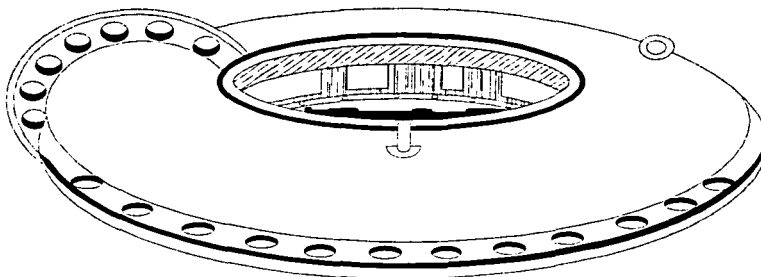


Figura 26. Modelo reducido de cámara de alimentación o caracol de una turbina Kaplan. (Contruzioni Meccaniche).

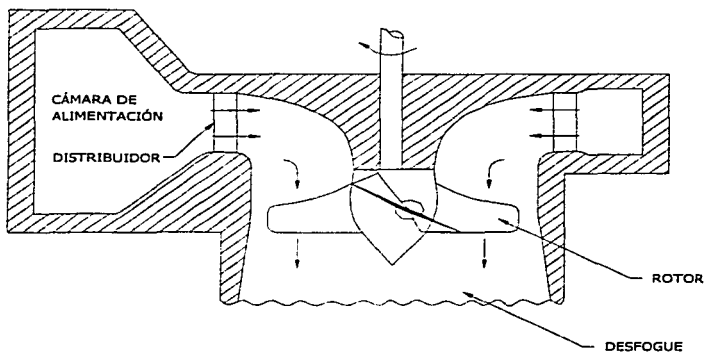


Figura 27. Esquema de una turbina Kaplan.

El rotor de la turbina, de forma de hélice, está constituido por un robusto cubo, cuyo diámetro es del orden del 40% al 50% del diámetro total al extremo de los álabes, en el cual van empotrados los álabes encargados de efectuar la transferencia de energía del agua al eje de la unidad.

La robustez del cubo se justifica no sólo por razones de resistencia mecánica, sino también porque debe alojar en su interior el mecanismo de reglaje del paso de los álabes del rotor.

Los álabes del rotor tienen perfil de ala de avión y desarrollo helicoidal. El perfil de ala permite obtener una acción útil del agua sobre el álabe en el movimiento que aquella tiene respecto a éste.

El tubo de desfogue es casi siempre acodado y semejante al de la turbina Francis.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES:

1. Se utilizan para bajas caídas.
2. El rodete recuerda la forma de una hélice de barco.
3. El ángulo de inclinación de las palas del rodete es regulable.
4. Se utilizan para gastos muy grandes.
5. La regulación se efectúa por medio de un distribuidor como en las Francis y, además, con la inclinación de las palas del rodete.
6. Para estas turbinas, el número de álabes disminuye al aumentar la velocidad específica, esto es, al aumentar el caudal y disminuir la carga.

Características que sirven para ver las diferencias con las turbinas de acción:

1. El distribuidor alimenta a estas turbinas en toda la periferia del rodete.
2. La turbina puede ser alimentada con una espiral de concreto o de acero. Y en muchos casos puede carecer de esta espiral y localizarse en una cámara de agua.
3. El desfogue no se hace libremente a la atmósfera, de ahí que la alimentación se haga en toda la periferia.
4. A caídas y potencias iguales, son más rápidas que las turbinas de acción.

NOTAS:

¹ **Turbomáquinas Hidráulicas Principios Fundamentales.** 3ra. Edición. Ingeniero Manuel Polo Encinas, Limusa.

² Las turbinas hidráulicas de acción, son llamadas también de impulso, y son aquellas que solamente aprovechan la energía cinética del agua. Las de reacción, son capaces de utilizar la energía estática del agua, además, como su grado de reacción es siempre inferior a la unidad, significa que pueden aprovechar la energía dinámica de ésta.

³ Perpendicular al eje de rotación de la máquina.

⁴ La base común de comparación entre los rodetes de turbinas, de tipos diferentes, y entre rodetes del mismo tipo, pero de diseño y características diferentes, se denomina *velocidad específica*, n_s ; ésta es la relación entre la velocidad de un rodete, en el punto de eficiencia más alta, y la salida máxima de potencia a esta velocidad, sin importar el tamaño. No obstante, como la potencia y la velocidad varían con la carga hidráulica, la velocidad específica se define como la relación entre la velocidad N_1 y la potencia P_1 , con una carga de 1 metro (pie). La velocidad específica de cualquier rodete que opere bajo una carga H será: $n_s = N(P)^{1/2} / H^{5/4}$, en donde N , P y H se expresan en rpm, CV y metros para el sistema métrico; rpm, HP, y pies para el sistema inglés.

⁵ Un caballo de fuerza (HP) es igual a 0.7457 KW.

⁶ Son pernos especiales que ligan a los álabes a la rueda por medio de las orejas que éstos tienen.

⁷ Así, los Ensayos No Destructivos juegan el doble papel de herramientas de calidad (de piezas nuevas) y evidenciadores de fallas (de piezas trabajadas).

⁸ Las turbinas Hidráulicas tienen limitada su velocidad por la cavitación. El nombre viene significando la formación de cavidades en el seno del líquido, definidas por burbujas de vapor dentro de la masa líquida y producidas por una vaporización local a causa de ciertas condiciones dinámicas. Estas condiciones suelen presentarse en la parte convexa de los álabes que confina la zona de descarga de una turbina, así como en la región periférica del rodete móvil donde las velocidades tangenciales son altas. En general, en todo punto en que se produzca una aceleración local suficiente para reducir la presión al valor de vaporización. La cavitación disminuye el rendimiento hidráulico, pero el efecto más grave es la erosión de los álabes, que se acentúa más y más una vez iniciada, obligando a revisiones periódicas de la máquina y a la reparación de la parte afectada.

⁹ Es la velocidad que lleva una partícula del fluido cuando tiene su primer contacto con los álabes. La velocidad absoluta puede descomponerse en una componente tangencial, y otra en el plano radial.

¹⁰ Dispositivo hidráulico y electrónico cuya función es el control, regulación y operación de la aguja del inyector y su deflector.

¹¹ Un caballo de vapor (CV) es igual a 0.735 KW.

¹² Vertical hacia abajo en las máquinas de eje vertical.

¹³ Normalmente el zúncho es del mismo material del que se constituye el rotor.

¹⁴ La sección es cónico-elíptica-cuadrangular.

¹⁵ Es la turbina hidráulica típica de reacción de flujo axial, que tiene verdadera importancia en la actualidad.

CAPÍTULO II:

METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



La importancia de los Ensayos No Destructivos (END) queda de manifiesto con el enorme avance que se ha dado en la ciencia y la tecnología a lo largo de los últimos 40 años. A medida que los diseños y máquinas se han perfeccionado a tal grado de sorprendernos con su increíble funcionalidad, limpieza, ahorro de energía, prestaciones y demás, ha sido necesario e imperativo crear sistemas de supervisión y control de los materiales cada vez más complejos con los que se están construyendo. Mauricio Calva Valderrábano y Achim M. Loske Mehling remarcan este hecho:

*“La aplicación de los END es hoy día indispensable en un gran número de campos como el control de materias primas y procesos, la medicina, la aviación, la industria militar, el análisis de obras de arte, verificación de documentos, dinero y, en general, toda industria, maquinaria o aparato que sufra **desgaste** o **fatiga** de algún tipo, siempre y cuando, éste implique un peligro o un gasto considerable en caso de falla. Este es el caso de las centrales termoeléctricas, nucleoelectricas, hidroeléctricas y geotérmicas¹,...”*

Es por eso que los END han tomado la batuta en cuanto a diseño y construcción de máquinas se refiere, y es de gran importancia para la aplicación que se tenga con las turbinas hidráulicas, un estudio cuidadoso de todos estos ensayos.

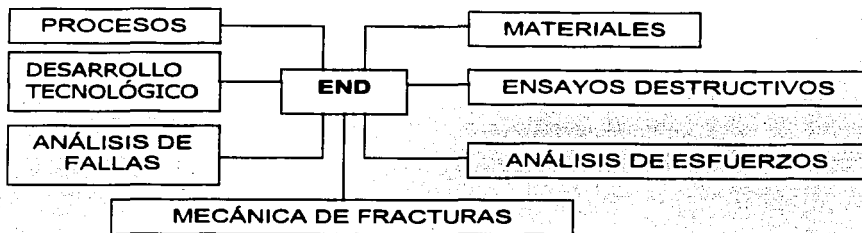
Los análisis metalográficos y pruebas físicas, proveen métodos para la determinación de propiedades y calidad de los metales en la industria; sin embargo, son pruebas destructivas y resulta impráctico probar estos métodos con cada pieza a evaluar. Es en este punto donde el valor e importancia de los END es evidente, ya que la vida útil o el uso de una pieza de acero está basada en la importancia de ser evaluada a través de un método de inspección con razonable seguridad de que los defectos dañinos pueden ser detectados y, entonces, pueda ser instalada la pieza para una vida de servicio completamente segura.

El campo de los END cubre la examinación de materiales y componentes ensamblados, por medio de técnicas que no producen daño a los mismos, pudiéndose llevar a cabo en talleres, fábricas y laboratorios de prueba. Un ejemplo de este último caso es el Instituto de Investigaciones Eléctricas que se encuentra en el estado de Morelos y que en la actualidad es uno de los principales promotores de la aplicación de los END en la industria de México.

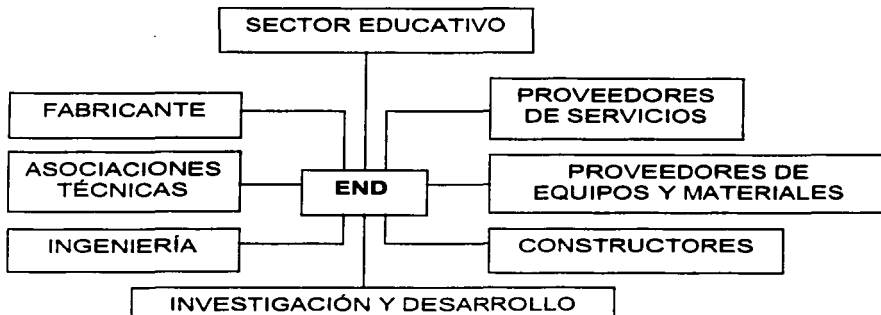
Los END incluyen la examinación para la verificación de la calidad de materiales y la examinación para determinar en las piezas su estado superficial, subsuperficial e interno, que finalmente en conjunto con otras áreas técnicas de evaluación determinan la caracterización total de las piezas.

2.1 RELACIÓN DE LOS END CON OTRAS ÁREAS Y SUS SECTORES DE INFLUENCIA

RELACIÓN DE LOS END CON OTRAS ÁREAS TÉCNICAS



SECTORES DE INFLUENCIA DE LOS END



El primer diagrama indica algunas áreas de apoyo para los objetivos de los END², y que también serán de importancia decisiva para el análisis efectivo de las turbinas hidráulicas que nos interesan. El segundo diagrama muestra los sectores que hasta cierto punto dependen en gran medida de los END para sus fines.

2.2 MÉTODOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

La gama de END es muy amplia. partiendo de la base que al ensayar una pieza, ésta no sufre alteraciones que pongan en peligro la continuidad de su uso. Los END pueden dividirse en dos grupos generales: en el primer grupo están aquellos ensayos para "localizar discontinuidades", tales como:

- Inspección visual de la superficie.
- La aplicación de líquidos penetrantes para localizar grietas superficiales.
- El uso del estetoscopio para localizar los cambios de sonido causados por fallas ocultas.
- Los ensayos radiográficos para inspeccionar el interior de los objetos opacos, de espesor apreciable, para conocer su homogeneidad.
- El ensayo electromagnético (Corrientes parásitas o de Eddy), que depende de las características magnéticas de un punto a otro para detectar cualquier cambio en sus características mecánicas o estructurales.
- Ensayos de partículas magnéticas, que sirven para localizar discontinuidades en base a las irregularidades del flujo magnético.
- Ensayos ultrasónicos, que dependen de los efectos ultrasónicos reflejados para localizar las discontinuidades.

El segundo grupo de END, incluye los utilizados para determinar las "características dimensionales, físicas o mecánicas" de un material o componente, tales ensayos son:

- Ensayos de medición de espesores de recubrimiento, se usan los métodos magnéticos para medir el espesor de los revestimientos o baños de esmalte, pintura y níquel sobre base metálica.
- El ensayo de vibración para determinar los cambios en la frecuencia natural del sistema debido a los cambios en las propiedades del material.
- El ensayo ultrasónico para determinar el módulo de elasticidad.
- Aspereza superficial o rugosidad.

Otra clasificación de los END es la siguiente:

- a. Exámenes volumétricos (sanidad interna): radiografía y ultrasonido.
- b. Exámenes superficiales: líquidos penetrantes, partículas magnéticas, la inspección visual, metalografía en campo y corrientes inducidas o de Eddy.

Los END aparecen reglamentados por la ASNT (Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos) que es el organismo que los regula en los Estados Unidos de Norteamérica, y que en muchos países se toma como referencia.

2.3 ORGANISMOS REGULADORES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Por la vecindad que existe con los Estados Unidos de Norte América, se han adoptado tanto la normativa, como los códigos (ANSI, ASME, API, ASTM, AWS, etc.) para la fabricación, construcción y mantenimiento de partes, componentes e instalaciones completas; algunos de ellos mencionan o incluyen la evaluación con END, como es el caso del código ASME en su sección V, en el que se menciona que el personal que aplica estos ensayos debe estar calificado y certificado y, para tal fin, se apoya en la práctica recomendada SNT-TC-1A, la cual está respaldada por los organismos American Society for Non Destructive Testing (ASNT) y (SNT), ambas norteamericanas. La aplicación de esta práctica se ha difundido a otros países como es el caso de España. La Asociación Española para el control de calidad, ha basado su práctica recomendada, END-C-1, en la SNT-TC-1A.

En México, debido a las exigencias para la exportación de productos que requieren para su aceptación certificados de calidad de personal calificado y certificado Nivel III, el cual en ocasiones tiene que ser contratado exclusivamente para dar la certificación correspondiente, inspeccionando o avalando las inspecciones realizadas por personal de nivel inferior I ó II, firmando los certificados y asentando un número de registro otorgado por la ASNT o cualquier otro organismo regulador equivalente.

Todo lo anterior, incrementa el costo del producto, el cual podría ser recuperado dependiendo del volumen y costo unitario de las piezas. Debido a la salida de divisas que se tienen por este concepto, las empresas optan por enviar a su personal técnico a calificar al extranjero, para que posteriormente éste se encargue de preparar al resto del personal, pero no todas las empresas cuentan con los medios suficientes para llevar a cabo esto, haciendo necesario contar en nuestro país con gente calificada y certificada que pueda ejecutar los trabajos eliminando la dependencia.

Actualmente nuestro país, participa en Programa Regional de END para América Latina y el Caribe, con la finalidad de contar con una metodología propia adecuada a nuestras necesidades.

2.4 NORMATIVA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ENSAYO DE FUGAS	ASME	SE-425 IDENTICA CON: ASTM-E-425-71F
		SE-432 IDENTICA CON: ASTM-E-432
LÍQUIDOS PENETRANTES	ASME	SE-165 IDENTICA CON: ASTM-E-165
		SE-270 IDENTICA CON: ASTM-E-270-68 NOM-B-133-1976 (Mexicana)
PARTICULAS MAGNÉTICAS	ASME	SE-109 IDENTICA CON: ASTM-E-109-63
		SE-138 IDENTICA CON: ASTM-E-138
		SE-269 IDENTICA CON: ASTM-E-269-68 NOM-B-124-1987 (Mexicana)
ENSAYOS RADIOGRÁFICOS	ASME	SE-94 IDENTICA CON: ASTM-E-94-68
		SE-142 IDENTICA CON: ASTM-E-142-72
CORRIENTES INDUCIDAS O DE EDDY	ASME	SE-215 IDENTICA CON: ASTM-A-215-67
		SE-243 IDENTICA CON: ASTM-E-243-71
		SE-268 IDENTICA CON: ASTM-E-268-68
		SE-309 IDENTICA CON: ASTM-E-309-71 NOM-B-14-1987 (Mexicana)
EXAMEN ULTRASÓNICO	ASME	SA-388 IDENTICA CON: ASTM-A-388
		SA-435 IDENTICA CON: ASTM-A-435-73
		SA-577 IDENTICA CON: ASTM-A-577
		SB-548 IDENTICA CON: ASTM-B-548-71E
		SE-113 IDENTICA CON: ASTM-E-113
		SE-213 IDENTICA CON: ASTM-E-213-68

A.S.M.E.- SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS MECÁNICOS.

A.S.T.M.- SOCIEDAD AMERICANA DE ENSAYE DE MATERIALES.

Es interesante notar como la variedad de los END tienen una amplia gama de Normas que los rigen. Así mismo es importante que el personal que ejecute estas pruebas cuente con calificación adecuada para cada caso. El procedimiento presentado a continuación, pertenece al Órgano de Certificación de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos (CERTIAEND) y dará una idea sobre la manera eficaz de llevar a cabo esta tarea de certificación y calificación del personal, enfocado a evaluar END.

2.4.1 PROCEDIMIENTO PC03: CUALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL QUE REALIZA END

PC03
Rev.:5
Fecha: 29-04-02

CONTENIDO:

- 1. OBJETO**
- 2. ALCANCE Y APLICACIÓN**
- 3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES**
- 4. NIVELES DE CUALIFICACIÓN**
- 5. ADMISIÓN A EXAMEN**
- 6. EXÁMENES DE CUALIFICACIÓN**
- 7. SOLICITUD Y EMISIÓN DE LA CERTIFICACIÓN**
- 8. RENOVACIÓN Y RECERTIFICACIÓN**
- 9. REVISIONES, RECLAMACIONES Y APELACIONES**
- 10. REGISTRO DE EXÁMENES Y CERTIFICACIONES**
- 11. PERIODO TRANSITORIO**

ANEXOS:
DOCUMENTOS DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN (DINF) (véase diskette)

1. OBJETO

Establecer y definir los requisitos generales para la gestión, el control y la administración por el Órgano de Certificación de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos, CERTIAEND, de la cualificación y certificación del personal responsable de la realización y evaluación de los Ensayos No Destructivos (END).

2. ALCANCE Y APLICACIÓN

Los métodos de END y sectores industriales cubiertos por este procedimiento son los siguientes:

MÉTODOS:

- Ultrasonidos (UT)
- Radiología Industrial (RT)
- Partículas Magnéticas (MT)
- Líquidos Penetrantes (PT)
- Corrientes Inducidas (ET)
- Ensayos de Fugas (excluidos los ensayos hidráulicos, LT)
- Inspección Visual (VT)

SECTORES:

- **Materiales metálicos** (Moldeados, forjados, hechurados, tanto de materiales férreos como no férreos).
- **Soldadura** (tanto de materiales férreos como no férreos).
- **Materiales no metálicos** (hormigón, cerámicas, etc.).
- **Aeronáutico**.
- **Multisectorial**: se pueden considerar como multisectores las combinaciones de dos, tres o cuatro sectores.

3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

Las funciones y responsabilidades básicas de los organismos o entidades involucrados en la cualificación, certificación y recertificación del personal de END son las siguientes:

3.1 CERTIAEND

CERTIAEND es el Órgano de Certificación de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos (AEND) y rige todas las actividades relacionadas con la certificación del personal en END.

Las funciones de CERTIAEND serán:

- Gestionar y administrar el sistema de certificación del personal de END.
- Implantar los procedimientos que desarrollen el sistema de certificación.
- Asegurar la identificación, trazabilidad y confidencialidad de las probetas de examen, y de que no se utilicen jamás en actividades de formación de personal.
- Conservar los registros adecuados de las actividades de certificación.
- Fijar las tasas correspondientes de homologación y de examen.

Para poder desarrollar estas funciones, CERTIAEND tendrá que:

- Asignar los recursos necesarios, tanto humanos como materiales, para preparar, realizar y calificar los exámenes de cualificación.
- Ser independiente de todo interés particular predominante.

3.2 Empresa (Empresarios)

La Empresa presentará al candidato ante CERTIAEND y validará y evidenciará documentalmente la información personal de dichos candidatos a ser certificados, relativa a la educación, formación y experiencia requeridos para que los candidatos sean admitidos. Un empresario puede ser al mismo tiempo candidato.

Las empresas que presenten candidatos a ser certificados en END serán responsables de:

- Validar y evidenciar documentalmente la información personal de dichos candidatos, relativa a la educación, formación y experiencia requeridos para admisión a examen.
- Emitir la autorización para operar, incluyendo además la evaluación o pronunciamiento de los resultados de ensayos con respecto a lo establecido en procedimientos, normativas, códigos, especificaciones, etc.
- Verificación de la agudeza visual, como se define en el apartado 5.3
- Verificar y certificar la continuidad del candidato en la práctica de las actividades de END sin interrupción significativa.
- Abonar las tasas correspondientes.

3.3 Candidato

Persona que solicita la certificación, que trabaja bajo la supervisión de personal certificado y cumple con los requisitos necesarios para ser certificado.

Para ser admitido a examen, la empresa para la que trabaja deberá manifestar su conformidad mediante escrito firmado y sellado, haciendo constar en el certificado el fin para el que se emite.

Los candidatos pueden ser autónomos o estar desempleados, mientras proporcionen evidencias documentadas de que han adquirido su experiencia bajo la supervisión de personal certificado.

4. NIVELES DE CUALIFICACIÓN

Una persona certificada, de acuerdo con el presente procedimiento, debe ser clasificada en uno de los tres niveles que a continuación se indican, en función de su cualificación.

4.1 Nivel 1

El personal certificado como nivel 1 estará cualificado para llevar a cabo las operaciones de END de acuerdo con instrucciones escritas y bajo la supervisión de personal de nivel 2 o nivel 3. Será capaz de:

- a. Ajustar el equipo.
- b. Efectuar los ensayos.
- c. Registrar y clasificar los resultados en términos de criterios escritos.
- d. Informar sobre los resultados.

No será responsable de la elección del método o técnica de ensayo a utilizar, ni de la interpretación y evaluación de los resultados de los mismos.

4.2 Nivel 2

El personal certificado como nivel 2 tendrá capacidad para efectuar y dirigir los END de acuerdo con procedimientos establecidos o reconocidos. Deberá ser competente para:

- a. Seleccionar la técnica para el método de ensayo que se debe utilizar.
- b. Definir las limitaciones de la aplicación del método de ensayo.
- c. Comprender las normas y especificaciones de END y transcribirlas en instrucciones prácticas de ensayo adaptadas a las condiciones reales de trabajo.
- d. Ajustar el equipo y verificar los ajustes.
- e. Realizar y supervisar los ensayos.

- f. Interpretar y evaluar los resultados de acuerdo con las normas, códigos o especificaciones aplicables.
- g. Preparar instrucciones de ensayo por escrito.
- h. Realizar y supervisar todas las obligaciones del nivel 1.
- i. Proporcionar asistencia al personal de nivel inferior al nivel 2.
- j. Organizar y redactar los informes de los ensayos no destructivos.

4.3 Nivel 3

Una persona certificada como nivel 3 estará cualificada para realizar y dirigir cualquier operación en los métodos y sectores de END para los que está cualificada. Entre las diferentes tareas que le son confiadas, una persona certificada como nivel 3 debe ser competente para:

- a. Asumir la responsabilidad total de una instalación de END y su personal.
- b. Establecer y validar técnicas y procedimientos.
- c. Interpretar normas, códigos, especificaciones y los procedimientos.
- d. Designar los métodos de ensayo particulares, así como las técnicas y procedimientos que se deban emplear.
- e. Ejecutar y supervisar todas las tareas del nivel 1 y del nivel 2.

El personal certificado como nivel 3 ha demostrado:

- a. Competencia para interpretar y evaluar los resultados en términos de las normas, los códigos y las especificaciones existentes;
- b. Experiencia suficiente en materiales, fabricación y tecnología de productos para seleccionar métodos y establecer técnicas y asesorar en el establecimiento de los criterios de aceptación cuando éstos no existan.
- c. Un conocimiento general de otros métodos y sectores de END
- d. Capacidad para formar y dirigir a personal de nivel inferior al 3.

Un nivel 3 puede actuar como examinador de CERTIAEND siempre que cumpla con los requisitos indicados en el procedimiento PC05, "Designación y Funciones de tribunales de examen".

5. ADMISIÓN A EXAMEN

Para poder ser admitidos a examen los candidatos que hayan solicitado a CERTIAEND la certificación en determinados métodos, sectores y niveles, tendrán que satisfacer y evidenciar documentalmente el cumplimiento de los requisitos de formación y experiencia, así como los requisitos de visión que se desarrollan a continuación y hacer efectivo el pago del importe de las tasas de examen vigentes.

El pago de las tasas de examen da derecho a la revisión de expedientes, realización de examen en el plazo de un año, y emisión de certificado si procede, transcurrido este periodo de tiempo, si el candidato no se ha presentado a ninguna de las convocatorias de examen de las existentes, se le considerará como un candidato inicial a certificación, procediendo a un nuevo pago de tasas.

5.1 Requisitos de formación

5.1.1 Nivel 1 y Nivel 2

Los candidatos a ser certificados como Niveles 1 o 2 en cualquiera de los métodos y sectores de END cubiertos por este procedimiento, deberán presentar evidencias de haber completado satisfactoriamente su formación en END.

Las evidencias deberán incluir:

- Haber recibido una formación cuya duración cumpla lo estipulado en la tabla 1, explicitando el número de horas dedicadas a esta actividad formativa.
- Haber superado satisfactoriamente dicha formación.
- Identificación del formador o formadores que intervienen en la misma.
- Identificación de la entidad que interviene en la formación.
- Programa que ha desarrollado.

Respecto al contenido (temario) de la formación que debe recibir un candidato, CERTIAEND recomienda adaptarse a lo indicado por el Comité Internacional de Ensayos no Destructivos en sus "Recomendaciones completas sobre la armonización de la enseñanza, cualificación y certificación del personal de END (noviembre de 1985)", documentos ICNT WH 16/22-85. Ejemplares de este documento se pueden obtener en "SKNDO - Foundation for the Qualification of Non Destructive Testing Personnel" Postbox 190, 2700 AD Zoetermeer, Holanda. Traducción y resumen de este documento se encuentra en la AEND.

En cualquier caso, CERTIAEND no verificará ni exigirá que el contenido de los cursos se adapte a este u otro temario, entendiéndose que el propio examen de certificación que el candidato ha de superar será la mejor prueba de la adecuación del proceso de formación al que haya sido sometido. De igual forma, CERTIAEND no homologa centros de formación y admite, por tanto, cualquier formación impartida en cualquier centro incluida la propia empresa del candidato.

TABLA 1.- Formación mínima requerida

	MÉTODO	Nivel 1 (horas)	Nivel 2 (horas)
	ET	40	40
	PT	16	24
	MT	16	24
	VT	16	24
	RT	40	80
	UT	40	80
LT Nota 5	A – Conocimientos básicos	8	16
	B – Método de variación de presión	14	28
	C – Método de gas trazador	18	36

Nota 1:

Las horas de formación comprenden los cursillos teóricos y prácticos.

Nota 2:

El acceso directo al nivel 2 exige el total de las horas indicadas para ambos niveles 1 y 2.

Nota 3:

Para regular el número de horas, la semana laboral se considera de 40 horas.

Nota 4:

El certificado de formación debe indicar el número de horas, que el candidato ha superado satisfactoriamente una prueba de calificación, e identificar la entidad y personal que impartió dicha formación y programa de formación desarrollado.

Nota 5:

El candidato tiene que superar la parte A y, además, cualquiera de las B o C, o las partes B y C.

Nota 6:

En caso de certificación con aplicación limitada los requisitos de formación se reducen en un 50%.

Nota 7:

En el caso de acreditarse una formación académica, como graduado de escuela técnica o universidad, o haber cursado dos años de estudios superiores, se aplicará una reducción del 50%.

5.1.2 Nivel 3

Teniendo en cuenta el potencial científico y técnico de los candidatos a certificación de nivel 3, se considera que la preparación para la cualificación puede llevarse a cabo: mediante la participación en cursos de formación, asistencia a conferencias y seminarios, u otros créditos equivalentes, etc.

El candidato debe presentar evidencias documentales de su formación y preparación.

Las horas a justificar, al menos, deberán sumar el doble de las requeridas para la formación de nivel 2 más las correspondientes a nivel 1, según lo reflejado en la tabla 1.

5.2 Requisitos de experiencia

La experiencia puede adquirirse antes o después de haber aprobado el examen de certificación.

Cuando se adquiera después de aprobar el examen sólo se conservarán los resultados, del mismo, durante un año, y para la expedición del certificado correspondiente la experiencia deberá ser confirmada documentalmente por la empresa.

Se puede acreditar por experiencia en el trabajo simultáneo en dos o más métodos de END, de los indicados en este procedimiento con reducción de la experiencia total requerida como sigue:

- a. Dos métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 25%.
- b. Tres métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 33%.
- c. Cuatro o más métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 50%.

La reducción correspondiente se aplicará sobre el total de métodos acreditados, según lo recogido en la tabla 2 y tabla 3.

En todos los casos, al candidato se le exigirá que por cada uno de los métodos de ensayo para los que desea certificación posea al menos la mitad del tiempo requerido.

5.2.1 Nivel 1 y Nivel 2

TABLA 2. - Experiencia mínima exigida para niveles 1 y 2

Método de END		Meses de experiencia	
		Nivel 1	Nivel 2
ET		3	9
PT		1	3
MT		1	3
VT		1	3
RT		3	9
UT		3	9
LT	Experiencia total	3	9
	Experiencia parcial para el método de presión	2	6
	Experiencia parcial para el método de detección por gases	2	6

Nota 1:

La experiencia en el trabajo en meses, se basa en una semana laboral de trabajo de 40 horas. Cuando un individuo trabaja más de 40 horas por semana, puede hacerse acreedor a una experiencia basada en el número total de horas, pero se le requerirá demostrar tal experiencia.

Nota 2:

Para la certificación como nivel 2, de un nivel 1, se le exigirá al candidato la experiencia indicada en la tabla 2.

Para acceso directo al nivel 2, la experiencia requerida será la suma de los periodos asignados para los niveles 1 y 2.

Nota 3:

Hasta un máximo del 50% de la experiencia práctica requerida se puede obtener mediante un curso práctico apropiado de la misma duración.

Este curso debe estar enfocado a soluciones prácticas de problemas de ensayo frecuentes y su programa de estar aprobado por CERTIAEND.

No podrá emplearse este procedimiento cuando se opte a certificación de aplicación limitada.

Nota 4:

Se puede reducir la experiencia en un 50% cuando se solicite certificación de aplicación limitada, no siendo ésta inferior a un mes.

Nota 5:

La reducción máxima no sobrepasará el 50%.

5.2.2 Nivel 3

Las responsabilidades del nivel 3 exigen unos conocimientos relativos al campo técnico de cualquier método y sector de END. Este conocimiento amplio puede adquirirse a través de diversas combinaciones de educación, formación profesional y experiencia. La tabla 3 detalla la experiencia mínima requerida en función del nivel académico. Todos los candidatos para la certificación como nivel 3 en cualquier método y sector de END deberán haber completado satisfactoriamente ($\geq 70/100$) el examen práctico para nivel 2 en ese método y sector, excepto la redacción de instrucciones escritas para el nivel 1.

TABLA 3. - Experiencia mínima exigida para nivel 3

	Título	Experiencia (en meses)
	Acceso a nivel 3 de una persona certificada en nivel 2	Titulado medio o superior en escuela técnica o facultad
Haber aprobado 2 años como mínimo de estudios en escuela técnica o facultad o poseer la titulación de FP-2		24
Otros estudios no contemplados		48
Acceso directo a nivel 3. El candidato deberá tener completado satisfactoriamente el examen práctico para el nivel 2 en ese mismo método	Titulado medio o superior en escuela técnica o facultad	24
	Haber aprobado 2 años como mínimo de estudios en escuela técnica o facultad o poseer la titulación de FP-2	48
	Otros estudios no contemplados	72

Nota 1:

Si el título universitario o formación profesional es en END, la experiencia requerida para el acceso a nivel 3 se puede reducir en un 50%.

Nota 2:

La experiencia para certificación como nivel 3 deberá ser la correspondiente a la antigüedad como nivel 2. Para el acceso directo a nivel 3 sin estar previamente certificado como nivel 2, el candidato deberá haber trabajado en un nivel comparable al del nivel 2 durante el periodo especificado.

5.3 *Requisitos de visión*

El candidato deberá aportar evidencia de una visión satisfactoria, determinada por un oftalmólogo, óptico u otra persona médicamente autorizada identificada por su número de colegiado, de acuerdo con los requisitos siguientes:

- a. Una visión cercana que a una distancia no inferior de 30 cm, permita leer, por lo menos con un ojo con o sin corrección, como mínimo, las letras de la escala 1 de la carta normalizada Jaeger o las letras "Times Roman tamaño 4.5" o equivalente a juicio de la persona, médicamente autorizada, que emite la certificación.
- b. Una visión en color suficiente para que el candidato pueda distinguir y diferenciar el contraste entre los colores utilizados en el método de END a utilizar, tal como se ha especificado por la empresa en la que trabaja el aspirante a la certificación.

La verificación de la agudeza visual deberá hacerse anualmente.

6. EXÁMENES DE CUALIFICACIÓN

Este apartado establece los contenidos genéricos de las diferentes partes o tipos de que constan los exámenes de cualificación de END: Generales, Específicos y Prácticos. Los requisitos para volver a examinarse de las partes que no se han pasado, se describen en el punto 6.6 de este procedimiento. Salvo las excepciones que se detallarán más adelante, en el punto 11, todos los candidatos a la certificación tendrán que efectuar los exámenes que se indican a continuación para cada uno de los niveles.

Los exámenes deberán realizarse de acuerdo a las instrucciones que se adjuntan en el formato DINF-PC03-7, incluido como anexo.

6.1 Contenido genérico para los exámenes de Nivel 1 y 2

6.1.1 Examen general.

Será escrito, en forma de cuestionario y las preguntas, que serán de elección múltiple, versarán acerca de la teoría general del método correspondiente de END. Las preguntas estarán seleccionadas de forma aleatoria, mediante la aplicación informática existente, entre las que componen la colección en vigor disponible en CERTAEND de acuerdo a lo establecido en el procedimiento PC08, "Gestión de Exámenes". El número mínimo de preguntas de este examen se indica en el documento DINF-PC03-5 nombrado: "Esquema de tipos de examen", incluido como anexo.

En el método de radiología industrial se incluirán preguntas de rayos X y de rayos gamma, así mismo, habrá preguntas de protección radiológica, si bien no existirá examen específico de protección radiológica por existir reglamento al efecto, y ser esto responsabilidad del organismo regulador, Consejo de Seguridad Nuclear.

El porcentaje mínimo de aciertos para poder aprobar este examen es del 70%. El tiempo máximo permitido para realizar el examen se calculará a razón de 2 minutos por pregunta.

6.1.2 Examen específico

Será escrito, en forma de cuestionario con preguntas de elección múltiple cuyo contenido se referirá a aspectos de la aplicación específica del método en el sector o

sectores objeto de la cualificación. Las preguntas se seleccionarán de forma aleatoria entre las que componen la colección en vigor existente en CERTIAEND de acuerdo al procedimiento PC08. El número mínimo de preguntas del examen se indica en el documento mencionado, DIN-PC03-5.

En el examen específico del método de fugas se realizarán por separado las dos variantes posibles: Variación de presión, 20 preguntas. Gas trazador, 20 preguntas, no existiendo la posibilidad del examen en conjunto.

El porcentaje mínimo para poder aprobar el examen será del 70%.

El tiempo máximo permitido para realizar el examen se calculará a razón de 3 minutos por pregunta.

El examen incluirá preguntas que impliquen cálculos, procedimientos escritos y preguntas sobre códigos, normas Europeas o españolas (UNE) y otras especificaciones.

6.1.3 Examen práctico

Este examen tendrá la complejidad y extensión tales que permita al examinador comprobar la capacidad del candidato para aplicar el método de END en condiciones de ensayo real sobre un determinado número de probetas, éste viene determinado en el documento DCER-42: "Número mínimo y tipo de las probetas para los exámenes prácticos de nivel 1 y 2."

Para dicha comprobación el examinador dispondrá de una pauta de examen práctico, con la que evaluar y calificar el ejercicio del candidato.

6.1.3.1 Examen Práctico para nivel 1

1.- Conocimiento del equipo:

- Donde se evaluará la aplicación y conocimientos del candidato acerca de los ajustes, teoría general del método y comprobaciones de funcionamiento del equipamiento y material complementario necesario para el ensayo.

2.- Conocimiento de la técnica aplicada a la probeta:

- Evaluar la destreza y habilidad del candidato en la realización de ensayo a la probeta objeto de examen.

3.- Detección y localización de las discontinuidades:

- Evaluar los parámetros básicos del ensayo registrados y los resultados de la inspección, en términos de discontinuidades detectadas y localizadas.

La puntuación mínima en porcentaje requerido para aprobar este examen será del 70%. El tiempo máximo para efectuar este examen dependerá del método, sector(es) y del ejemplo propuesto, y será de dos horas como máximo por cada probeta o volumen de ensayo.

El examinador utilizará como referencia las instrucciones recogidas en el procedimiento PC12, "Pautas del Examen Práctico" y le dará al nivel 1 las instrucciones pertinentes para la realización del ensayo.

6.1.3.2 Examen práctico para nivel 2.

1.- Conocimiento del equipo:

- Donde se evaluará la aplicación y conocimientos del candidato acerca de los ajustes, teoría general del método y comprobaciones de funcionamiento del equipamiento y material complementario necesario para el ensayo.

2.- Conocimiento de la técnica aplicada a la probeta:

- Evaluar la destreza y habilidad del candidato en la realización del ensayo de examen. El candidato tendrá la facultad de elegir la técnica de END aplicable y la definición de las condiciones de operación en relación con un código, norma o especificación dados.

3.- Detección y localización de las discontinuidades:

- Evaluar los parámetros básicos del ensayo registrados y los resultados de la inspección, en términos de discontinuidades detectadas y localizadas en relación con un código, norma o especificación.
- Para el examen radiográfico, el candidato a nivel 2 tomará las radiografías él mismo, a menos que esté certificado como nivel 1 en radiografía. Además, tendrá que interpretar al menos 12 radiografías por cada sector industrial implicado.
- El tiempo concedido por probeta o volumen es de 3 horas.

4.- Redacción de una Instrucción escrita para un nivel 1:

- Preparar una instrucción escrita y detallada de END para Nivel 1, en la que se describa la información relativa al ensayo concreto, de una pieza o probeta, satisfaciendo los requisitos de una especificación o normativa determinada.

El tiempo máximo para la redacción de la mencionada instrucción será de 2 horas. La puntuación mínima requerida para pasar este examen será del 70%. El examinador utilizará como referencia las instrucciones recogidas en el procedimiento PC12.

6.2 Contenido genérico para los exámenes de Nivel 3

Estará compuesto de las dos partes fundamentales siguientes:

- a. Examen básico.
- b. Examen del método principal (en la que el candidato ha solicitado la certificación).

Los candidatos que accedan directamente a nivel 3 sin estar previamente certificados como nivel 2, deberán realizar además de las dos partes anteriores, tantos exámenes prácticos sobre probeta como sectores solicitados de forma que completen el examen práctico de nivel 2, a excepción de la redacción de instrucciones escritas para un nivel 1.

6.2.1 Contenido del examen básico

Es conveniente que el candidato apruebe este examen el primero, y su validez se conserva durante 5 años condicionada a la superación del examen del método principal en el periodo mencionado.

Consta de dos partes y será tal que permita demostrar al candidato su conocimiento acerca de:

Parte A:

- La tecnología y la ciencia de los materiales relacionados con los productos y procesos a los que puede ser aplicado el método y el sector de END en el que el candidato aspire a ser certificado, incluyendo la defectología típica correspondiente.
- El sistema de cualificación y certificación del personal de END definido en la Norma UNE-EN473.

Parte B:

- La teoría general aplicable para Nivel 2 de, al menos, cuatro (4) métodos de END seleccionados por el candidato entre los que aparecen en este procedimiento en el punto 2. De estos métodos elegidos, uno como mínimo tiene que ser volumétrico (ultrasonidos o radiografía).

Las preguntas del examen básico se seleccionarán de forma aleatoria entre las procedentes de la colección existente en CERTIAEND de acuerdo al procedimiento PC08.

El cuestionario será de tipo "test", con varias contestaciones posibles y una sola contestación correcta.

El porcentaje de puntuación mínima requerida para aprobar cada uno de estos exámenes será del 70%.

El mínimo de preguntas requerido se indica en el documento DINF-PC03-5. El tiempo máximo permitido para realizar el examen se calculará a razón de 2 minutos por pregunta.

6.2.2 Contenido del examen del método principal

Será tal que permita demostrar al candidato el conocimiento acerca del método principal en el que ha solicitado la certificación y, para ello, esta parte del examen de Nivel 3 se subdivide en las siguientes:

- **Examen general:** Acerca de la teoría general del método principal. Este examen será escrito, del tipo de elección múltiple y las preguntas se seleccionarán de forma aleatoria entre las procedentes de la colección en vigor de CERTIAEND según el procedimiento PC08.
- **Examen específico:** Acerca de la teoría específica de la aplicación del método a determinados productos o procesos del sector. En este examen, al menos la mitad de las preguntas serán de elección múltiple e igualmente serán seleccionadas, aleatoriamente, según el procedimiento PC08, de la colección en vigor existente en CERTIAEND.
- **Examen práctico:** Consiste en la preparación, por el candidato, de un procedimiento de END en el método en que ha solicitado la certificación. El procedimiento cubrirá el examen de un elemento o componente de acuerdo con un código o norma determinado. El examinador utilizará como referencia las instrucciones recogidas en el procedimiento PC12. Durante este examen el candidato podrá consultar documentación.

El número de preguntas se indica en el documento DINP-PC03-5. El porcentaje mínimo requerido para aprobar cada examen será del 70%. El tiempo máximo permitido para realizar el examen se calculará a razón de 2 minutos por pregunta.

6.3 Realización de los exámenes

Todos los exámenes se realizarán en instalaciones propias de la AEND o en instalaciones ajenas. En este último caso se actuará según lo descrito en el procedimiento PC08.

6.3.1 Identificación de los candidatos por CERTIAEND

En el examen, el candidato deberá estar en posesión de una prueba válida de su identidad y de la notificación oficial, DCER-09, para el examen que deberá mostrar a los examinadores o vigilantes a petición de éstos.

Cualquier candidato que, durante el transcurso del examen no se atenga a las reglas del mismo o que actúe como autor o cómplice de conducta fraudulenta, quedará excluido del examen. El candidato tendrá que esperar entonces un período mínimo de un año antes de poder presentarse nuevamente a examen.

6.3.2 Personal examinador

Los exámenes de nivel 1 y 2, tanto escritos como prácticos, serán preparados, vigilados y calificados por un tribunal de examen nombrado de acuerdo con el procedimiento PC05.

El examinador calificará los exámenes escritos realizados por el candidato y juzgará, evaluará y calificará los exámenes prácticos de acuerdo con una instrucción o guía que incluya, como mínimo, diez (10) puntos de comprobación.

La preparación y calificación de los exámenes de nivel 3 se llevarán a cabo, como mínimo, por dos examinadores, igualmente nombrados por CERTIAEND de acuerdo con el procedimiento PC05.

6.3.3 Equipo y documentación

Los candidatos aportarán sus propios equipos para la realización de los exámenes prácticos, cuando esto no sea posible deberán comunicarlo a CERTIAEND indicándolo en la solicitud de certificación, o en su defecto, por medio de una carta o fax al menos 15 días antes de la fecha de examen, en estos casos CERTIAEND resolverá la forma más adecuada para la realización de los exámenes prácticos, bien gestionando la consecución de los equipos o trasladando al candidato a otra convocatoria.

Cualquier parte o elemento del equipo del candidato que resulte no fiable o inservible durante el examen, será reemplazado por otro facilitado por el mismo candidato.

Toda la normativa y documentación de referencia será la indicada por los examinadores de CERTIAEND y no se permitirá utilizar ninguna otra.

Si una vez comenzado un examen, se comprueba que un candidato tiene en su poder material o documentos que puedan ser considerados como una ayuda no permitida para la realización del examen, se determinará que ha habido fraude y no volverá a ser aceptado como candidato a cualquier certificación de cualquier método de END y nivel, hasta que hayan transcurrido doce meses de la fecha de examen en la que se detectó el fraude. Los resultados del resto de los exámenes realizados, en el supuesto de que hubieran tenido lugar, no se comunicarán y se enviará una carta al candidato afectado y a su empresa explicando la causa del fin del examen.

Un candidato que sin motivo justificado, antes o durante el examen renuncia a comenzar o continuar su examen deberá hacerlo constar en la portada de cada uno de los exámenes realizados, ejecutados o pendientes de realizar, indicando "RENUNCIO VOLUNTARIAMENTE AL EXAMEN " y firmando en los mismos.

6.4 Calificación de los exámenes

6.4.1 Calificación de los niveles 1 y 2

La nota final N se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$N = 0,25 ng + 0,25 ns + 0,50 np$$

en donde:

- ng : porcentaje obtenido en el examen general.
- ns : porcentaje obtenido en el examen específico.
- np : porcentaje obtenido en el examen práctico.

Para poder acceder a la certificación, el candidato deberá obtener como mínimo un porcentaje compuesto, N de un 80%, con una puntuación mínima en cada parte del examen de un 70%.

A su vez, la ponderación del examen práctico será como se indica a continuación:

La calificación se basará en las partes siguientes que han de ser tenidas en cuenta por el examinador:

1. Conocimiento del equipo, es decir: funciones, puesta en operación, verificación, etc.
2. La aplicación del END a la probeta. Esto consta de las partes siguientes:
 - a. Para nivel 2, selección de la técnica y definición de las condiciones de operación.
 - b. Preparación de la probeta (acondicionado de la superficie, etc.) incluyendo su examen visual,
 - c. El ajuste del equipo,
 - d. La realización del ensayo,
 - e. Las operaciones después de realizado el ensayo,
3. La detección de las discontinuidades y su caracterización (posición, tamaño, dimensiones) y la elaboración del informe.
4. Para el nivel 2 redacción de instrucciones escritas para el nivel 1.

En el caso de un candidato que opte a la certificación como nivel 2 estando ya certificado como nivel 1 en el método de radiología industrial, no será necesario que realice la toma de radiografías y solo realizará el ejercicio de interpretación.

Para la obtención de la calificación se tendrá en cuenta la nota obtenida en el examen práctico de nivel 1 que se sumará a la del ejercicio de interpretación, para después con ambas hallar la media.

El peso de cada una de estas partes, en función del nivel, se dan en la tabla 4:

TABLA 4. - Factores de ponderación para obtener la nota del examen práctico

Parte	Factor de ponderación	
	Nivel 1	Nivel 2
1	20%	10%
2	35%	20%
3	45%	55%
4	----	15%

Todas las probetas de examen contendrán discontinuidades, algunas de ellas identificadas como obligatorias.

Existirá una hoja de datos de probeta de examen, en la que estarán registradas las discontinuidades de la probeta y las condiciones de ensayo.

Cuando un candidato realice el ensayo en las condiciones especificadas en dicha hoja y no se identifique una discontinuidad marcada como obligatoria, recibirá un 0 en la parte 3 del examen "Detección e informe de discontinuidades".

6.4.2 Calificación de los niveles 3

El examen básico, el examen práctico sobre probeta cuando aplique y el del método se calificarán por separado.

La nota final del examen básico se calculará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\mathbf{NB = 0,5 na + 0,5 nb}$$

siendo:

na: la nota de la parte A (ver 6.2.1 y formato DINF-PC03-5)

nb: la nota de la parte B (ver 6.2.1 y formato DINF-PC03-5)

Para poder aprobar este examen se requiere obtener un porcentaje mínimo del 70% en cada parte y un porcentaje compuesto NB de un 80% como mínimo.

La nota final del examen del método principal se calculará aplicando la fórmula:

$$\mathbf{NE = 1/3(n_{c1} + n_{c2} + n_{c3})}$$

siendo n_{c1} , n_{c2} y n_{c3} las notas obtenidas respectivamente para las partes C1,C2 y C3 indicadas en el documento DINF-PC03-5.

Para aprobar este examen, el porcentaje compuesto obtenido deberá ser de un 80% como mínimo, con unas puntuaciones que no bajarán del 70% en cada parte.

Para poder acceder a la certificación, el candidato tendrá que superar el examen básico, el examen práctico sobre probeta cuando aplique y el del método principal.

6.5 Reexámenes

Un candidato que no haya alcanzado la puntuación mínima requerida para aprobar un examen deberá esperar 30 días como mínimo antes de poder presentarse a una nueva convocatoria de examen, a menos que complete satisfactoriamente una formación adicional aceptable por CERTIAEND y no más tarde de los doce meses siguientes a la fecha del examen no aprobado, asignándole CERTIAEND la convocatoria correspondiente.

En el caso de que los resultados del examen no hayan sido aceptados por razón de fraude, se tiene que esperar un año, como mínimo, antes de solicitar de nuevo la certificación en cualquier método o nivel.

Un candidato que ha obtenido un porcentaje compuesto inferior al 80% y que ha obtenido una puntuación inferior al 70% en una o más partes del examen, no puede optar a reexámenes parciales, teniendo que examinarse de todas las partes, solicitando el mismo al Comité Técnico de Certificación de CERTIAEND, esperando los 30 días indicados en el párrafo anterior.

En el caso que el porcentaje compuesto alcanzado sea inferior al 80%, pero el resultado de todas las partes sea superior al 70%, el candidato tendrá derecho a un único examen, (general, específico o práctico) y siempre que se realice dentro de los doce meses siguientes a la fecha del examen no aprobado. (El candidato tendrá que comunicar a CERTIAEND, la parte que escoge para la realización de su examen).

Si el porcentaje compuesto alcanzado por el candidato es superior al 80%, pero no se ha llegado a alcanzar el 70% en una de las partes, se permitirá hacer un único examen de la parte fallada y dentro de los doce meses siguientes a la fecha del examen no aprobado.

Los candidatos que fallen en los reexámenes no tendrán más oportunidades de efectuar exámenes parciales y se considerarán, de nuevo, como candidatos iniciales a la certificación en cualquier método y nivel.

En el formato DINP-PC03-1, incluido como anexo, se muestra un diagrama de flujo ilustrativo de las diferentes posibilidades presentadas durante la corrección de los exámenes.

En el caso de los niveles 3, se seguirán los mismos criterios descritos en los párrafos anteriores para reexámenes parciales y a contemplar dentro de cada una de las partes (BÁSICO Y MÉTODO PRINCIPAL).

Si un candidato se presenta de forma conjunta al examen básico y de método principal, tendrá opción de conservar la nota de primera convocatoria en segunda convocatoria, y de no obtenerse la certificación deberá iniciar el proceso como candidato inicial.

En ningún caso se podrá conservar la nota del método principal sin haberse superado el básico y el práctico sobre probeta, cuando aplique.

Una vez superado el examen básico, la nota obtenida se conservará durante un periodo de 5 años, si en el periodo mencionado no se ha logrado superar el método principal, el candidato deberá reiniciar el proceso como un candidato inicial a certificación.

6.6 Aplicación de un certificado a un nuevo sector o sectores industriales.

Si un candidato nivel 1 ó 2, en posesión de un certificado en vigor para un determinado método, nivel- y sector, quisiera ampliar ese certificado para ese mismo método y nivel a otros sectores industriales distintos al que ó a los que posee en la actualidad, se actuará de la siguientes forma:

- Se le conservará la nota del examen general que obtuviera en su día, correspondiente al examen realizado en el método respecto al que solicita ampliación de sectores.

- Deberá realizar un examen específico relativo al nuevo o nuevos sectores solicitados.
- Deberá realizar tantos exámenes prácticos sobre probetas como ampliación de sectores se soliciten.

Si un candidato nivel 3, solicitara ampliación en el número de sectores, se actuará de igual forma a la descrita anteriormente, exceptuando que además deberá realizar tantos exámenes prácticos escritos (Redacción de Procedimientos), como sectores de ampliación solicite.

En todos los casos, para la ampliación sectorial, en el momento de solicitar dicha ampliación deberá actualizar sus expedientes con:

- El certificado de agudeza visual.
- Certificado de experiencia en los nuevos sectores solicitados.
- Certificado vigente.
- Pago de tasas.

6.7 Certificación de aplicación limitada

Cuando un candidato así lo solicite, podrá optar a una certificación de aplicación limitada, y con ello la validez de ese certificado queda restringido al campo de aplicación reflejado en el mismo.

La certificación de aplicación limitada es aplicable a los niveles 1 y 2 y los requisitos de acceso, modalidades de exámenes y demás particularidades quedaran reflejados en el procedimiento PC15: "Cualificación y Certificación de personal que realiza Ensayos No Destructivos aplicación limitada."

7. SOLICITUD Y EMISIÓN DE LA CERTIFICACIÓN

7.1 Solicitud de la certificación

Se puede efectuar, por escrito o fax, a la atención del Director de CERTIAEND, quien directamente, o delegando en el Subdirector, enviará al solicitante el modelo oficial de solicitud, información sobre tasas, calendario de exámenes previstos y el documento Información a los candidatos a ser certificados en END por CERTIAEND. Este documento se compone de:

1. "Código profesional de CERTIAEND" (Procedimiento PC02), que establece las normas básicas de conducta profesional, derechos, deberes, faltas y sanciones, así como la obligatoriedad de mantener un registro de reclamaciones (aplicable a los niveles 2 y 3).
2. "Cualificación y Certificación del personal que realiza END" (Procedimiento PC03), que establece los requisitos de formación, experiencia, visión y examen

para cualificación así como las capacidades (niveles 1, 2 y 3) que se facultan con la obtención de cada nivel de cualificación.

3. "Cualificación y Certificación del personal que realiza END aplicación limitada" (PC15).

El candidato tendrá que llenar adecuadamente todos los formatos y apartados correspondiente del impreso oficial de solicitud y los remitirá al Director de CERTIAEND, junto con las tasas de examen, no más tarde de treinta días antes a la fecha de convocatoria de exámenes. La información acerca de la formación, niveles y experiencia, deberá estar respaldada por evidencias objetivas y, en cualquier caso, debe estar debidamente firmada por el candidato o las personas que faciliten la información. En el supuesto que al revisar la documentación, se descubra la falsedad de alguna información, cualquier certificación que se pudiese haber emitido como resultado de los exámenes correspondientes, se considerará como nula o improcedente.

El Comité Técnico de Certificación de CERTIAEND revisará la documentación enviada por los candidatos, para comprobar si su contenido es satisfactorio, y le asignará un número de expediente, en el impreso existente al efecto, en donde documentará la revisión efectuada.

El Comité Técnico de Certificación, una vez revisada la documentación y llenando el impreso correspondiente, comunicará al candidato una de las dos alternativas siguientes:

- La documentación presentada es conforme y, en su momento, por lo que, se le citará a los exámenes correspondientes.
- La documentación es errónea o incompleta, por lo que, se indica lo que tiene que corregir o ampliar.

Ambas circunstancias serán comunicadas al candidato.

7.2 Resultados de los exámenes

Los resultados de los exámenes obtenidos se comunicarán a los candidatos, si éstos la solicitan, en un formato estándar existente al efecto (DCER-17 incluido en el procedimiento PC07), normalmente dentro de las dos semanas siguientes a la fecha de realización de los exámenes.

Los resultados de los exámenes se comunicarán también a la empresa en la que trabaja el candidato, cuando aplique, y se incluirá una copia de la comunicación en el expediente del candidato.

para cualificación así como las capacidades (niveles 1, 2 y 3) que se facultan con la obtención de cada nivel de cualificación.

3. "Cualificación y Certificación del personal que realiza END aplicación limitada" (PC15).

El candidato tendrá que llenar adecuadamente todos los formatos y apartados correspondiente del impreso oficial de solicitud y los remitirá al Director de CERTIAEND, junto con las tasas de examen, no más tarde de treinta días antes a la fecha de convocatoria de exámenes. La información acerca de la formación, niveles y experiencia, deberá estar respaldada por evidencias objetivas y, en cualquier caso, debe estar debidamente firmada por el candidato o las personas que faciliten la información. En el supuesto que al revisar la documentación, se descubra la falsedad de alguna información, cualquier certificación que se pudiese haber emitido como resultado de los exámenes correspondientes, se considerará como nula o improcedente.

El Comité Técnico de Certificación de CERTIAEND revisará la documentación enviada por los candidatos, para comprobar si su contenido es satisfactorio, y le asignará un número de expediente, en el impreso existente al efecto, en donde documentará la revisión efectuada.

El Comité Técnico de Certificación, una vez revisada la documentación y llenando el impreso correspondiente, comunicará al candidato una de las dos alternativas siguientes:

- La documentación presentada es conforme y, en su momento, por lo que, se le citará a los exámenes correspondientes.
- La documentación es errónea o incompleta, por lo que, se indica lo que tiene que corregir o ampliar.

Ambas circunstancias serán comunicadas al candidato.

7.2 Resultados de los exámenes

Los resultados de los exámenes obtenidos se comunicarán a los candidatos, si éstos la solicitan, en un formato estándar existente al efecto (DCER-17 incluido en el procedimiento PC07), normalmente dentro de las dos semanas siguientes a la fecha de realización de los exámenes.

Los resultados de los exámenes se comunicarán también a la empresa en la que trabaja el candidato, cuando aplique, y se incluirá una copia de la comunicación en el expediente del candidato.



7.3 Emisión de la certificación

7.3.1 Administración

Sobre la base de los resultados de los exámenes de cualificación y de la documentación aportada, el Órgano de Gobierno de CERTIAEND decidirá sobre la concesión o no de la certificación y emitirá, en su caso, los certificados correspondientes, enviando los originales, firmados por el Presidente de CERTIAEND, a los candidatos, quienes igualmente deberán firmarlos, solicitando CERTIAEND que le devuelvan copia del certificado firmado.

CERTIAEND mantendrá copia del certificado firmado por el Presidente en cada expediente y cuando los candidatos remitan copia del mismo, una vez firmado por ellos, se sustituirá la primera por esta última.

7.3.2 Certificados

Contendrán, como mínimo, la siguiente información:

- a. Nombre completo de la persona certificada.
- b. Referencia a la norma UNE EN 473::2001.
- c. Fecha de la certificación.
- d. Fecha de caducidad de la certificación.
- e. Nivel de certificación.
- f. Método de END.
- g. Número de identificación único.
- h. Sector.
- i. Firmas del Presidente de CERTIAEND y de la persona certificada.
- j. Aplicación Limitada.

7.4 Validez de la certificación

El período de validez de la certificación es de cinco años a partir de la fecha indicada en el certificado. La certificación deja de ser válida en los casos siguientes:

- Por cambio de un sector industrial a otro, no cubierto por la certificación. En caso que la persona certificada quiera ampliar su certificación al nuevo sector se procederá según lo descrito en el punto 6.7
- Por decisión del Órgano de Gobierno de CERTIAEND según lo establecido en el procedimiento PC02.

- Si el examen de agudeza visual y cromatismo, que se ha de realizar anualmente, evidencia el incumplimiento de los requisitos contenidos en la norma UNE-EN 473.
- Si se produce una "interrupción notable" de la actividad en el método en que la persona está certificada. Una interrupción notable significa una ausencia o un cambio de actividad que impide a la persona certificada efectuar tareas correspondientes a su nivel en el método y el o los sectores industriales para los que está certificado, durante uno o varios periodos, por un tiempo total que sobrepase un año. Para calcular estos periodos de interrupción notable, no se deben tener en cuenta el período legal de vacaciones, ni enfermedad, ni asistir a cursos de formación cuya duración sea inferior a un mes.

8. RENOVACIÓN Y RECERTIFICACIÓN

8.1 Renovación

Transcurrido el primer período de validez de cinco años y después de éste cada diez años, CERTIAEND puede renovar la certificación por un nuevo período de cinco años, a condición de que la persona cumpla los siguientes requisitos:

- a. Presentar prueba de que ha pasado, de manera satisfactoria, el último año, el examen de agudeza visual.
- b. Presentar la prueba objetiva de que ha proseguido, sin interrupción notable la actividad en el método para el que está certificado.
- c. Los niveles 2 y 3 deben presentar su hoja de reclamaciones o, en caso de extravío, una carta firmada indicando las reclamaciones que hubiera tenido por sus actuaciones o, en su defecto, la no existencia de las mismas.

Si no se satisfacen los requisitos de renovación, la persona se deberá someter a una nueva certificación.

8.2 Recertificación

Transcurrido el segundo período de validez, cada diez años desde la primera certificación, CERTIAEND puede recertificar por un nuevo período de 5 años sobre la base los siguientes requisitos:

- a. Para los niveles 1 y 2: la persona debe satisfacer las dos condiciones de renovación del apartado anterior 8.1., y pasar un examen práctico de cada uno de los sectores para los que solicita recertificación. Si el candidato no obtiene una calificación de, al menos, un 70% para cada probeta examinada y un 80% en total. Se debe tener la posibilidad de hacer otro examen de recertificación después de 7 días y antes de 6 meses. En caso de suspender el único reexamen el candidato debe iniciar el proceso de certificación. No existirá ninguna excepción de examen para cualquier otra certificación en vigor.

- b. Para el nivel 3: la persona debe satisfacer las dos condiciones de renovación del apartado anterior y dependiendo de su elección, satisfacer las exigencias del sistema de créditos indicado en el formato de información DIN-PC03-6 incluido como anexo o pasar con éxito un examen escrito que comprenda 20 preguntas sobre la aplicación del método de ensayo en los sectores correspondientes, cuatro de ellas deben requerir respuestas escritas descriptivas que demuestren la comprensión de las técnicas, normas, códigos o especificaciones y tecnología aplicada de END y cinco preguntas sobre el sistema de cualificación y certificación de CERTIAEND. En el caso de que se realice una recertificación conjunta para varios métodos, el número de preguntas se puede reducir. Por el contrario, si el número de sectores se incrementa, el número de preguntas debe incrementarse en 5 adicionales por cada sector. Todo ello tal y como se indica en la tabla 5.

TABLA 5. - Número de preguntas para recertificación de niveles 3

	Aplicación del método de ensayo				Sistema de cualificación y certificación
	N° DE SECTORES				
	1	2	3	4	
1 método	20	25	30	35	5
2 métodos	30	35	40	45	5
3 métodos	40	45	50	55	5
4 métodos o más	50	55	60	65	5

Las preguntas se deben elegir aleatoriamente entre los diferentes métodos y sectores.

Si el candidato no obtiene una calificación de al menos el 80%, tiene la posibilidad de hacer un nuevo intento de la totalidad del examen después de 7 días y antes de 6 meses.

En caso de suspender el nuevo examen, no se recertificará a la persona y deberá aprobar el examen correspondiente al método principal. Al candidato que no satisfaga el sistema de créditos, se le debe permitir presentarse una vez el examen escrito de recertificación.

La renovación o recertificación obliga al candidato el pago de las tasas estipuladas por CERTIAEND.

Como ejemplo que ilustra las fechas de renovación y recertificación se indica el siguiente:

Si la certificación es de junio de 1993, las fechas de renovación y recertificación serán las siguientes:

Fecha de renovación: junio 1998, junio 2008, junio 2018...

Fecha de recertificación: junio 2003, junio 2013, junio 2023...

Las certificaciones tienen como fecha de validez estrictamente la indicada en el certificado.

- a. Si una persona certificada ha solicitado su renovación o recertificación con antelación a la fecha de caducidad de su certificado, pero dicha renovación o recertificación no se produce hasta una fecha posterior a la de caducidad, la aceptación de su certificado durante el período comprendido entre ambas fechas, será responsabilidad exclusiva del cliente de dicho personal certificado.
 - CERTIAEND se limitará, en estos casos a reconocer, mediante carta firmada por el Director, cuando así le sea solicitado, que dicha persona ha iniciado los trámites de renovación o recertificación.
 - CERTIAEND eliminará de la lista de examinadores a todos aquellos que no posean un certificado en vigor.
- b. Si una persona certificada por CERTIAEND solicita su renovación o recertificación con posterioridad a la fecha de caducidad de su certificado, se aplicarán los siguientes criterios:
 - Si ha transcurrido menos de 1 año (según lo indicado en la norma como interrupción notable de la actividad en el método) desde la fecha en que expiró la certificación anterior, CERTIAEND procederá a la renovación o recertificación según lo indicado en el procedimiento PC03.
 - Si ha transcurrido más de 1 año desde la fecha que expiró la certificación anterior, CERTIAEND actuará de la siguiente forma:
 - ✓ Si al candidato le correspondía renovación de su certificación y ha transcurrido más de 1 año pero menos de 5 desde la fecha que expiró su certificación anterior, se le considerará candidato a recertificación (y no a renovación), aplicándosele lo indicado en el procedimiento PC03.
 - ✓ Si al candidato le correspondía renovación y ha transcurrido más de 5 años desde que expiró su certificación anterior, o bien, al candidato le correspondía recertificación y, como se indicó anteriormente, ha transcurrido más de 1 año desde que expiró su certificación anterior, el candidato no podrá realizar dicha renovación o recertificación y se le considerará candidato a certificación inicial, aplicándosele lo indicado para estos casos en el procedimiento PC03.
 - Para el período en el que no exista certificación en vigor, se aplicará lo indicado en el apartado a).

9. REVISIONES, RECLAMACIONES Y APELACIONES

Las personas o grupos que se consideren perjudicados por los resultados o decisiones tomadas en relación con los END por personal certificado por CERTIAEND, y que tengan bases razonables para cuestionar la competencia de dicho personal, pueden solicitar a CERTIAEND la cancelación de dicha certificación. Esta petición se acompañará por las evidencias posibles y, si en opinión del Órgano de Gobierno de CERTIAEND, se

considera que el caso presentado es adecuado, se iniciará una investigación completa de las circunstancias que originara la toma de decisiones o los resultados que perjudicaron al grupo o persona demandante.

Si el Órgano de Gobierno de CERTIAEND determina que la petición está fundamentada y procede tenerla en cuenta, la certificación puede ser cancelada o la solicitud de recertificación no admitida, durante el período que el Órgano decida.

9.1 Revisión de Exámenes

Los candidatos que manifiesten desacuerdo con el resultado en las calificaciones de sus exámenes, podrán solicitar a CERTIAEND, revisión de la calificación de exámenes, en el plazo de 30 días a partir de la comunicación de resultados.

Esta solicitud se realizará siempre por escrito y a la atención del Director de CERTIAEND, e indicará en la misma la parte o partes sobre las que solicita revisión de examen fundamentando las causas de su solicitud. CERTIAEND trasladará al Presidente del Tribunal de examen la solicitud de revisión para su estudio, y una vez efectuado éste, el Presidente informará por escrito al Director de CERTIAEND de las conclusiones a las que se ha llegado.

En caso de delegación del candidato en otra persona para realizar la revisión del examen, ésta no podrá recaer en miembros del Comité Técnico, Órgano de Gobierno, Examinadores y Director de Calidad de CERTIAEND, o cualquier otra persona implicada en el proceso de certificación.

El Director de CERTIAEND tendrá la facultad de modificar las calificaciones derivadas del resultado de la revisión efectuada por el Tribunal de examen, identificando dicha modificación con la fecha y firma de la realización.

CERTIAEND comunicará al candidato la decisión del Tribunal de examen. Si éste no estuviera de acuerdo con el resultado de dicha revisión, podrá solicitar una reclamación al Órgano de Gobierno.

No será contabilizado el tiempo transcurrido desde que se solicita la revisión hasta que se resuelve la petición a efectos de realización de reexamen, no pudiendo realizarse reexámenes en este periodo de tiempo, hasta que exista resolución en firme.

9.2 Reclamación al Órgano de Gobierno

Las reclamaciones de los candidatos contra la cancelación de la certificación, los resultados de los exámenes, el resultado de la revisión de las calificaciones, las actuaciones del personal certificado o la revisión de la documentación, serán realizadas por los interesados, dirigiéndose por escrito al Presidente del Órgano de Gobierno de CERTIAEND en el plazo de 15 días a partir del hecho que motiva la reclamación.

Aquellas que impliquen a personal certificado o certificador con obligación de llevar registro de reclamaciones, deberán reflejarse en el citado registro, enviando copia del mismo a CERTIAEND junto con la reclamación y los motivos de la misma, así como aquella documentación justificativa que se estime conveniente.

El escrito de la reclamación se remitirá en sobre cerrado a la atención del Presidente de CERTIAEND, indicando en el mismo CONFIDENCIAL, CONTIENE RECLAMACIONES. Una vez recibida y en el plazo de 30 días naturales se convocará al Órgano de Gobierno quien recabará la información complementaria necesaria y dará audiencia a las partes implicadas si así lo estima conveniente, emitiendo fallo al respecto. Contra el fallo emitido se podrá recurrir en un plazo máximo de 15 días naturales al Comité de Apelaciones.

9.3 Solicitud de apelación al Comité de Apelaciones

El Comité de Apelaciones se reunirá a petición del Órgano de Gobierno, o bien, a petición del candidato por desacuerdo con el fallo emitido por el Órgano de Gobierno.

El Director de CERTIAEND informará por escrito al Director de Calidad de la existencia de una apelación.

El Comité de Apelaciones bajo la presidencia del Director de Calidad, estará formado por 2 examinadores, designados a criterio del Director de Calidad y se reunirá siempre que exista una apelación.

La composición del Comité se le comunicará al apelante, quien la podrá impugnar por escrito fundamentándola. Si la impugnación fuera aceptada por el Presidente del Comité, éste modificará su composición informando al reclamante.

Este Comité estudiará la reclamación con toda la documentación existente o aquella otra complementaria que pudiera precisar, dará trámite de audiencia al apelante, así como a todas las partes que estime conveniente y emitirá un fallo que someterá al Órgano de Gobierno para su sanción.

Esta última sanción es definitiva y decisoria y ante la misma no existen más instancias de apelación.

10. REGISTROS DE EXÁMENES Y CERTIFICACIONES

El Comité Técnico de Certificación de CERTIAEND debe tener en sus archivos los registros siguientes:

- Lista actualizada de las personas certificadas.
- Un expediente individual para cada persona certificada, o que haya solicitado la certificación, renovación o recertificación y que contenga, como mínimo:
 - ✓ Las solicitudes de certificación, renovación y recertificación.
 - ✓ La documentación presentada en las solicitudes y que evidencian formación y experiencia, mantenimiento de la actividad, etc.
 - ✓ Los documentos de examen: cuestionarios llenados, descripción e identificación de las probetas, resultados en los exámenes prácticos, procedimientos desarrollados, instrucciones escritas, hojas de calificación y, en

definitiva, cualquier documento que aporte información y evidencia del resultado de los exámenes.

- ✓ Las comunicaciones en las que se informa de los resultados de los exámenes.
- ✓ Los documentos específicos de renovación o certificación basados en la actividad continuada, así como las pruebas requeridas de la agudeza visual y cromatismo.

Los expedientes individuales se deben conservar en condiciones de seguridad y confidencialidad durante un período que será como mínimo de diez años a partir de la fecha de los exámenes de certificación.

Estos registros serán auditables. Las auditorías se efectuarán de acuerdo con el procedimiento PC06, "Auditoría y revisión del sistema de gestión de calidad".

11. PERÍODO TRANSITORIO

Durante el período transitorio necesario para establecer el sistema de cualificación y certificación, definido por la norma europea, se admiten las reglas siguientes:

- a. El Órgano de Certificación (CERTIAEND) puede designar como examinador a personas debidamente cualificadas, durante un período no superior a cinco años;
- b. El personal de END certificado por la AEND antes del 8 de abril de 1997 puede mantener su certificación sin sobrepasar nunca el plazo de 5 años.
- c. El personal de END certificado por la empresa antes del 8 de abril de 1997 debe ser recertificado de acuerdo con las exigencias del apartado 9 (con exclusión del sistema de crédito) de la norma europea a la fecha de expiración del certificado existente sin sobrepasar nunca el plazo de 5 años y con la condición de que el sistema de certificación sea reconocido, de manera general, por el organismo independiente de certificación sobre la base de una auditoría. Este proceso de reconocimiento solo se llevará a efecto tras solicitud al Órgano de Gobierno quien en última instancia decidirá sobre si es aplicable y en su caso reconocerá el sistema.

El proceso de conversión de certificados AEND a certificados CERTIAEND queda descrito en el procedimiento PC11.

Los cambios introducidos en el presente procedimiento derivados de la edición de la revisión de la norma UNE EN 473:2001 no serán operativos hasta el 1 de septiembre de 2002. Por tanto, todos los expedientes que se tramiten para ser examinados a partir de dicha fecha se verán afectados por todos los cambios reflejados en este procedimiento y todos los demás procedimientos a los que apliquen las modificaciones referidas.

2.5 INSPECCIÓN VISUAL

Entre las técnicas más utilizadas para la inspección de piezas se encuentra la inspección visual. Ésta a su vez se encuentra dentro de los END **ópticos** al igual que la introscofia, la fotografía, la fotoelasticidad y la holografía interferométrica. Por la facilidad de su aplicación y el mínimo de medios necesarios para su uso, la inspección visual se incluye en primer término para:

- Detectar defectos de fabricación.
- Fallas de origen.
- Fisuras o grietas.
- Acabado inadecuado.
- Reparaciones no autorizadas.
- Condiciones de superficie.
- Alineamiento de superficies acopladas.
- Formas o evidencias de fugas en piezas o componentes.

Consideraciones importantes en la ejecución tanto para la inspección directa como remota son:

- La accesibilidad.
- La iluminación.
- El ángulo de visión.

Inspección visual directa.

Se puede efectuar cuando el acceso es suficiente para colocar la vista del evaluador a poco menos de 610 mm (24 in)³ de la superficie, examinado a un ángulo no menor de 30°. Comúnmente los examinadores utilizan espejos para mejorar el ángulo de visión así como lentes de aumento. Así mismo, se requiere de alumbrado natural o artificial. La iluminación en el área que se va a inspeccionar deberá tener un nivel mínimo de 350 luxes⁴. El personal que efectúe el examen visual, deberá someterse a un examen de la vista para asegurar que la agudeza visual a corta distancia, natural o corregida debe ser tal, que permita leer las letras J-1 en las cartas de la prueba tipo Jaeger o métodos equivalentes para visión cercana.

Inspección visual remota.

Aquí pueden usarse ayudas visuales tales como espejos, hilos ópticos, cámaras u otros instrumentos adecuados. Tales sistemas deberán tener una capacidad de resolución de al menos el equivalente a la obtenida por observación visual directa. Este tipo de inspección se requiere en algunas áreas a inspeccionar que por su inaccesibilidad salga de los límites de la "Inspección visual directa".

HOLOGRAFÍA INTERFEROMÉTRICA

El principio de la holografía es el siguiente:

Un haz ancho de láser incide sobre un espejo (véase **figura 28**), éste es reflejado y llega directamente a una placa fotográfica, donde interfiere con uno proveniente del objeto (rayo objeto). El rayo objeto lleva información de amplitud y de fase hacia la placa fotográfica. Una vez que se revela esta placa, se obtiene el holograma y si éste se vuelve a iluminar con la misma fuente monocromática y con el mismo ángulo, puede verse una imagen tridimensional del objeto.

Este efecto se debe a que las ondas reflejadas (una proveniente del objeto y la otra del espejo) se superponen y forman un patrón tridimensional de ondas estacionarias que se graban sobre la superficie y hacia el interior de la placa, dando lugar al llamado holograma de volumen.

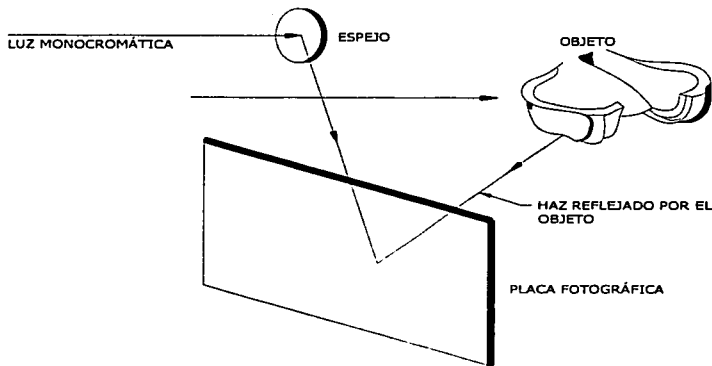


Figura 28. Grabación. Un haz de luz monocromática incide sobre un espejo y es reflejado a una placa fotográfica, en donde se encuentra con otro haz de luz reflejado por un objeto (el álabo). Una vez revelada la placa, se puede analizar el holograma tridimensional del objeto.

El proceso de reconstrucción (**figura 29**) es similar a la difracción de rayos X. Para realizar un holograma de interferencia, se hace el holograma de un objeto perturbado y después (antes de revelar la placa) se vuelve a exponer con el objeto deformado. En el holograma reconstruido aparecerán entonces franjas de interferencia que proporcionan información entorno al cambio que sufrió el objeto.

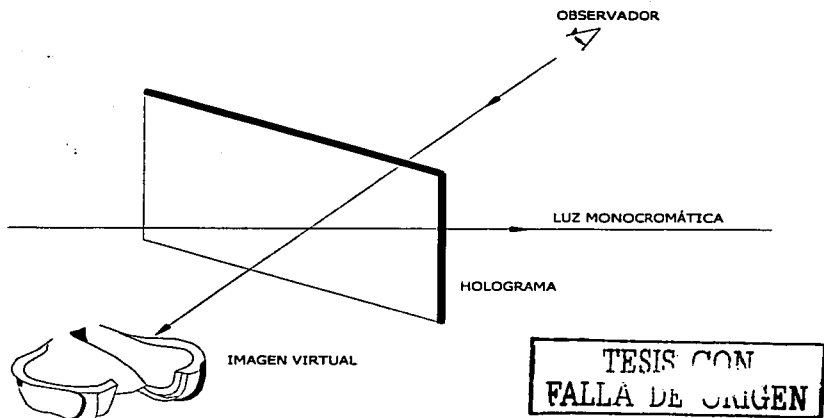


Figura 29. Reconstrucción. Si el holograma resultante se vuelve a iluminar con la misma fuente monocromática y con el mismo ángulo, puede verse una imagen tridimensional del objeto.

2.6 ENSAYO DE FUGAS

Esta técnica de ensayo es de hecho una inspección visual que detecta discontinuidades pasantes, es decir, que atraviesan un espesor determinado y que son identificadas como burbujas al aplicar presión o crear vacío, utilizando los fluidos, aire y/o agua, que deberán estar confinados, por lo que el ensayo de fuga es aplicable en recipientes cerrados.

La observación de una discontinuidad indicada por el burbujeo, es debida a la diferencia de presiones, dentro del recipiente con respecto a la exterior o del medio ambiente. Algunos métodos para este tipo de ensayo son:

- Prueba de gas y formación de burbujas.
- Detector de diodo de halógeno.
- Sensor de espectrómetro de masas de helio y cámara de espectrómetro de masas de helio.

Se menciona a continuación algunas características del **método de gas y burbujas** por ser el END más comúnmente utilizado en los ensayos de fugas.

La prueba consiste en detectar el escape de gas de una pieza presurizada mediante la aplicación de una solución que forma burbujas al paso del gas, generalmente el gas de prueba es el aire, sin embargo, pueden usarse otros gases como el nitrógeno o el helio; en cuanto a la solución, ésta debe producir una película que no deberá romperse por ningún motivo fuera del área que va a ser probada. Los jabones o detergentes caseros comunes, **no se permiten** como sustitutos para soluciones de pruebas de burbujas.

Para la aplicación de esta técnica, la limpieza de la pieza a inspeccionar es determinante, por lo que deberán ser eliminados residuos de grasa, aceite, pintura y otros contaminantes que pudieran ocultar la fuga; del mismo modo se deberán sellar o tapar todas las aberturas de la pieza para poder lograr la evaluación de la presión en su interior.

El equipo debe contar con 2 indicadores de presión calibrados y graduados (véase **figura 30**) sobre un rango de aproximadamente el doble de la máxima presión a usar, pero en ningún caso el rango podrá ser menor de una vez y media, ni mayor de cuatro veces esa presión.

La pieza se presuriza a una presión mínima de 4.218 kgf/cm^2 (60 lb/in^2)⁵ o al 15% de la máxima presión de diseño permisible, debiéndose mantener así por un mínimo de 15 minutos antes del examen.

Para la evaluación de las superficies ensayadas son aplicados los mismos requerimientos que para la inspección visual en cuanto a distancia, iluminación, inclinación, etc. Para efectuar las reparaciones (en caso de ser éstas posibles) se despresuriza la pieza y se repite el ensayo, para probar de nuevo las áreas reparadas.

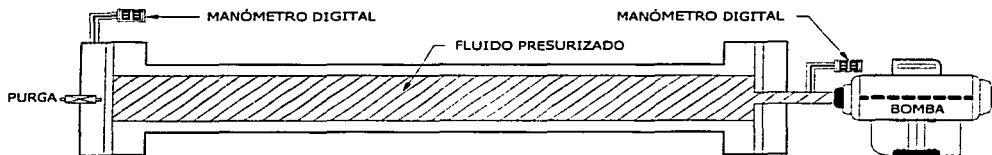


Figura 30. Equipo de ensayo de fugas.

En conclusión, el ensayo de fugas trata de ver discontinuidades pasantes en las paredes de algún recipiente sometido a presión o vacío y determinando fugas, ya sea por observación visual o con algún sensor o detector, o bien, simplemente por la observación de la caída de presión en los manómetros, lo que significaría pérdida por fuga.

TESIS CON
FALLAS DE ORIGEN

2.7 ENSAYO CON LÍQUIDOS PENETRANTES

La prueba o ensayo de los líquidos penetrantes, entre otros, permite detectar discontinuidades superficiales, aún en piezas de geometría complicada (fracturas desde 0.001 mm de ancho y 0.1mm³ de profundidad). Proporciona ventajas como son la efectividad, confiabilidad, rapidez y facilidad de aplicación. Este ensayo es aplicable a materiales metálicos como por ejemplo: aceros, aleaciones en fundición y maquinados, uniones soldadas, etc. Y materiales no metálicos como vidrio, cerámica, plástico, etc.

El método consiste en aplicar un líquido penetrante sobre la superficie de la pieza a inspeccionar. Después de un tiempo, se limpia la superficie para eliminar el exceso de penetrante. Por último se aplica el revelador el cual absorbe el líquido penetrante que se introdujo en las discontinuidades, produciendo una indicación o marca visible de las mismas.

Los líquidos penetrantes tienen la propiedad de filtrarse a través de las discontinuidades que presentan los materiales basándose en la acción capilar. También se basa en principios físicos de cohesión, viscosidad, adherencia y tensión superficial⁶.

VISCOSIDAD

La viscosidad está relacionada con la velocidad a la cual un líquido fluye sobre la superficie de trabajo; si el líquido fuera demasiado viscoso requeriría de periodos largos de tiempo para emigrar dentro de discontinuidades muy finas.

HUMECTABILIDAD

La fuerza de cohesión entre las moléculas de un líquido causa tensión superficial, siendo un factor importante para que un líquido humedezca la superficie sólida. Esto se analiza al considerar el comportamiento de una gota de agua, cuando un líquido hace contacto con la superficie de un sólido; la fuerza de cohesión compite con la fuerza de adhesión entre las moléculas del líquido y la superficie del sólido. Estas fuerzas determinan el ángulo de contacto θ entre el líquido y la superficie (véase **figura 31**).

CAPILARIDAD

La capilaridad⁷ es junto con la humectabilidad, la que determina el poder de penetración de un líquido a través de las discontinuidades. Esto se analiza cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida.

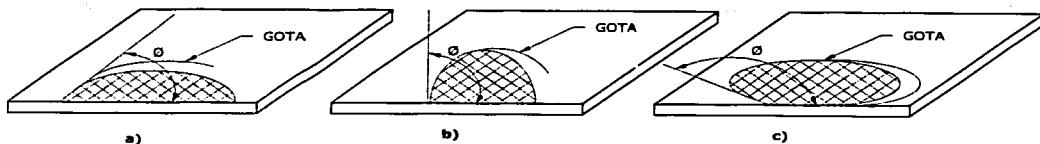


Figura 31. Características de humectabilidad evaluada por el ángulo entre una gota de líquido y la superficie de un sólido. a) Cuando θ es menor de 90° se obtiene una buena humectabilidad. Cuando θ es igual a 90° (inciso b) o mayor de 90° (inciso c) la humectabilidad es mínima.

En la **figura 32** se muestra la altura o depresión en un tubo capilar vertical, determinado por el ángulo θ , entre un líquido y la pared de dicho tubo.

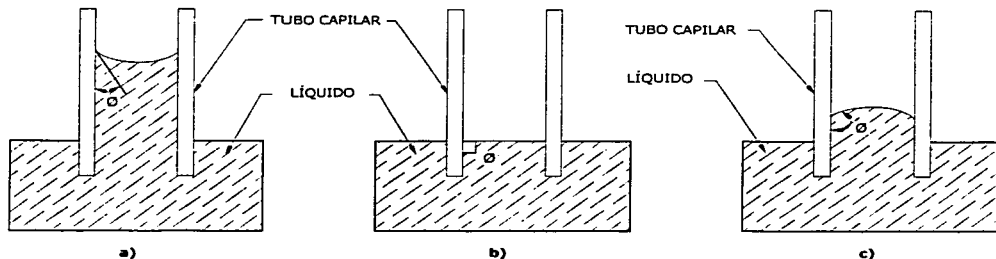


Figura 32. Variación de la altura o depresión de un líquido en un tubo capilar vertical. a) Si θ es menor de 90° el menisco del líquido en el tubo es cóncavo, y el líquido asciende por él. b) Si θ es igual a 90° no existe disminución o aumento capilar. c) Si θ es mayor de 90° el líquido se reduce en el tubo y no humedece la pared, se forma un menisco convexo.

DENSIDAD RELATIVA

La densidad relativa⁸ es una comparación de la densidad de un penetrante con la densidad del agua destilada a 4°C (39°F)⁹. El penetrante debe tener una densidad relativa menor que 1, para evitar que el agua no flote en la parte superior del penetrante en un tanque, ya que el agua puede evitar la correcta dispersión del líquido sobre el objeto de prueba. Normalmente no existe problema con los líquidos penetrantes a base de aceite.

VOLATILIDAD

Está definida por la presión de vapor¹⁰ y el punto de ebullición de un líquido. Es recomendable tener una baja volatilidad del penetrante con respecto a la pérdida de evaporación en tanques. Un penetrante con alta volatilidad, secará más rápidamente en la superficie del objeto de prueba. Cuando se utilicen materiales con punto bajo de inflamación y/o tóxico, la volatilidad será una consideración de seguridad.

FLAMABILIDAD

Algunas referencias sobre flamabilidad de aceites es en relación a su punto de inflamación según especificaciones requieren un mínimo de 51.6°C (125°F) como la temperatura o punto de inflamación. Los fabricantes consideran por lo general una temperatura mínima de 57°C (135°F). Norma de referencia ASTM D-93 y D-92.

ACTIVIDAD QUÍMICA

Es importante que los penetrantes sean químicamente compatibles con el material a ser inspeccionado. Aquellos que contienen cloruros o sulfuros son frecuentemente restringidos para la inspección de aceros austeníticos, aceros con titanio y aceros al alto níquel. En caso de que no exista un requisito específico, el contenido de cloruros y sulfuros estará limitado al 1% (ASTM E-165).

PRUEBA DE LAVABILIDAD

Es para verificar la funcionalidad de los penetrantes lavables con agua. Normalmente esta prueba se realiza colocando la superficie de prueba en un ángulo de 45° con respecto al chorro del agua por un minuto a una distancia de 30.5 cm (12 in) entre la boquilla del chorro y la superficie de la pieza. La norma ASTM E-165-75 sugiere que la presión del chorro sea de 2.11 kgf/cm² (30 lb/in²).

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El rociado electrostático proporciona un recubrimiento uniforme de las partes complicadas, reduciendo el sobrerociado y requiriéndose de una menor cantidad de penetrantes y de revelador. Al rociarse la pieza, se genera una carga eléctrica negativa en el penetrante o revelador, el objeto de la prueba tiene un potencial positivo; la atracción electrostática entre las dos polaridades, provoca que la aplicación en la superficie sea mucho mejor. El penetrante debe tener dos características para que sea apropiado para el rociado electrostático: Baja viscosidad y la propiedad de aceptar y mantener rápidamente la carga eléctrica colocada sobre las partículas líquidas.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

En la inspección por líquidos penetrantes, se requiere normalmente de seis pasos que son los siguientes:

- a. Preparación de la superficie.
- b. Aplicación del penetrante.
- c. Remoción del exceso de penetrante.
- d. Aplicación del revelador.
- e. Inspección.
- f. Limpieza final.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie del material debe estar libre de polvo, grasa, óxidos, escamas, ácidos, recubrimientos metálicos y pintura, los cuales pueden afectar directamente o bloquear la entrada del penetrante a las discontinuidades y falsear las indicaciones.

Los métodos de limpieza son clasificados como:

- a. Limpieza por medios químicos: limpieza alcalina, limpieza ácida y limpieza con sal fundida.
- b. Limpieza por métodos mecánicos: pulido abrasivo, aplicación de arena seca a alta presión, aplicación de arena húmeda a alta presión, agua y vapor a alta presión y limpieza ultrasónica.
- c. Limpieza por solventes: desengrasado a vapor y enjuague con solventes.

La limpieza final de la pieza debe hacerse con un limpiador volátil para que ninguno de los limpiadores previos quede alojado en las discontinuidades.

APLICACIÓN DEL PENETRANTE

El penetrante se aplica sobre la superficie a inspeccionar (véase **figura 33**). Si existen discontinuidades una determinada cantidad de éste se introduce en ellas, por medio de la "acción capilar". Los líquidos penetrantes para que sean visibles tienen que tener un color de contraste, clasificándose según ASME SEC V SE-165 en dos métodos que son:

Método A: Líquidos Penetrantes Fluorescentes.

Método B: Líquidos Penetrantes Visibles.

Ambos métodos pueden aplicarse por inmersión, rociado, con brocha o vaciado. El tiempo de penetración es el tiempo necesario para que el penetrante entre en las discontinuidades, y varía en forma considerable dependiendo del tipo de penetrante utilizado, el material a inspeccionar y de las posibles discontinuidades a encontrar.

REMOCIÓN DEL EXCESO DE PENETRANTE

Después del tiempo de penetración necesario, se elimina el exceso de penetrante que es aquel que queda en la superficie de la pieza y que no ha entrado en la discontinuidad durante el tiempo de penetración. Es necesario que este exceso esté húmedo antes de quitarlo, ya que por si cualquier razón se ha secado al estarlo removiendo, puede eliminar al penetrante en las discontinuidades.

De acuerdo al sistema empleado para eliminar el exceso de penetrante se dividen, según ASME SEC V SE-165, en:

Tipo 1: Penetrante lavable con agua.

Tipo 2: Penetrante post-emulsificante.

Tipo 3: Penetrante removible con solvente.

APLICACIÓN DEL REVELADOR

La cantidad de penetrante que emerge de una pequeña discontinuidad superficial es muy reducida, por lo que es necesario ampliar su visibilidad. Esto es, los reveladores están diseñados de tal forma que extraen al penetrante atrapado en las discontinuidades, provocando que éstas sean visibles al ojo humano.

Existen tres tipos de reveladores:

- a. Secos.
- b. Húmedos (suspendidos o solubles en agua).
- c. No acuosos (suspendidos en solventes).

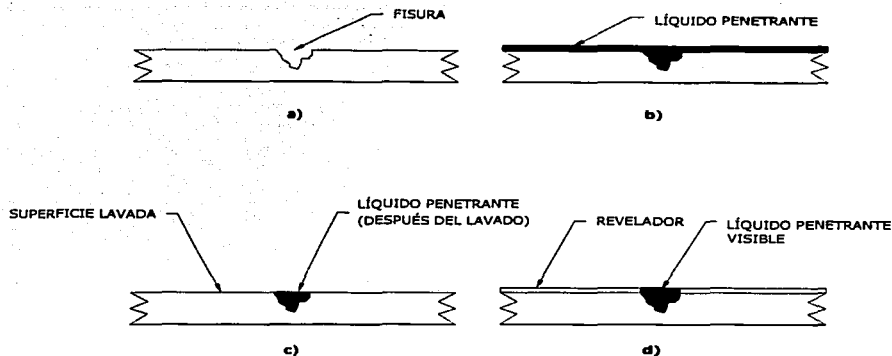


Figura 33. Método de líquidos penetrantes. a) Pieza con discontinuidad. b) Aplicación del líquido penetrante sobre la pieza. c) Limpieza del remanente del líquido penetrante sobre la superficie de la pieza y saturación del líquido sobre la discontinuidad. d) Aplicación del revelador y presencia de la discontinuidad con el líquido penetrante ya visible.

INSPECCIÓN

Después de un tiempo determinado, en que se aplica al revelador, la muestra se prepara para la inspección, la cual se lleva a cabo observando el contraste de color entre el penetrante extraído de la discontinuidad y la superficie de fondo.

Para el caso en que el penetrante sea visible la inspección se lleva a cabo bajo la luz blanca y, para los penetrantes fluorescentes, la observación se efectúa en un cuarto oscuro bajo luz negra.

LIMPIEZA POSTERIOR

Es necesaria una limpieza posterior, ya que el penetrante y el revelador residual tienden a extraer humedad, por lo cual puede causar corrosión, o bien puede interferir en el uso posterior. En general, el método de limpieza recomendado es semejante al de la pre-limpieza.

CERTIFICACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

Se recomienda verificar que los materiales empleados en la inspección por líquidos penetrantes se encuentren avalados por normas, esto garantiza la calidad y la buena respuesta para la calificación de las discontinuidades que se detecten.

Algunas normas que certifican la calidad de los líquidos penetrantes son:

MIL-1-25135

NAVESHIPS 250-1500-1

ASTM E 165

ASME RDT 3-6T

Materiales penetrantes para inspección.

Estándares de soldadura.

Método estandarizado para la inspección con líquidos penetrantes.

Examen con líquidos penetrantes.

2.8 ENSAYO CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La técnica o ensayo de Partículas Magnéticas nos proporciona la detección de discontinuidades o defectos superficiales y sub-superficiales, pero con la condición de que esta técnica solo es aplicable en materiales ferromagnéticos¹¹.

PRINCIPIO DEL MAGNETISMO

El magnetismo de la materia resulta principalmente de los movimientos de los electrones alrededor del núcleo de los átomos. Cada electrón en razón de su movimiento engendra un minúsculo campo magnético. Son tantos los electrones y tan diversamente orientadas están sus órbitas que estos campos se anulan unos a otros y no surten ningún efecto al exterior de la materia. Pero basta influir exteriormente sobre la orientación de las órbitas electrónicas para que todas las que tengan plano en la misma dirección sumen sus campos magnéticos, con lo cual, resulta un campo magnético más o menos intenso y perceptible en torno a la materia.

CAMPO MAGNÉTICO ALREDEDOR DE UNA BARRA

Una barra de material ferromagnético (hierro, cobalto, níquel, etc.) que ha sido magnetizada permanentemente estará rodeada por un campo de fuerza, el cual llamamos Campo Magnético (**figura 34**). Normalmente una barra de este tipo tiene solo dos polos (véase **figura 35**). Un norte y un sur localizados en los extremos opuestos de la pieza. Sin embargo, un imán puede tener varios polos llamados "polos consecutivos" (véase **figura 36**).

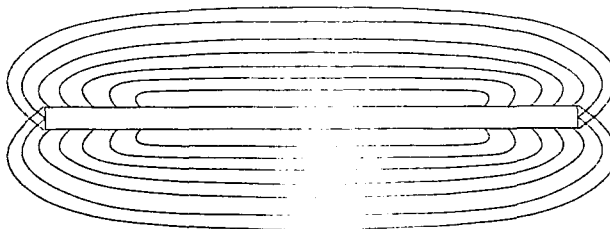


Figura 34. Campo magnético generado por una barra de material ferromagnético. Pueden verse las líneas del campo magnético generado por una barra magnetizada permanentemente.



Figura 35. Polos magnéticos en una barra de material ferromagnético. Una barra de material ferromagnético, tiene normalmente dos polos, uno norte y uno sur. La barra está magnetizada permanentemente.

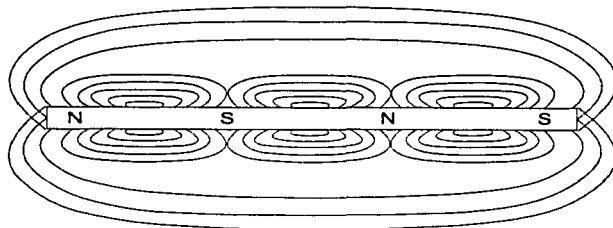


Figura 36. "Polos consecutivos" en una barra magnetizada. Una barra de este tipo genera más de un polo norte y un polo sur. Nótese las líneas de campo magnético generado entre los polos internos de la barra.

FLUJO MAGNÉTICO

El concepto de las líneas de flujo incluye la característica de que cada línea se considera que es un círculo continuo, el cual nunca se interrumpe y se completa el mismo a través de algún camino. Las líneas de flujo siempre son paralelas a la superficie.

Si una barra magnetizada sufre un rompimiento al centro de su longitud, pero este rompimiento no es total, se forma una grieta creándose un polo norte y un polo sur en las orillas de la grieta y la intensidad del campo magnético formado será en función de la profundidad de la fisura y el ancho del espacio del aire en la superficie. **Figuras 37 y 38.**

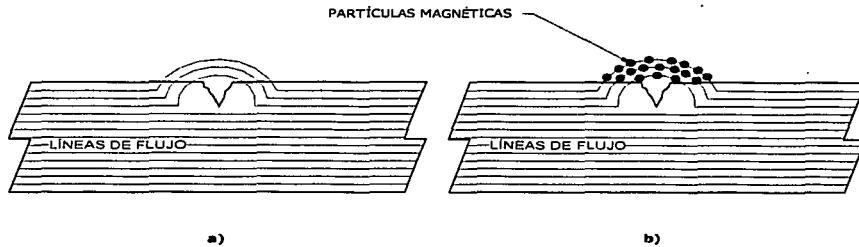


Figura 37. Puenteo del espacio de aire en una grieta. a) El campo salta sobre la grieta a través del espacio de aire. b) Indicación con las partículas magnéticas.

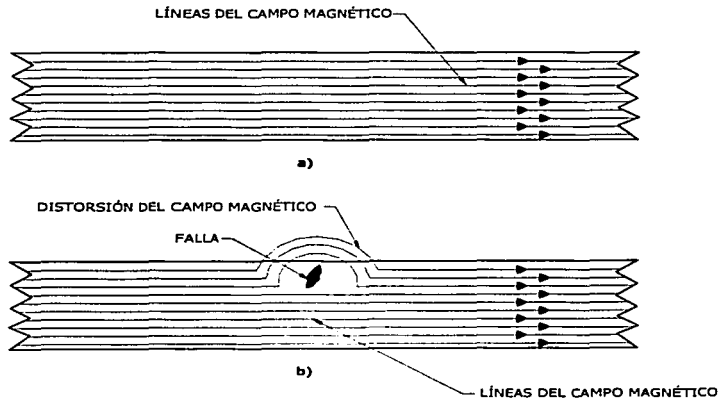


Figura 38. Detección de fallas con pruebas magnéticas. a) Especimen sin defectos. b) Especimen con falla.

CAMPO MAGNÉTICO DENTRO Y ALREDEDOR DE UN CONDUCTOR

Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un rodillo o alambre, un campo magnético se crea en el espacio circundante de dichos objetos. La intensidad del campo magnético será directamente proporcional a la resistencia del flujo de corriente (ésto es, el número de amperes). Las líneas de fuerza estarán en una forma circular y concéntrica al rodillo o alambre. Ésto es, que el campo es circular y a 90° del eje del conductor. Pero al formar espiras con el mismo conductor se crea un campo magnético longitudinal. Véase **figura 39**.

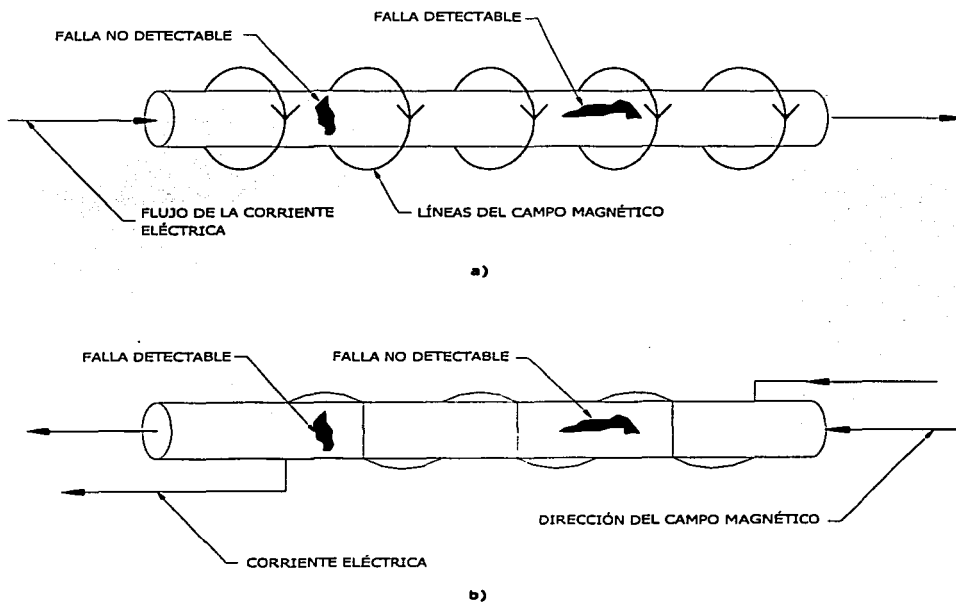


Figura 39. Campo magnético en una barra de metal. a) Circular. b) Longitudinal. En ambos casos el método detecta fallas que no sean paralelas al flujo del campo magnético.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie que se va a inspeccionar debe estar limpia y seca. Libre de aceite, arena u otras impurezas. La pintura delgada no interfiere en la formación de indicaciones pero se removerá en los puntos donde los contactos eléctricos sean hechos. Si la superficie es extremadamente rugosa, la interpretación puede dificultarse porque el polvo está siendo atrapado mecánicamente.

En caso de duda, puede ser necesario un ligero maquinado para determinar si están presentes indicaciones verdaderas.

MAGNETIZACIÓN

La magnetización se puede efectuar de 4 maneras o métodos:

1. Yugo magnético.
2. Puntas de magnetización.
3. Bobina.
4. Contacto directo.

YUGO MAGNÉTICO

Este método se recomienda usar sólo para determinar discontinuidades que están en la superficie (véase **figura 40**). Se usará corriente directa o alterna¹²; o bien, yugos de magneto permanente.

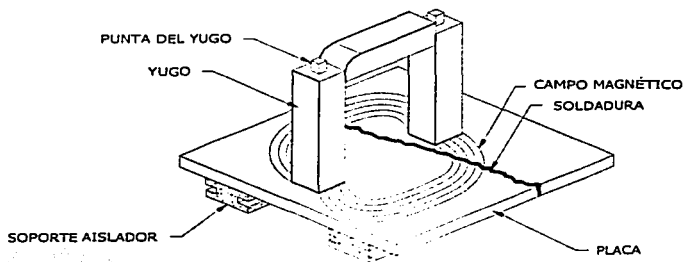


Figura 40. Magnetización con yugo.

PUNTAS DE MAGNETIZACIÓN

La magnetización con "puntas" deberá efectuarse con un espaciamiento entre ellas de 20.3 cm (8 in) máximo, el espaciamiento mínimo recomendable es de 7.6 cm (3 in), véase **figura 41**.

La "punta" en contacto con la superficie examinada debe mantenerse limpia. La corriente de magnetización en este método debe ser directa o rectificadas a un mínimo de 100 y a un máximo de 125 amperes¹³ por pulgada de espaciamiento para espesores de .19 mm (3/4 in) y mayores.

Para espesores de menos de 19 mm, el amperaje debe ser de 90 a 110 amperes por pulgada de espaciamiento.

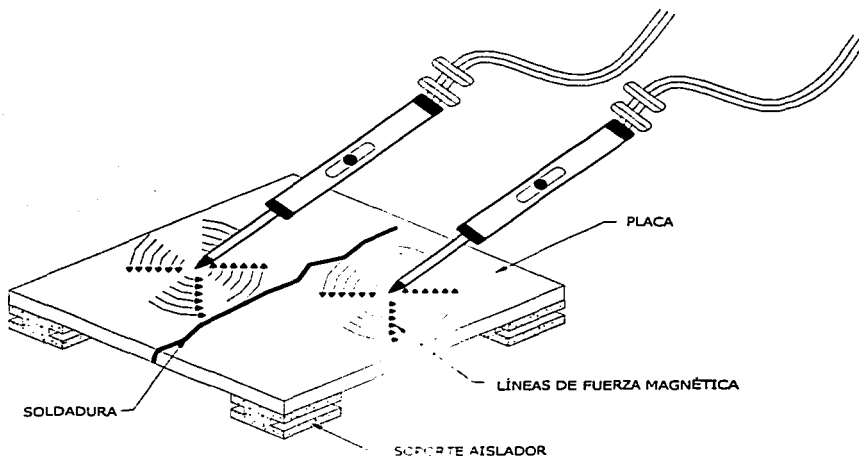


Figura 41. Magnetización con puntas o agujijones. La magnetización con "puntas" deberá efectuarse con un espaciamiento entre ellas de 20.3 cm máximo, el espaciamiento mínimo recomendable es de 7.6 cm.

MAGNETIZACIÓN CON BOBINA

En esta magnetización se produce un campo magnético paralelo al eje de la bobina (véase **figura 42**). Se usa corriente directa o rectificada para la alimentación de la bobina, tomando en cuenta las siguientes relaciones:

$$I = \frac{45\,000}{2 + \text{Longitud} / \text{Diámetro}} \text{ No. de vueltas}$$

Para piezas con una relación L/D = 2

$$I = \frac{35\,000}{2 + \text{Longitud} / \text{Diámetro}} \text{ No. de vueltas}$$

Para piezas con una L/D = 4

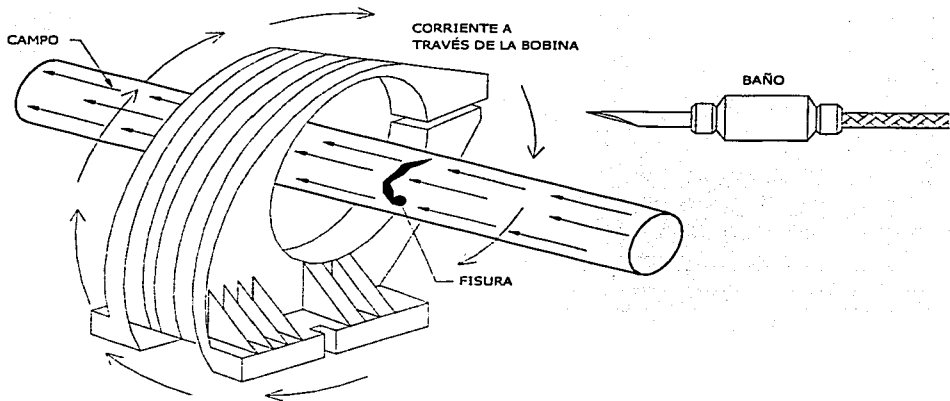


Figura 42. Magnetización por medio de bobina. En esta magnetización se produce un campo magnético paralelo al eje de la bobina. Se usa corriente directa o rectificada para la alimentación de la bobina.

Se debe considerar que el campo se extiende cerca de 15.3 cm (6 in) a cada lado de la bobina, por lo que, en partes largas debe magnetizarse en varias secciones.

MAGNETIZACIÓN POR CONTACTO DIRECTO

En la magnetización por contacto directo se hace pasar la corriente de "lado a lado" a través de la parte a ser examinada, lo que produce un campo magnético circular al flujo de la corriente. Véase **figura 43**.

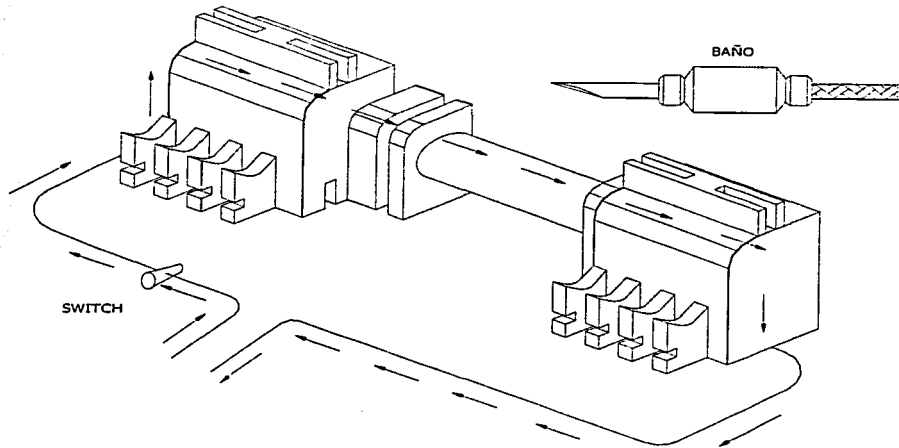


Figura 43. Magnetización por contacto directo. En la magnetización por contacto directo se hace pasar la corriente de "lado a lado" a través de la parte a ser examinada, lo que produce un campo magnético circular al flujo de la corriente. Las flechas indican el sentido del flujo de corriente.

TIPOS DE CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN

Corriente Alterna.- Es la más común pues solo se requiere tener un transformador; produce el efecto sobre la cáscara (mejor para la detección de defectos superficiales). Se utiliza el mismo equipo para magnetizar y desmagnetizar. Produce un campo residual.

Corriente Directa.- Tiene una mayor penetración (mejor para la detección de defectos sub-superficiales).

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Son partículas de hierro finamente divididas con la propiedad de ser ferromagnéticas. Pueden ser de dos tipos:

1. Partículas Magnéticas Secas.
2. Partículas Magnéticas Húmedas.

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS SECAS

Son de fácil uso, y tienen presentación en diferentes colores (gris, amarillo, negro y rojo) esto con el propósito de elegir el más adecuado para obtener un mejor contraste con las piezas que se inspeccionan.

PARTÍCULAS MAGNÉTICAS HÚMEDAS

Existen dos tipos de partículas húmedas y son:

Partículas Magnéticas Fluorescentes.- Son usadas en el método húmedo, y están cubiertas con un líquido el cual provoca su fluorescencia cuando se exponen a una luz próxima a la ultravioleta (negra).

Partículas Magnéticas Visibles.- Son usadas normalmente en el método húmedo. Son rojas o negras y se observan bajo la luz blanca o normal.

DESMAGNETIZACIÓN

Algunas piezas retendrán un campo apreciable después de la inspección. Éste no afecta las propiedades mecánicas de la pieza, y en muchos de los casos, no será dañino para su uso posterior. Sin embargo, puede ser necesaria la desmagnetización de la pieza, como es el caso de que vaya a ser maquinada después, donde el campo residual puede causar que la herramienta colecte rebabas. Si la parte va a ser usada en lugares cercanos a instrumentos sensibles a altos campos residuales podrían afectar su operación.

Las técnicas usuales para la desmagnetización son las siguientes:

Método 1:

El método más usado es remover en la pieza el campo de alta intensidad con una bobina de corriente alterna utilizando una intensidad de 5 000 a 10 000 amperes-vuelta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Método 2:

Podrán usarse pasos consecutivos reversibles para reducir la corriente directa de magnetización hasta un valor despreciable. Este es el método más efectivo de desmagnetización en piezas grandes en las cuales el campo de corriente alterna tiene insuficiente penetración para eliminar el magnetismo residual. Este método requiere de equipo especial para invertir la corriente y reducirla simultáneamente en 25 o más pequeños decrementos.

**NORMAS DE REFERENCIA PARA LA INSPECCIÓN
CON PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

ASTM-E109-63	Método normal para la inspección con partículas magnéticas vía seca.
ASTM-E138-63	Método normal para la inspección con partículas magnéticas vía húmeda.
MIL-STD-271D-65	Requerimientos de END para metales.
ASTM-E125-63	Fotografías de referencia estándar para la inspección con partículas magnéticas de fundiciones ferrosas.

2.9 ENSAYO CON RADIOGRAFÍA

La prueba Radiográfica ha permitido asegurar la integridad y confiabilidad de un producto y proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y perfeccionamiento de un producto particular. La principal ventaja de este ensayo es la de poder proporcionar un registro permanente.

La prueba utiliza radiación de alta energía capaz de penetrar materiales sólidos, la condición interna de estos materiales es registrada en una película radiográfica ó pantalla fluorescente. Su alcance abarca una gran variedad de materiales y formas para detectar discontinuidades en la superficie o en su interior.

BREVE HISTORIA DE LA RADIOACTIVIDAD

En 1885, el físico francés Henri Becquerel, al estudiar la fluorescencia de los compuestos de uranio, creó la primera hipótesis sobre radiactividad de algunos minerales de uranio.

Pierre y Marie Curie, en 1898, aislaron un nuevo elemento radiactivo: el Polonio, proveniente de minerales de uranio; en 1902 los esposos Curie lograron aislar de la Pechblenda (de uranio) un nuevo elemento al que llamaron radio.

Los rayos **X** fueron descubiertos en 1895, por el físico alemán Roentgen quién les dió este nombre debido a que en ese entonces se desconocía su naturaleza.

TIPOS DE RADIACIÓN

Los principales tipos de radiación conocidos son:

- a. Radiación alfa (α)
- b. Radiación beta (β)
- c. Radiación gamma (γ)

RADIACIÓN ALFA (α)

Esta radiación son núcleos del elemento helio con las siguientes características.

- Son partículas con masa (6.62×10^{-24} grs.).
- Altamente ionizantes (10 veces más que los rayos gamma).
- Son desviadas en un campo magnético, hacia el polo negativo.
- Tienen bajo poder de penetración.
- Su velocidad es aproximadamente de 1/10 veces la velocidad de la luz.
- Pueden ser detenidas fácil y efectivamente por unas hojas de papel.

RADIACIÓN BETA (β)

Es la emisión de un electrón desde el núcleo. Esta emisión puede ser considerada como un cambio de neutrones en un protón y un electrón emitido, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Son partículas con carga negativa.
- Tienen la misma masa que los electrones.
- Son emitidos desde el núcleo.
- Su velocidad es de 9/10 la velocidad de la luz.
- Son desviadas por un campo magnético hacia el polo positivo.
- Tienen bajo poder de ionización.
- Tienen poder de penetración (no muy alto).
- Pueden ser detenidos completamente con materiales plásticos con un espesor de por lo menos 6.2 mm (1/4 in).

RADIACIÓN GAMMA (γ)

Son los de mayor poder de penetración, por lo que es más útil en la inspección radiográfica y tienen las siguientes características:

- Son ondas electromagnéticas.
- Son emitidas por el núcleo del átomo.
- No tiene masa ni carga eléctrica.
- No son desviados por un campo magnético.
- Tienen bajo poder ionizante.
- Presentan un elevado poder de penetración en materiales sólidos.
- Viajan en línea recta a la velocidad de la luz.
- Presentan una longitud de onda corta.

En la **figura 44** se muestran los rayos X. Puede verse que tienen alta energía y longitud de onda relativamente corta en el aspecto de onda electromagnética, por lo cual tienen capacidad de penetrar en materiales opacos, para detectar defectos internos.

Tanto los rayos **X** como los rayos **γ**, sólo difieren de los otros tipos de radiación electromagnéticas (luz visible, microondas, etc.) en su longitud de onda. Ambos tipos de radiación (**X**, **γ**) son físicamente indistinguibles: solamente son diferentes en la manera en que son producidos.

Los rayos **X** resultan de la interacción entre un flujo de electrones moviéndose rápidamente y los átomos de un material sólido, mientras que los rayos **γ** son emitidos durante la desintegración radiactiva de núcleos atómicos inestables¹⁴.

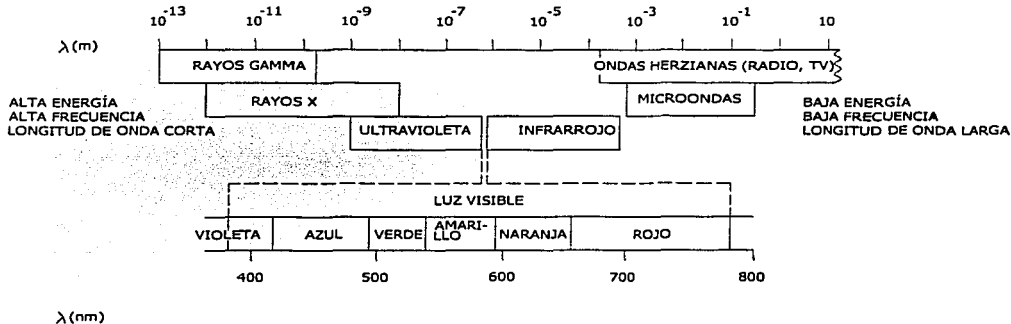


Figura 44. Radiación electromagnética. La radiación electromagnética se presenta con una escala logarítmica, y el espectro de luz visible sin ésta.

Para recordar brevemente el principio de la generación de los rayos **X**, en la **figura 45** se muestra un generador de rayos **X** simplificado.

Un filamento incandescente emite electrones que son acelerados hacia el ánodo, debido a la gran diferencia de potencial producida con una fuente de voltaje. Al chocar con el blanco de tungsteno del ánodo, los electrones sufren una desaceleración considerable, produciéndose dos tipos de espectros de emisión.

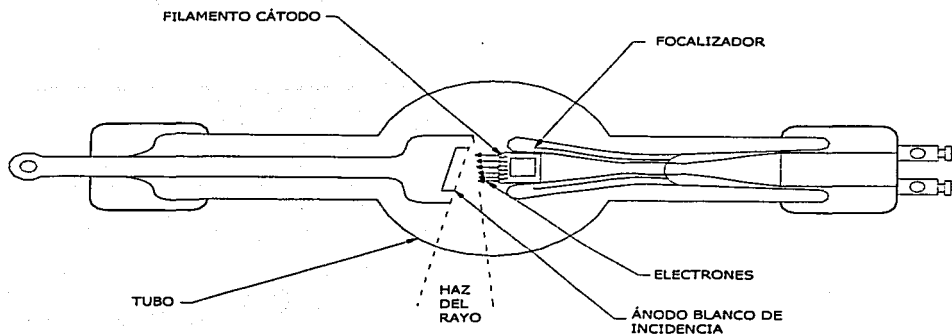


Figura 45. Producción de rayos "x".

El primero conocido como "Bremsstrahlung" surge debido a la desaceleración de electrones y, el segundo (espectro de líneas), depende del material montado sobre el ánodo.

El espectro de una radiación **X** producida con un ánodo de tungsteno (200KV) aparece en la **figura 46**. Resulta importante recordar que los cuatro picos principales que aparecen se deben exclusivamente a las características del material, en cambio, la forma general de la curva, se debe a la "Bremsstrahlung". De esta forma queda claro que los rayos **X** no radian en una sola longitud de onda sino en toda una gama de ellas, presentando picos de formas diversas, que dependen de parámetros como el voltaje de aceleración y el material del ánodo.

Los rayos **X** o de Roentgen tienen la capacidad de atravesar objetos opacos a la luz visible. Gracias a su longitud de onda tan corta (1 \AA)¹⁵.

Esta radiación es colimada y dirigida hacia el elemento que se desea examinar (cuerpo humano, soldaduras, álabes de turbina, etc.). Al atravesarlo interacciona con una placa fotográfica colocada detrás del objeto, produciendo una imagen que una vez revelada, muestra zonas con densidad variable. Las secciones oscuras representarán las partes más penetrables y las más claras son las opacas a la radiación **X**; es decir, más densas. De esta manera pueden detectarse por ejemplo, fallas en soldaduras. El inciso a) de la **figura 47** muestra el caso, donde se esquematiza una soldadura con escoria.

Debido a que la densidad de la escoria es menor que la de la soldadura, aparece como un punto oscuro sobre la película. Esto puede observarse en el inciso b) de la misma figura, que es una gráfica de la densidad (tono de gris) de la película. Al llegar a la soldadura, la densidad de la emulsión fotográfica disminuye, de manera que la soldadura aparece más clara que el resto de la placa metálica. Al suponer ahora, que existe un

defecto en la región indicada, éste aparecerá como una región más oscura que el resto de la soldadura, lo que indica claramente la región afectada.

En conjunto, con intensificadores y procesadores de imágenes digitales, el método radiográfico es una herramienta muy útil.

Una técnica similar es la llamada **gammagrafía** (radiografía con rayos gamma), que se maneja en forma semejante. La diferencia radica en que para este tipo de inspección se reemplaza el tubo de rayos X por una cápsula contenedora del radioisótopo que provee la radiación gamma. (los radioisótopos más comunes para este tipo de exámenes son Ir192, Cs137 y Co60 cuyas vidas medias¹⁶ son de 70 días, 33 años y 53 años, respectivamente.)

Esta técnica es poco usada, debido al peligro que representa su uso, al costo relativamente elevado y a que la calidad de la imagen frecuentemente es inferior a la de una radiografía convencional.

Actualmente, se cuenta también con técnicas de radiografía con neutrones o protones para aplicaciones especiales. En el primer caso, es necesario contar con un reactor de fisión, el cual emite grandes cantidades de neutrones que pueden colimarse con la energía quirúrgica deseada, la interacción de este haz con la materia proporciona información sobre su estado. Estos datos se graban sobre una placa fotográfica.

En radiografía con protones la técnica es similar, utilizándose frecuentemente arreglos de detectores digitales en lugar de placas fotográficas, con la ventaja de poder procesar los resultados por computadora.

En medición de espesores resulta muy atractiva una técnica que utiliza radioisótopos, midiendo la atenuación que sufre la radiación al atravesar cierto espesor. La muestra que se desea analizar se coloca entre una fuente de rayos X, gamma o beta y un detector (cámara de ionización, contador Geiger, etc.). El detector mostrará la atenuación y considerando que ésta es del tipo exponencial, puede calcularse el espesor de placas de plástico, aluminio, acero, pliegos de papel, etc., con precisión hasta de 1 por ciento.



Figura 46. Espectro de rayos "x".

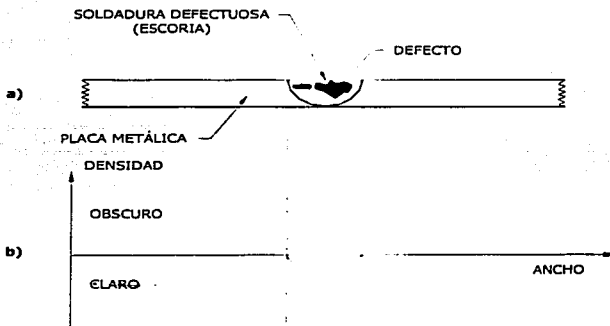


Figura 47. Corte transversal a través de una soldadura y su respuesta de densidad sobre la emulsión fotográfica.

SEGURIDAD RADIOLÓGICA

El uso de radiaciones α o gamma implica riesgos para la salud que necesariamente deben conocerse antes de usar este tipo de examinación.

El uso de rayos α ofrece la ventaja de poder controlar la emisión de radiación mediante el suministro o no de energía al equipo emisor.

El uso de radiación gamma sólo puede controlarse mediante blindajes adecuados y distancias. Una cápsula radiactiva emite radiaciones intermitentemente y en todas direcciones. Por lo tanto, al exponerse una película se deberá guardar cierta distancia a fin de evitar en lo posible la radiación. Terminada la exposición, el material radiactivo deberá guardarse en contenedores especiales.

El manejo, almacenaje, transporte y uso de material radiactivo en nuestro medio requiere el conocimiento de toda una serie de medidas de un manual de seguridad y reglamentos dictados por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

NORMAS DE REFERENCIA PARA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

ASTM E 94-68	Prácticas recomendadas para pruebas radiográficas.
ASTM E 99-63	Radiografías Estándar de Referencia de Uniones Soldadas de Acero.
MIN-R 11470-53	Inspección radiográfica, calificación de equipo, operadores y procedimientos.
MIL-R 11471-51	Inspección radiográfica de metales.
IIW-1962	Instituto Internacional de Soldadura (radiografías de referencia).

2.10 ENSAYO CON ULTRASONIDO

Otro tipo de END es el ultrasónico, que en varios campos ha llegado a sustituir a la radiografía (sobre todo en lo que se refiere a tejidos biológicos).

Tiene una amplia aplicación en la detección de defectos y medición de espesores. Las limitaciones que presenta se deben a problemas estructurales del material, la rugosidad y forma de la superficie del espécimen a examinar y el acoplamiento entre el transductor ultrasónico y la muestra.

En este tipo de ensayos, un haz sónico de alta frecuencia (0.5 a 10 megahertz)¹⁷ es emitido y se propaga a través del elemento examinado. La reflexión de este haz puede proporcionar información valiosa acerca de defectos localizados dentro de la muestra (analizando frecuencia, atenuación, ángulos, etc.)

La penetración de las ondas ultrasónicas es muy buena en la mayor parte de los metales, de manera que es posible analizar placas de acero hasta de algunos metros de espesor. Este tipo de vibraciones se propagan a través del material por sus moléculas, siendo de longitud de onda muy corta. Su generación se logra gracias al efecto piezoeléctrico mostrado en la **figura 48**.

Los materiales piezoeléctricos tienen la propiedad de producir una pequeña corriente eléctrica al someterlos a un esfuerzo. El efecto inverso también se da; es decir, al aplicar una corriente, el material se dilata.

Como se muestra en la ilustración, es posible lograr una vibración mecánica de alta frecuencia, aplicándole una corriente variable a un cristal piezoeléctrico. Este es el principio de funcionamiento de un transductor ultrasónico¹⁸.

La velocidad de propagación de estas ondas depende de la elasticidad del medio. Son de tipo longitudinal y, para el caso de sólidos, es posible que además aparezcan ondas transversales¹⁹ (con diferente velocidad de propagación y, por tanto, con diferentes ángulos de refracción).

Existen varios tipos de transductores ultrasónicos. Algunos son de contacto directo, otros de tipo sumergible en agua o aceite. La **figura 49** muestra un transductor convencional.

Frecuentemente, es conveniente usar dos transductores, uno como emisor y otro como receptor.

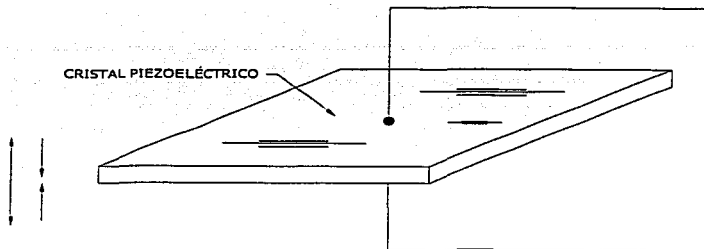


Figura 48. Efecto piezoeléctrico. Los materiales piezoeléctricos tienen la propiedad de producir una pequeña corriente eléctrica al someterlos a un esfuerzo. El efecto inverso también se da; es decir, al aplicar una corriente, el material se dilata.

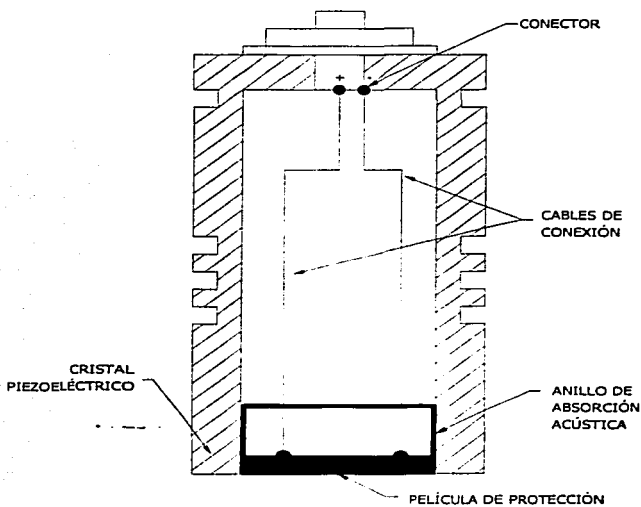


Figura 49. Transductor ultrasónico.

Como puede observarse en la **figura 50**, el arreglo de un equipo ultrasónico está compuesto esencialmente por los transductores (excitados por un generador de pulsos a través de un amplificador) y un tubo de rayos catódicos que recibe las señales de los transductores una vez que pasaron por el receptor de información. Este receptor amplifica y procesa la señal, de modo que pueda ser interpretada fácilmente sobre la pantalla.

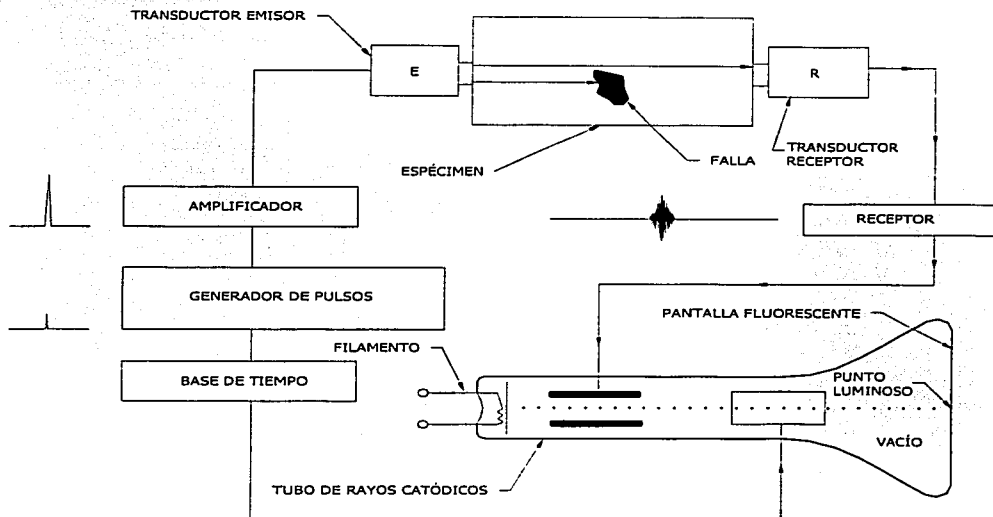


Figura 50. Equipo convencional de ultrasonido.

Nótese que la señal proveniente del receptor regula el movimiento vertical del haz electrónico en el tubo de rayos catódicos. El movimiento horizontal es controlado por la base de tiempo. En este diagrama de bloques no se incluye la fuente de potencia, ya que no está relacionada con el principio de operación.

Existen varios métodos de prueba que pueden realizarse con equipo de este tipo. Uno de ellos es el de **pulsó-eco**, en el que se utiliza exclusivamente un transductor como transmisor y receptor simultáneamente. Dicho transmisor emite ondas ultrasónicas que se reflejan en las interfaces o en discontinuidades presentes en el espécimen analizado, dando como resultado sobre la pantalla osciloscópica, pulsos como los mostrados en la **figura 51**. En el inciso a) de esta figura, se muestra un caso en el que se tiene un espécimen libre de defectos, originando dos pulsos correspondientes a la cara anterior y

posterior de la muestra. La separación entre estos picos está relacionada con el largo del objeto analizado.

Si se supone, ahora, la presencia de dos defectos de dimensiones pequeñas, se producen sobre la pantalla del osciloscopio dos picos más, debido a la reflexión parcial del haz ultrasónico.

El inciso c), representa una muestra con una región de alta porosidad que produce un gran número de pequeñas reflexiones hasta que finalmente absorbe toda la energía disponible, de modo que no es posible detectar la pared posterior del espécimen.

Como último caso, obsérvese el inciso d). Ahí, un defecto de dimensiones considerables bloquea al haz, reflejándolo en su totalidad. Nuevamente, es imposible "ver" la pared posterior.

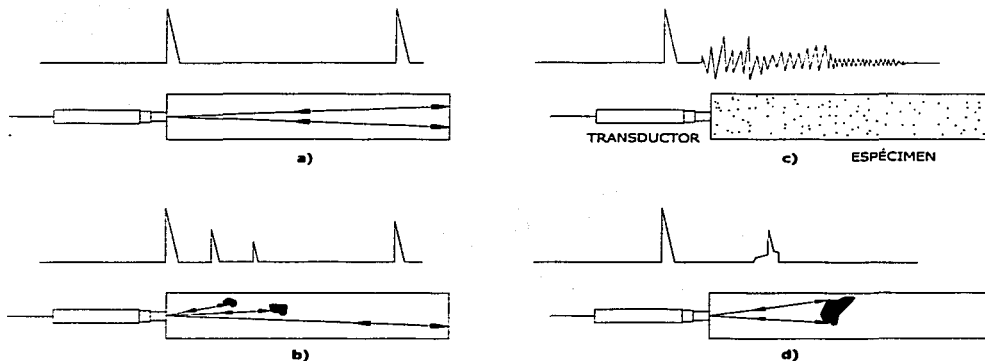


Figura 51. Método de pulso-eco. a) Espécimen libre de defectos. b) Espécimen con pequeños defectos. c) Región de alta porosidad. d) Defecto de dimensiones considerables.

Al realizar mediciones de distancias entre los diferentes picos, así como de sus amplitudes²⁰, es posible obtener información referente a la localización y dimensión de fallas internas, para ellos, los equipos comerciales cuentan con una escala superpuesta sobre la pantalla osciloscópica.

Otro método muy común, es el que se presenta en la **figura 52**. Nótese el uso de dos transductores, uno como emisor y otro como receptor. La señal registrada en el osciloscopio sólo la capta el transductor receptor.

Al existir una falla dentro del objeto considerado, la señal recibida se atenúa, revelando en esta forma su presencia. (Debe entenderse por falla una ruptura en la continuidad o variación en la estructura del material, interfase, etc.)

Uno de los factores más importantes para este método es el acoplamiento entre los transductores y el espécimen. Generalmente, esto se resuelve con una columna de agua entre el transductor y la muestra, tal como se ve en el inciso a) de la **figura 53**.

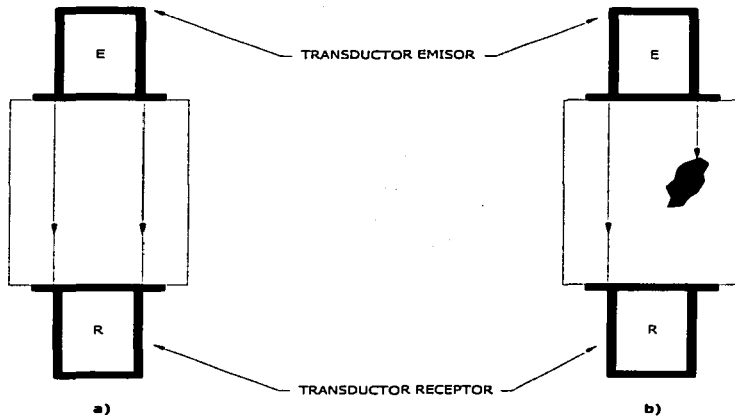


Figura 52. Técnica de emisor-receptor. a) Espécimen sin defecto. b) Espécimen con defecto.

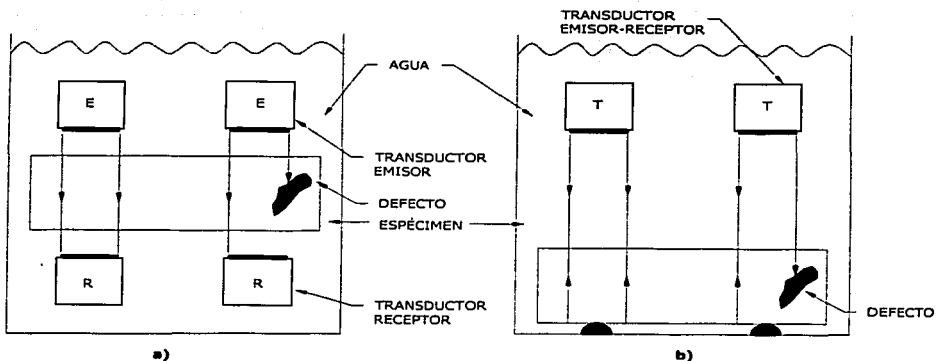


Figura 53. Técnica de inmersión.

La técnica de inmersión se usa ampliamente en control automático de calidad, permitiendo desplazamientos continuos entre muestra y transductores con un acoplamiento óptimo. Con frecuencia se recomienda incluso el arreglo pulso-eco, tal como se sugiere en el inciso b) de la figura 53.

En algunas situaciones, es muy útil montar el transductor emisor y el receptor en una sola unidad. Este arreglo, que se muestra en la **figura 54**, se recomienda para medir espesores, cuando las superficies posteriores están corroídas como sucede, por ejemplo, en tuberías de calderas.

La elección de alguna de estas técnicas dependerá de diferentes factores como tipo de superficies, objetivos, posición, dimensión y orientación de las fallas, además de los transductores disponibles, longitud de onda, etc.

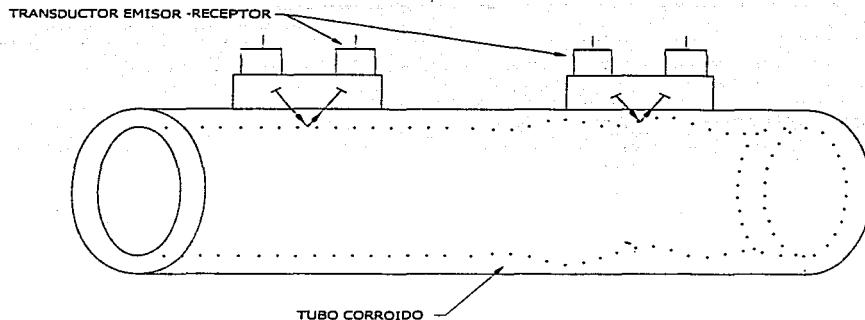


Figura 54. Transductores emisor-receptor en una medición de espesores.

Si se supone que la técnica y los parámetros seleccionados no son los adecuados, es posible que no se detecte gran parte de las fallas ocultas en el material. Un ejemplo de ellos aparece en el inciso a) de la **figura 55**, en la que se trata de detectar una falla laminar con el método de pulso-eco. Obsérvese que el defecto no se detecta debido a que el haz se refleja en su totalidad hacia una región en la cual el transductor no capta el eco. El inciso b) muestra una solución al problema, utilizando un transductor inclinado apoyado sobre una cuña de plástico. En el inciso c), aparece una discontinuidad rugosa, en cuyo caso el transductor sí recibe un eco, pero la señal que llega está atenuada en comparación con la inicial.

Para realizar medición de espesores, se utiliza con frecuencia el método de ecos múltiples, en que el haz sónico —que se refleja una y otra vez— se registra como cierto número de picos en la pantalla del osciloscopio. Calibrando el instrumento, midiendo la distancia hasta el n -ésimo pico y dividiendo entre n , puede obtenerse el espesor de la muestra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

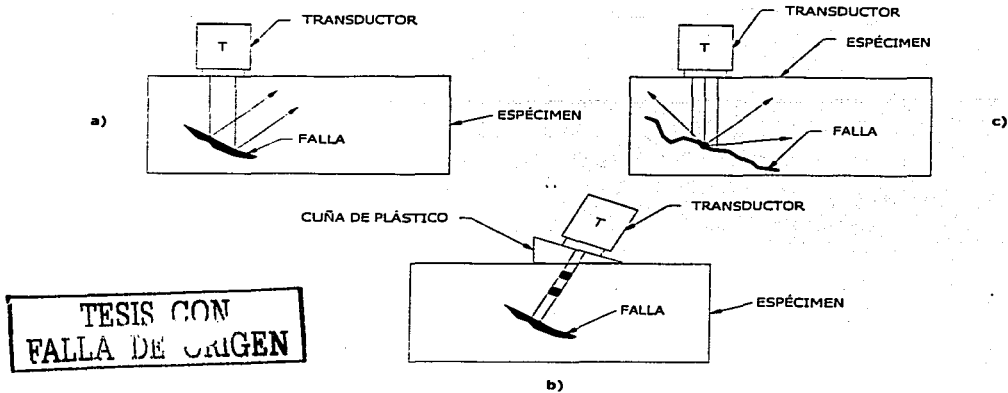


Figura 55. Detección de una falla laminar.

2.11 ENSAYO CON CORRIENTES DE EDDY

Parte de los ensayos magnéticos se realizan con otro método basado en pruebas electromagnéticas de inducción, conocido con el nombre de corrientes de Eddy²¹. Dicho método permite detectar defectos en materiales ferromagnéticos de 2 a 3 mm (1/16 a 1/8 in) de profundidad, selección de materiales en cuanto a dureza, resistencia y composición química y evaluación de espesores para materiales superpuestos.

La figura 56 muestra el principio. Se tiene un puente de Wheatstone que se alimenta con una batería de 4.5 V y una frecuencia de aproximadamente 1 KHz. Una de las bobinas está diseñada para introducir dentro de ella un patrón (muestra sin defecto). En la otra bobina se introduce el espécimen (tubo, varilla, etc.) que se desea analizar. Al deslizar el objeto de prueba dentro de la segunda bobina, se crean diferencias de potencial en el puente, debido a irregularidades o fallas que se manifiestan como un sonido audible. Con la resistencia variable se equilibra el puente de Wheatstone antes de iniciar el examen, de modo que no se escuche sonido cuando las muestras en ambas bobinas sean idénticas.

Las corrientes de Eddy son corrientes inducidas en un material conductor (muestra) por un campo magnético variable. Dependen de las características del material. Las bobinas crean el campo magnético. Si ahora se acerca un material conductor, este campo induce una corriente en la muestra que, a su vez, genera un campo magnético que nuevamente induce una corriente en la bobina. Esta pequeña corriente puede detectarse e indicar la posición de alguna falla o variación.

Existen puntas para corrientes Eddy en las que una bobina se encarga de inducir la corriente, en tanto que otra, montada en la misma punta, registra los cambios.

El diseño de los equipos varía según el tipo de aplicación y, en general, puede decirse que el método es muy sensible, su desventaja es que resulta difícil interpretar la señal obtenida.

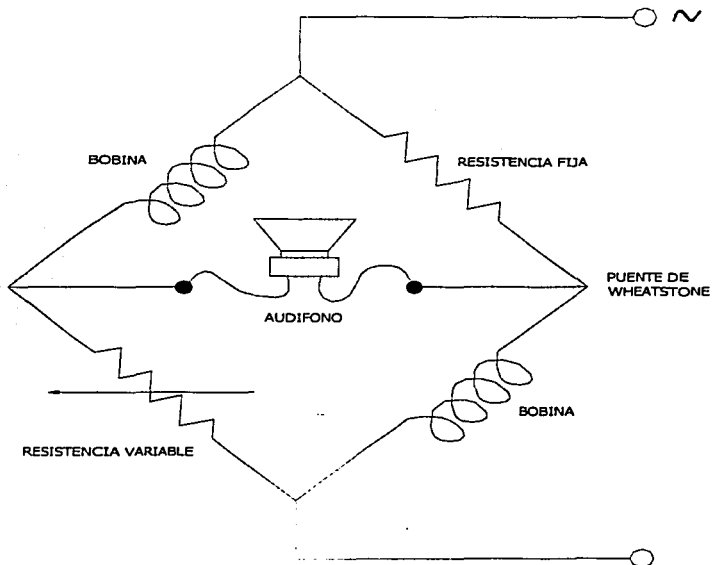


Figura 56. Circuito usado en el método de corrientes de Eddy. Consta de un audifono, dos bobinas, dos resistencias (una de ellas variable), así como el puente de Wheatstone.

NOTAS:

¹ **Proyectos Especiales: Ensayos No Destructivos.** Mauricio Calva Valderrábano y Achim M. Loske Mehling. Boletín de julio/agosto de 1987.

² Destaca la prueba de torsión en rotores de turbinas hidráulicas, como Ensayo Destructivo.

³ Una pulgada (in) equivale a 25.4 milímetros (mm).

⁴ Unidad de intensidad luminosa.

⁵ Una libra por pulgada cuadrada (lb/in²) equivale a 0.0703 kilogramos fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm²).

⁶ La tensión superficial es casi exclusiva de los líquidos y se presenta en la superficie libre que da hacia el aire, donde se forma una capa que se comporta como si fuera una membrana elástica tensa. Esto se debe a que todas las moléculas de un líquido están rodeadas por otras moléculas que se atraen entre sí.

La viscosidad se define como la facilidad que tiene un fluido para que unas de sus capas se desplacen con respecto a las otras. Es una fricción entre capas de un fluido, que determina lo que intuitivamente llamaríamos "fluidez".

Cuando un líquido está en contacto con un sólido en la superficie de contacto actúan dos fuerzas sobre las partículas del líquido. Se trata de la adherencia y la cohesión, que tienen tendencias opuestas. Las fuerzas de cohesión, se originan en el líquido y son causadas por sus partículas que tienden a mantenerlo unido. Las fuerzas de adherencia, se originan en el sólido, debido a sus partículas y tienden a atraer el líquido hacia su superficie. Por ejemplo, al rociar un vidrio con agua, la adherencia con el vidrio es superior a la cohesión, por lo que el agua "moja" el vidrio. Si usamos Mercurio en lugar de agua, la cohesión es mayor que la adherencia con el vidrio, por lo que el mercurio no "moja" el vidrio.

⁷ La capilaridad es el fenómeno por el cual un fluido se eleva en un tubo muy delgado, en virtud de las fuerzas de adherencia con las paredes de dicho tubo. Mientras más delgado sea el tubo, más marcado será el efecto.

⁸ La densidad relativa (s) es la relación de la densidad de una sustancia con respecto a la de un fluido de referencia. Para los líquidos se expresa: $s = (\rho \text{ sustancia} / \rho \text{ agua})$ donde la densidad del agua es igual a 1000 kg/m³.

⁹ Para convertir °C a °F tenemos que: °F = (9/5)°C + 32

¹⁰ La presión de vapor se define como la presión que ejerce el vapor de agua producto de la evaporación, sobre la superficie y paredes de un recipiente cerrado. Se expresa generalmente en cm de mercurio, y al llegar a la saturación se le llama tensión de vapor saturado.

¹¹ El hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio son materiales fuertemente magnéticos y suele llamárseles ferromagnéticos. Tales sustancias contienen momentos magnéticos atómicos que tienden a alinearse paralelamente unos de otros en presencia de un fuerte campo magnético externo.

¹² La corriente directa (C.D.) es aquella que se genera cuando existe un campo eléctrico variable en el conductor sin cambiar éste su sentido. La corriente alterna (C.A.) se genera cuando existe un campo eléctrico constante o variable, pero que cambia de dirección en periodos determinados.

¹³ Un Ampere (A), es la medida de la cantidad de carga que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección dada de conductor. Por definición 1 A = 1 C/s (un Coulomb por segundo).

¹⁴ La radiactividad en forma de rayos gamma se debe a que ciertos isótopos de algunos elementos, buscan arreglos más estables de su estructura atómica, lo anterior se traduce en una transmutación de dicho isótopo.

¹⁵ Un Angström (Å) equivale a 0.000 000 000 1 metros (m).

¹⁶ La vida media es el tiempo que se requiere para la desintegración de la mitad de una cantidad inicial de material radiactivo. En caso de tener 100 grs. de Ir192, al cabo de 70 días sólo tendríamos, 50 grs.

¹⁷ El Hertz es denominado también frecuencia de vibración, e indica el número de ciclos completos que una partícula puede efectuar por unidad de tiempo (ciclos por segundo).

¹⁸ Recuérdese que el sonido es una onda mecánica; es decir, transfiere energía mecánica, este no es el caso para ondas electromagnéticas como la luz o rayos X.

¹⁹ La onda transversal es aquella en la que la vibración de las partículas se realiza en dirección perpendicular a la de propagación. La onda longitudinal, en cambio, es aquella en la que la vibración de las partículas se lleva a cabo en la misma dirección en que se propaga la onda.

²⁰ La amplitud es la distancia entre la posición de equilibrio y la posición extrema ocupada por un cuerpo que oscila. En una onda de tipo transversal, sería la distancia del punto de equilibrio a un valle o a una cresta.

²¹ También denominado Corrientes Inducidas.

CAPÍTULO III:

EQUIPO Y APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN ALGUNOS COMPONENTES DE TURBINAS HIDRÁULICAS



Como se menciono en el capítulo anterior, los Ensayos No Destructivos (END) consisten en ciertas pruebas a las que se somete un objeto para verificar su calidad o el estado de la misma, sin que éste resulte dañado o inutilizado, una vez efectuados aquellos. Todos ellos están basados en principios físicos y de su aplicación se obtienen los resultados necesarios para establecer un diagnóstico del estado de la calidad del objeto inspeccionado.

Los resultados no se muestran de forma absoluta, sino que lo hacen con un lenguaje indirecto, lo que obliga a interpretarlos a partir de las indicaciones propias de cada método y en relación con los principios físicos en que están basados, naturaleza del material y procesos de fabricación. Para ello, la formación con la que cuenten los profesionales que los apliquen es decisiva.

No se puede dejar que profesionales sin la formación adecuada sean los aplicadores e interpretores de pruebas o ensayos encaminados a posibilitar el diagnóstico de componentes estratégicos que, si bien son trozos de material insensible, sí depende de su buen funcionamiento y grado de integridad el bienestar y las vidas de muchas personas. Debido a esto, se da énfasis nuevamente al hecho de que los ensayos propuestos para los componentes de las turbinas hidráulicas que se mencionan en este capítulo son de naturaleza especulativa y se basan totalmente en lo descrito en el capítulo uno, dos y tres de la presente tesis; son un apoyo para futuras aplicaciones en otros componentes u objetos similares. La manera absoluta de determinar tanto el método de END como la interpretación de sus resultados, depende totalmente de la persona que aplique el método.

El profesional de END tiene una peculiaridad en comparación con otros profesionales y es que la propia naturaleza de los ensayos hace que él forme, en cierto modo, parte del ensayo, siendo, en muchos casos, definitiva su pericia.

El conjunto de habilidades necesarias pueden adquirirse de diversas formas: por estudio, por entrenamiento y, sobre todo, por experiencia. Es claro que ésta no es transmisible y su adquisición requiere tiempo; ahora bien, si no existe una base de conocimientos y no se poseen unos hábitos de trabajo estructurados orgánicamente bajo la mano de una dirección experta, puede convertirse la experiencia, en muchos casos, en un acumular recetas y vicios difíciles de eliminar, siendo luego complicada la adaptación a problemas distintos de los conocidos, por poco que éstos difieran.

Una buena implementación de los END ayuda al aumento de los beneficios, pues al adaptarse los ensayos a la pieza, éstos pueden realizarse en cualquier momento de la producción, en repetidas ocasiones, por uno o varios métodos, reduciendo así los costos de fabricación, ya que piezas defectuosas son apartadas y no entran en el siguiente paso, pudiéndose inspeccionar la pieza una vez terminada y durante toda su vida útil.

3.1 EQUIPO PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se ha dado al parecer, elementos suficientes, en el capítulo anterior para tener una idea concreta de los diferentes END que existen en la actualidad. A continuación se verá la variedad de equipos con lo que se cuenta para efectuarlos. Todos los instrumentos son comercializados por empresas privadas, y para una mayor información sobre cada uno de ellos, se recomienda dirigirse directamente a los distribuidores.

3.1.1 INSPECCIÓN VISUAL REMOTA

La empresa Panatec pone a disposición la siguiente instrumentación necesaria para la inspección visual remota y para termografía infrarroja.

La **figura 57**, muestra la CA-ZOOM PAN-TILT-ZOOM CAMERA SYSTEM, que es un sistema de inspección visual mediante CCTV, dotado de control remoto de rotación e inclinación. Posee un sistema estanco y presurizado, siendo ideal para trabajos en ambientes hostiles.

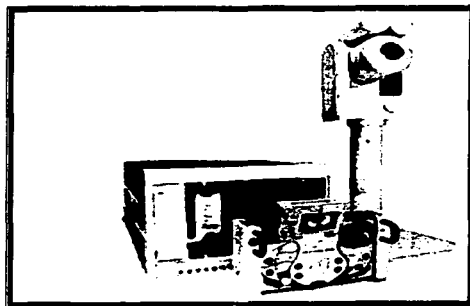


Figura 57. CA-ZOOM PAN-TILT-ZOOM CAMERA SYSTEM. (Panatec).

La serie Ca-Zoom PTZ (pan-tilt-zoom) constituye una línea de cámaras CCTV diseñadas para proporcionar imágenes detalladas del interior o exterior de reactores y depósitos. Presurizada y sumergible.

Cuenta con motores eléctricos teleoperados, así mismo dispone de la posibilidad de realizar movimientos de inclinación y rotación a distancia. Tiene un Zoomx72 e iluminación integrada. Consola de operación remota. Diferentes diseños en función del diámetro de acceso.

APLICACIONES

- Tanques y reactores.
- Conducciones de gran diámetro.
- Redes de colectores industriales.
- Inspección de elementos remotos inaccesibles.

CARACTERÍSTICAS

- Zoom 72:1 para imágenes detalladas.
- Diseño integrado sin exposición externa de cables garantizan la durabilidad.
- Iluminación "turbo" para situaciones desfavorables.
- Microcámara CCD de alta sensibilidad.
- Ligera y portátil.
- Control remoto desmontable.

La **figura 58** muestra el **VIDEOPROBE XL-PRO**, que es la herramienta más avanzada y potente del mercado (desde el punto de vista de Panatec) para la realización de inspecciones visuales en lugares de difícil acceso. Dotado de una sonda flexible de 5,6,7 u 8 mm de diámetro, Panatec asegura que este videoscopio es capaz de acceder con gran facilidad al interior de motores, turbinas, intercambiadores de calor, calderas, depósitos, o reductores y proporcionar nítidas imágenes en color de alta resolución.



Figura 58. VIDEOPROBE XL-PRO. Equipo videoscópico portátil de inspección. Es conocido por su sistema intuitivo de control de la articulación mediante joystick, manejo con una sola mano y monitor LCD integrado, el XLPRO está disponible en diferentes diámetros y longitudes. Diámetros de 5, 6, 7 y 8 mm - longitudes 1.5 a 30 m. (Panatec).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CARACTERÍSTICAS

El VIDEOPROBE XL-PRO incorpora una microcámara CCD de alta resolución, además de una potente fuente de iluminación de tecnología "arclamp". La imagen es transmitida digitalmente por el interior de la sonda flexible hasta un monitor portátil LCD. La cabeza de la sonda es articulable y dirigible desde el exterior mediante un joystick de fácil e intuitivo manejo, permitiendo giros y rotaciones de hasta 180° en todas las direcciones del espacio.

ACCESORIOS

El VIDEOPROBE dispone de innumerables funciones para el tratamiento y almacenamiento digital de la imagen captada, como es el zoom, congelación de imagen, división de pantalla, variación del tiempo de exposición, digitalizador y grabador de imágenes, inversión especular de la imagen, inserción de textos, marcación y medición de defectos. La longitud de la sonda flexible está disponible desde 1.5 m hasta 30 m.

El equipo es completamente portátil y se suministra en un maletín de transporte dotado de ruedas y mango retráctil.

Panatec cuenta con sistemas robotizados para la inspección visual de conducciones. En la **figura 59** se presenta el equipo robotizado teleoperado Rover 400 para inspección visual de redes de conducciones. Posee un sistema direccionable dotado de cámaras de visión axial y oscilogiratoria para inspecciones en diámetros desde 100 hasta 500 mm. Cabrestantes sincronizados, ruedas intercambiables, unidad de control portátil y software de generación de informes.

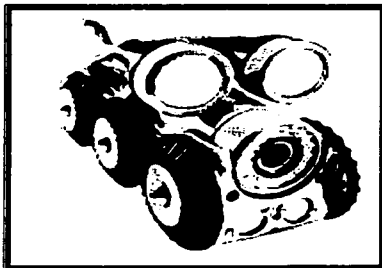


Figura 59. Robot de inspección ROVER 400. El equipo de menor tamaño y peso de la familia Rover, el modelo 400 permite la inspección desde diámetros de 100 mm en adelante (hasta 500 mm), contando con todas las prestaciones de los grandes carros. (Panatec).

APLICACIONES, CÁMARAS Y CARRO TRACTOR

- Redes de saneamiento.
- Redes de abastecimiento.
- Redes de drenaje.
- Conductor de aire acondicionado o eléctrico.
- Depósitos y tanques.

El Rover puede incorporar diferentes tipos de cámaras en función de su aplicación. Cámaras de visión axial para inspecciones generales en pequeños diámetros. Rotativas oscilogiratorias para inspecciones en detalle de juntas y paredes de las conducciones. Opcionalmente las cámaras pueden ser dotadas de protección antideflagrante.

El robot de inspección modelo Rover 400 incorpora el carro tractor FW100 (véase **figura 60**), para inspecciones en diámetros desde 100 mm. Este carro dispone de tracción a las 6 ruedas de forma independiente permitiendo los giros sobre sí mismo. Incorpora iluminación auxiliar.

El Rover es un sistema diseñado para ser operado y transportado de manera portátil en un vehículo convencional. No obstante, opcionalmente Panatec ofrece la posibilidad de realizar montajes sobre vehículos especiales (camiones o furgones).

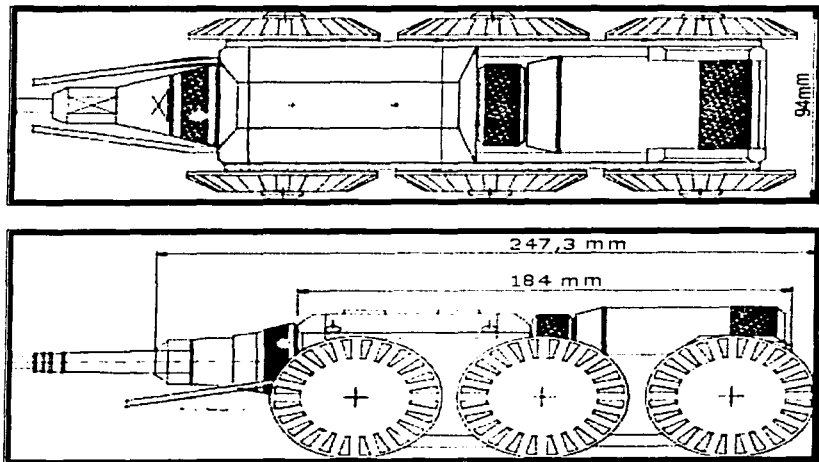


Figura 60. Carro tractor FW100. (Panatec).

El equipo robotizado teleoperado Rover 600 (véase **figura 61**), al igual que el 400 tiene sistemas direccionables dotados de cámaras de visión axial y osciligratoria pero para inspecciones en diámetros desde 125 hasta 800 mm. Cabrestantes sincronizados, altura de la cámara ajustable, ruedas intercambiables, unidad de control portátil y software de generación de informes.

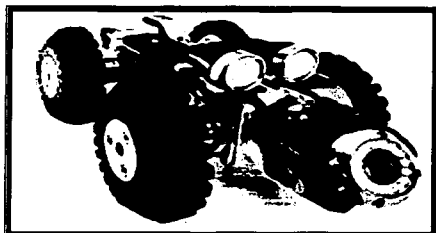


Figura 61. Robot de inspección ROVER 600. Más potente y pesado que el anterior, el modelo Rover 600 inspecciona eficazmente secciones de diámetros comprendidos entre 125 y 800 mm. Medición de inclinación, iluminación accesoria y sonda de localización exterior son algunas de las opciones para este equipo. (Panatec).

APLICACIONES, CARACTERÍSTICAS Y CARRO TRACTOR

Tanto sus aplicaciones y características son muy similares a las vistas en el modelo 400, difiriendo únicamente en la cuestión de las dimensiones y el peso. No obstante, el modelo 600 incorpora el carro tractor FW125 (véase **figura 62**), para inspecciones en diámetros desde 125 mm. Este carro dispone de tracción a las 6 ruedas de forma independiente permitiendo los giros sobre sí mismo. Incorpora iluminación auxiliar.

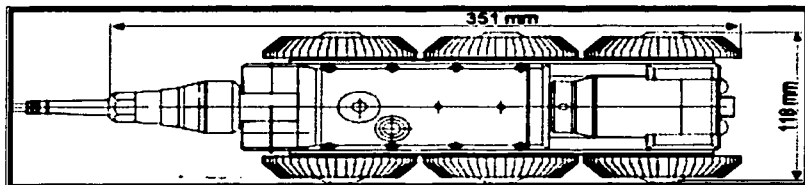
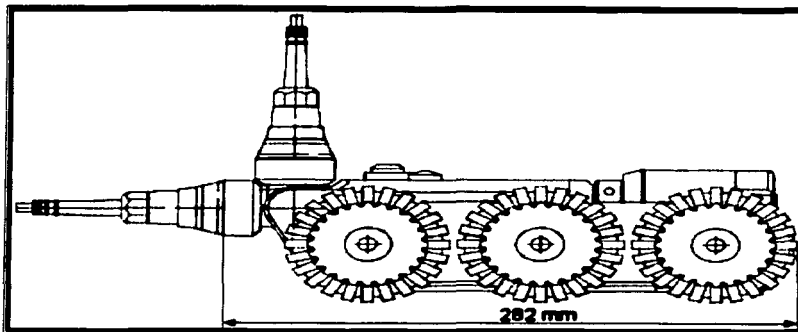


Figura 62. Carro tractor FW125. (Panatec).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



(Continuación). **Figura 62. Carro tractor FW125.** (Panatec).

Finalmente, el tercer Robot de inspección Rover es el modelo 900 (véase la **figura 63**) para inspecciones en diámetros desde 225 hasta 2000 mm. Cabrestantes sincronizados, altura de la cámara ajustable, ruedas intercambiables, unidad de control portátil y software de generación de informes. El robot de inspección modelo Rover 900 incorpora el carro tractor FW225 (véase **figura 64**). Este carro dispone de tracción a las 6 ruedas de forma independiente permitiendo los giros sobre sí mismo. Posee iluminación auxiliar, sensor de localización superficial, inclinómetro y control eléctrico de la altura de la cámara.

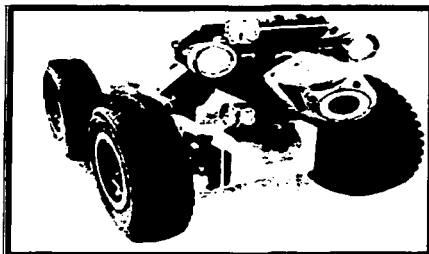


Figura 63. Robot de inspección ROVER 900. Indicado para trabajos intensivos, en los que se requieren altos rendimientos de inspección en diámetros desde 225 mm hasta 1500 mm. Este carro tractor incorpora medición de inclinación, iluminación accesoria, sonda de localización exterior y altura de cámara controlable desde el exterior. (Panatec).

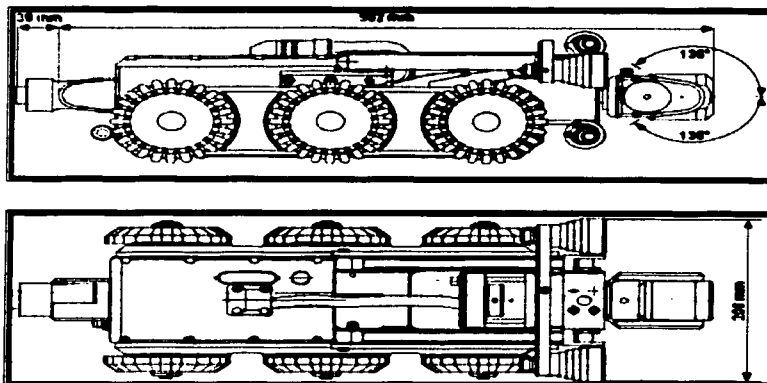


Figura 64. Carro tractor FW225. (Panatec).

En varios diámetros y longitudes, Panatec ofrece una familia de fibroscopios flexibles para determinadas aplicaciones de inspección visual remota. Diámetros desde 1 mm y longitudes desde 400 mm hasta 3 000 mm.

Los fibroscopios flexibles (véase **figura 65**) incorporan fibras de 6 micras de diámetro de alta densidad, proporcionando imágenes de alta calidad incluso en diámetros tan pequeños como 2 mm. Están fabricados para soportar condiciones duras de trabajo, con protecciones exteriores en tungsteno y acero inoxidable.

Uno y dos grados de libertad en la articulación de la punta permiten el acceso a los puntos más escondidos. Gama completa de modelos con más de 30 modelos. Modelos estándar desde 2 mm de diámetro y longitudes hasta de 3 m.

La incorporación de tecnología de fibras superfinas permite incluir miles de fibras en el mismo diámetro. Por ejemplo, para todos los instrumentos de diámetros de 3, 4, 5, 6 y 8 mm, se dispone entre un 25 y un 50 por ciento más de fibras que en los endoscopios convencionales, proporcionando una imagen de mayor calidad y nitidez.

El diseño del cuerpo central del fibroscopio es cómodo para cualquier tamaño de mano, permitiendo un cómodo manejo de las funciones de instrumento: articulación y enfoque. Estos fibroscopios han sido diseñados y fabricados con determinados materiales con el objetivo de soportar las condiciones adversas del entorno industrial. Tungsteno y acero inoxidable guardan a salvo las fibras ópticas que transmiten la imagen hasta el operador.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

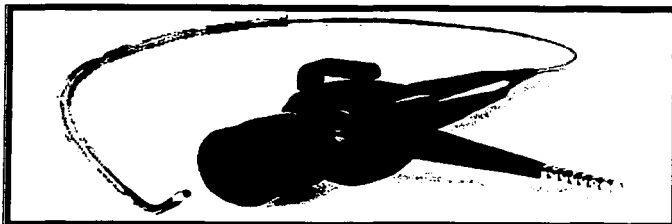


Figura 65. Fibroscopio flexible. (Panatec).

La **figura 66** muestra la cámara de inspección axial RECON. La microcámara de visión axial RECON se ajusta a conducciones de pequeño diámetro en longitudes hasta de 60 m. Esta microcámara de 40 mm de diámetro cuenta con plataforma "View", para la gestión digital avanzada de imágenes. Portabilidad, calidad de imagen y almacenamiento digital de imágenes.

El sistema RECON alcanza su portabilidad mediante un diseño compacto dotado de ruedas, mango retráctil y panel de control remoto, el cual permite al operador aproximarse al área de inspección. Cabezas, lentes y cables de empuje intercambiables en campo hacen que su sistema se adapte flexiblemente a las condiciones particulares de cada inspección. RECON constituye una nueva referencia dentro de los sistemas de inspección visual remota.

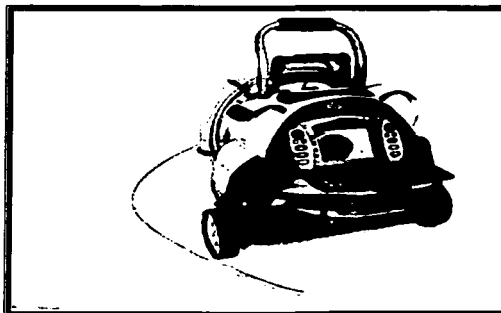


Figura 66. Cámara de inspección axial RECON. Cámara de visión axial para la inspección de conducciones y tubos. Comprobación de defectos en soldaduras, juntas, defectos estructurales y estado general interno. Grabación digital de imágenes para su exportación a PC. (Panatec).

APLICACIONES

- Colectores de saneamiento.
- Conducciones de abastecimiento.
- Tubos de calderas.
- Tubos para cables eléctricos.
- Conductos para aire de acondicionado.

CARACTERÍSTICAS

- Puesta en marcha instantánea.
- Cabezas, lentes y cable de empuje intercambiables.
- Control remoto del sistema.
- Potente iluminación.
- Unidad de control y cable de empuje integrado.
- Tecnología "View" para una moderna y efectiva gestión y grabación de imágenes.
- Cable de empuje semirrígido de 30, 45 y 60 m.
- Monitor 6.4" LCD.
- Cámara de alta resolución.
- Cable y cámara estanca hasta 60 m.
- Conexión para segundo control remoto y salida a monitor auxiliar.

ACCESORIOS

El sistema RECON cuenta con una amplia selección de accesorios, incluyendo una completa línea de cabezas ópticas de diferentes profundidades de campo y campo de visión. Elementos de centrado y guiado o cable de 5 metros para el control remoto. Grabadores de vídeo y monitores auxiliares.

3.1.2 TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Todo cuerpo emite una radiación en el espectro infrarrojo. La longitud de onda de esta energía está relacionada con el estado de agitación de sus moléculas, es decir, con su temperatura. Panatec incluye en su gama de productos cámaras sensibles a esta radiación. El resultado es una imagen representativa de la distribución de temperaturas en el cuerpo observado. Captación de imágenes discretas o en continuo, registro analógico o digital, portátiles o fijas. Estas son las diferentes características de la línea de cámaras que se muestran de la **figura 67** a la **71**.

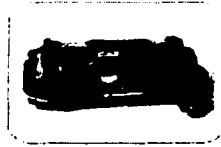


Figura 67. Cámara termográfica infrarroja portátil SnapShot 525. Medición de la distribución de temperaturas sin contacto y localización de puntos calientes. Memoria interna y software de generación de informes. (Panatec).



Figura 68. Cámara térmica portátil modelo In Sight. Resolución 160x120 puntos, 30 imágenes por segundo, funcionamiento mediante baterías y pantalla LCD incorporada. Memoria interna para el almacenamiento de imágenes. (Panatec).

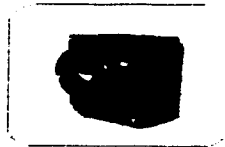


Figura 69. Cámara sensible al espectro infrarrojo IR160. Para aplicaciones de observación en continuo y vigilancia. La IR160 proporciona una señal analógica NTSC o PAL en tiempo real. (Panatec).

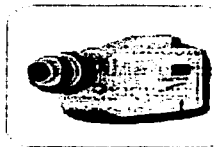


Figura 70. Cámara termográfica Vario Therm. Está particularmente indicada para aplicaciones móviles o fijas en las que se requiera un alto nivel de precisión en la medida de la temperatura. Su sensor termosensible PtSi 256x256 puntos de resolución proporciona imágenes termográficas en tiempo real (50 por segundo). Rango de temperaturas desde -25°C hasta 1200 °C (opcionalmente > 1200 °C). Monitor LCD opcional. (Panatec).

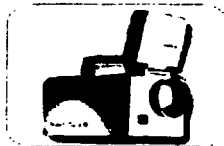


Figura 71. Cámara Varioscán. La familia Varioscán 3021, 3021-ST y 3022 cubren el espectro infrarrojo desde las 2 hasta las 12 micras. y rangos de temperatura desde -40 hasta 1200 °C. Incorporan un sensor HgCdTe con diferentes sistemas de refrigeración en función del rango de temperaturas seleccionado. La resolución del sistema es de 320x240 punto y las imágenes se presentan en un monitor de 4^{ta} TFT. (Panatec).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el ámbito industrial la aplicación de la termografía en el área de mantenimiento es una de las más difundidas, especialmente en el mantenimiento llamado predictivo.

La Termografía Infrarroja en el área de mantenimiento predictivo presenta ventajas comparativas inigualables. Quizá sea el ensayo mas divulgado y exitoso de los últimos años.

Se complementa eficientemente como los otros ensayos de mantenimiento como son el análisis de lubricantes, el análisis de vibraciones, el ultrasonido pasivo y el análisis predictivo de motores eléctricos. También por supuesto con los ensayos no destructivos clásicos como el ensayo radiográfico, el ultrasonido activo, tintas penetrantes, partículas magnéticas y corrientes de Eddy.

De todas las tecnologías la Termografía Infrarroja sería la que esta más vinculada a la seguridad de una instalación. Toda falla electromecánica antes de producirse se manifiesta generando calor. (También se puede detectar perdidas de frio) este calor o elevación de temperatura puede ser una elevación súbita, pero, por lo general dependiendo del objeto la temperatura comienza a manifestarse lentamente. Ahí es donde la termografía se transforma en una herramienta irremplazable. El objetivo es poder detectar a priori fallas que pueden producir una parada de planta y/o un siniestro.

Esto se traduce o significa reducir costos ocultos por lucro cesante, reducir las pólizas de seguro de la planta en si y los seguros del personal en el área de accidentes del trabajo. Los otros costos que se reducen sensiblemente son los del sector de mantenimiento propiamente dicho. Área la cual puede organizar mejor sus tareas pensando a futuro y tratando de disminuir al mínimo posible las reparaciones diarias, las cuales son siempre muy costosas. También reduce los costos por disminución de stock de repuestos y por mejor control de los proveedores a los cuales pueden reclamar en caso que la disipación de calor no este conforme a las normas o a sus expectativas.

Cada planta e instalación tiene su historia de como fue concebida inicialmente y como se fueron sucediendo sus ampliaciones. La calidad de la ingeniería y el montaje inicial son fundamentales para los resultados futuros. La implementación de la termografía en el área de mantenimiento tiene un beneficio también indirecto sobre el área de producción y la calidad: menos paradas no programadas lo cual significa mayor productividad y también uniformidad en el producto.

Las aplicaciones mas divulgadas de la termografía Infrarroja como un ensayo no destructivo son:

- Inspección de fuselajes de avión.
- Falta de adhesión en materiales compuestos.
- Daños por Impacto en materiales compuestos.
- Espesor medida de la profundidad en materiales compuestos.
- Porosidad en materiales compuestos.
- Adherencia de parche en materiales compuestos.

- Pérdida de espesor en metales (cañerías, recipientes etc).
- Evaluación de rotores de turbinas.
- Evaluación de uniones y empalmes en metales.
- Acumulación de sarro en metales.
- Adherencia de la pintura.
- Corrosión bajo pintura.
- Análisis dinámico de fatiga.
- Descubrimiento de corrosión oculta.
- Evaluación de la soldadura por puntos.
- Vacío, oclusión de aire y deformaciones en material plástico (polímero).

El Echo Therm (véase **figura 72**) es un sistema de vanguardia para el desarrollo y aplicación de la Termografía Infrarroja activa (dependiente en el tiempo) con la finalidad de poder resolver problemas reales en la industria de la aviación, aeroespacial, automotriz, militar, de la energía, y de los materiales en general.

También el Echo Therm puede ser usado en aplicaciones en el área de inspecciones de oleoductos, gasoductos, cañerías en general y en procesos industriales totalmente automatizados.

Echo Therm esta basado en Windows NT y su hardware es compatible con todas las cámaras infrarrojas de marca líder. Se incluye las digitales, las de alta velocidad y resolución ensambladas con detectores de formación plana.

Echo Therm provee una medida cuantitativa identificando defectos bajo superficie, mejorando significativamente la actuación de las cámaras infrarrojas.

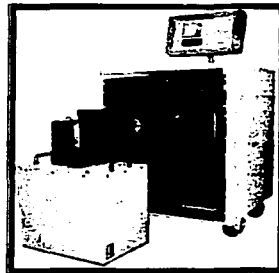


Figura 72. Sistema Echo Therm. (Panatec).

3.1.3 ULTRASONIDO

La empresa alemana Karl Deutsch diseña y fabrica sistemas de ultrasonidos y corrientes inducidas para la inspección manual o automatizada en Ensayos No Destructivos. Estos sistemas son utilizados en diversos campos de aplicación, entre los que se destacan el análisis de defectos en soldadura, extrusión, forja, fundición, así como en la verificación de fisuras por esfuerzos y corrosión.

El campo de actividad incluye plantas de generación eléctrica, refinerías, conducciones, industria del automóvil y aeroespacial, y todas las compañías que produzcan estructuras metálicas o compuestas.

Los equipos de esta empresa ofrecen las prestaciones y flexibilidad requeridas para la inspección de componentes en centrales térmicas, nucleares, ciclo combinado o hidroeléctrica.

La inspección ultrasónica automatizada en la industria pesada ofrece numerosas ventajas en el sector de la industria de la forja, fundición y soldadura. Los ultrasonidos pueden reemplazar el uso de Rayos X en un gran número de aplicaciones, eliminando los riesgos de exposición y la necesidad de consumibles. Asimismo, los equipos y sistemas ultrasónicos proporcionan resultados inmediatos en campo, con mayor capacidad para la medición de defectos o imperfecciones.

Seguimiento de contornos, elevados rendimientos de inspección y análisis de soldaduras complejas son algunos de los ejemplos que ilustran la diversidad de aplicaciones END en la industria aeroespacial.

Karl Deutsch proporciona soluciones para las más importantes empresas del sector, ayudándoles a abordar condicionantes de diseño y procesos de fabricación cada vez más restrictivos.

Versatilidad, adaptabilidad y portabilidad junto a elevadas prestaciones constituyen las características claves de la instrumentación requerida para este tipo de industria. Las aplicaciones petroquímicas requieren equipos portátiles que combinen un fácil manejo con una fiable capacidad de detección. Los equipos de ultrasonidos (UT) y corrientes inducidas (ET) interactúan con sondas motorizadas o manuales para satisfacer esos requerimientos.

La **figura 73** ofrece la fotografía de un equipo ultrasónico analógico (graficador ultrasónico); el EG-1055 que localiza defectos y los muestra en su pantalla extra larga. El equipo cuenta con las siguientes características importantes:

- Pantalla cuadrículada de 100 x 80 mm² con divisiones claras y nítidas.
- Enfoque ajustable externo.
- Encuadre de tipo magnético con un filtro de luminosidad.
- Rangos de corriente alterna para su funcionamiento que van de los 85 a 264 Volts o doce baterías tipo D que le proporcionan de 7 a 10 horas de uso continuo en función del tipo de batería.
- Tiene un peso de aproximadamente 6 kilogramos sin baterías y de 8.2 kilogramos con ellas.

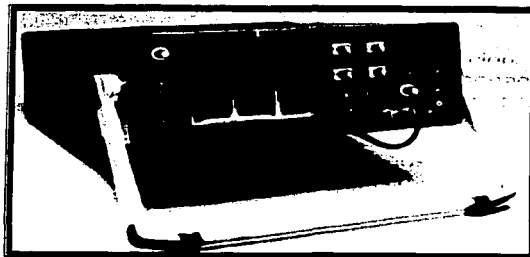


Figura 73. Equipo ultrasónico EG-1055. (Karl Deutsch).

Otro Equipo ultrasónico analógico de buena calidad es el mostrado en la **figura 74**. Se trata del EG-1016 que es utilizado en la detección de defectos en piezas forjadas largas. Destaca por su buena potencia de transmisión y su utilización sencilla.

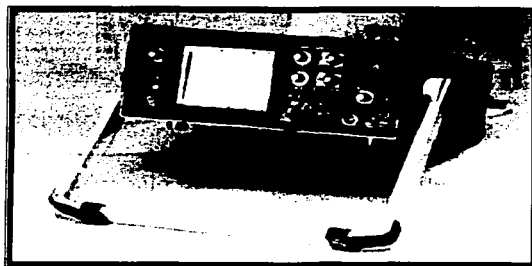


Figura 74. Equipo ultrasónico EG-1016. Datos técnicos: Pantalla cuadrículada de 68 x 55 mm², brillantes y geometría de ajuste interno, foco de ajuste externo y encuadre de tipo magnético con un filtro de luminosidad, peso de 4.3 kilogramos; 5.6 kilogramos con baterías y dimensiones de 236 x 105 x 287 mm². (Karl Deutsch).

A pesar de los buenos resultados que se obtienen con un equipo analógico, se prefieren a menudo los equipos digitales. Karl Deutsch proporciona los siguientes dos modelos (véase **figura 75**).

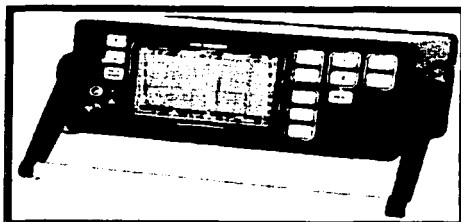
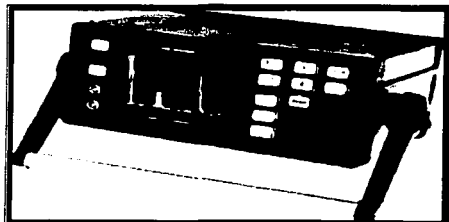


Figura 75. Equipo ultrasónico digital. EG-1085 (izquierda) y EG-1086 (derecha). (Karl Deutsch).

La combinación del tiempo de respuesta (5 nanosegundos) y una buena frecuencia de ancho de banda, garantizan una extraordinaria resolución y prácticamente ninguna distorsión de eco perceptible en pantalla. Además con la adición de un buen rango de frecuencia corta, sumado a un poder de transmisión versátil, los equipos son ideales para evidenciar defectos en piezas largas o muy dañadas.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES

MODELO EG-1085:

Tipo de pantalla: Electro luminiscencia.

Tamaño de pantalla: 102 x 78 mm².

Tamaño del cuadrículado: 96 x 76 mm².

Resolución: 320 x 256 pixeles.

Peso: 4.5 kilogramos (5.9 kilogramos con baterías).

Cuando las condiciones extremas de iluminación son ligeramente poco frecuentes y las señales son regulares: El ojo humano acepta mucho mejor la indicación de luminiscencia.

MODELO EG-1086:

Tipo de pantalla: cristal líquido.

Tamaño de pantalla: 119 x 80 mm².

Tamaño del cuadrículado: 115 x 77 mm².

Resolución: 480 x 320 pixeles.

Peso: 4.5 kilogramos (5 kilogramos con baterías).

Cuando la prueba se realiza con un ambiente poco iluminado, la pantalla de cristal líquido es bastante eficiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Además de los graficadores ultrasónicos mencionados, esta empresa cuenta con medidores ultrasónicos de espesores, cuyas características más relevantes se indican en cada pie de foto de las **figuras 76 y 77**.

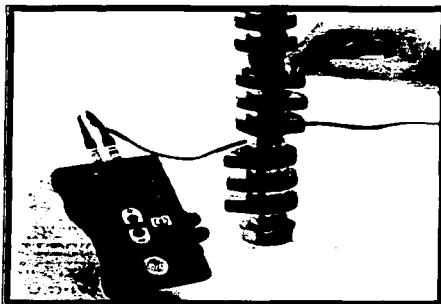


Figura 76. Medidor de espesores ultrasónico EM-1073. Este instrumento dispone de una pantalla luminosa que funciona durante toda la prueba. Las lecturas opcionalmente pueden ser indicadas en milímetros o pulgadas con un buen grado de precisión. El dispositivo cuenta con cuatro niveles de sensibilidad totalmente ajustables a los requerimientos del usuario lo que permite medidas en materiales usualmente inacústicos o de difícil toma de lectura. (Karl Deutsch).

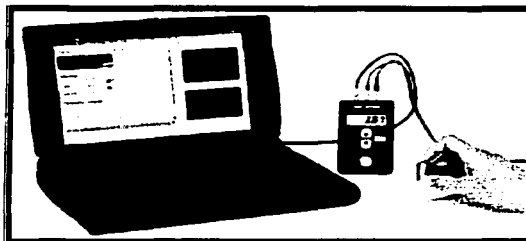


Figura 77. Medidor de espesores ultrasónico EM-1073 con conexión a computadora de base de datos. El alcance del EM-1073 es mucho mayor cuando se cuenta con la computadora de datos diseñada para el tratamiento de las lecturas de espesores. Cuenta con una amplia base de datos sobre tubos, calderas, álabes etc. Para comparar con los resultados obtenidos. (Karl Deutsch).

Los transductores ultrasónicos Karl Deutsch son el resultado de la práctica y la experiencia de décadas de conocimiento teórico y de manufactura. Están avalados por la norma DIN ISO 9001 y se cuenta con una gran variedad de ellos. **Figura 78 y 79.**

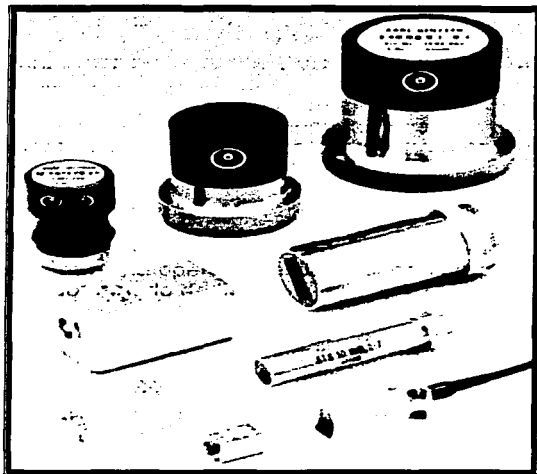


Figura 78. Transductores ultrasónicos. (Karl Deutch).

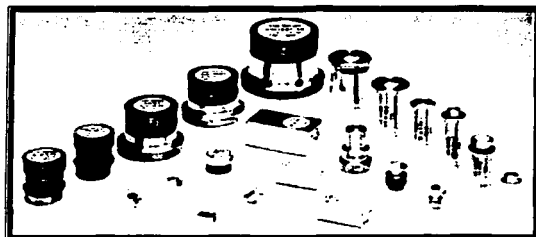


Figura 79. Transductores ultrasónicos. (Karl Deutch).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.4 PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El método de examen con partículas magnéticas (MT) puede ser aplicado para detectar grietas y otras discontinuidades cercanas o en la superficie de materiales ferromagnéticos. La sensibilidad es mayor para discontinuidades superficiales y disminuye rápidamente al incrementar la profundidad de las discontinuidades bajo la superficie.

Los tipos de discontinuidades que pueden ser detectados por este método son: grietas, trasiapes, costuras, juntas frías y laminaciones.

Este método es ampliamente utilizado en el ámbito industrial y algunas de sus principales aplicaciones las encontramos en:

- El control de calidad o inspección de componentes maquinados.
- La detección de discontinuidades en la producción de soldaduras.
- En los programas de inspección y mantenimiento de componentes críticos en plantas químicas y petroquímicas (Recipientes a presión, tuberías, tanques de almacenamiento, etc.).
- La detección de discontinuidades de componentes sujetos a cargas cíclicas (Discontinuidades por Fatiga).

En general, como ya se hecho mención en el capítulo anterior, existen dos principales medios o mecanismos mediante los cuales se puede aplicar las partículas magnéticas, estos son: vía húmeda y vía seca. Cuando las partículas se aplican en vía húmeda, éstas normalmente se encuentran suspendidas en un medio líquido tal como el aceite o el agua. En la aplicación de las partículas magnéticas vía seca, éstas se encuentran suspendidas en aire.

Así mismo, existen dos principales tipos de partículas magnéticas: aquellas que son visibles con luz blanca natural o artificial y aquellas cuya observación debe ser bajo luz negra o ultravioleta, conocidas comúnmente como partículas magnéticas fluorescentes.

Cada medio de aplicación (húmedo o seco) y cada tipo de partículas magnéticas (visibles o fluorescentes) tiene sus ventajas y desventajas. El medio y el tipo de partícula a utilizar lo determinan distintos factores entre ellos podemos enunciar: el tamaño de las piezas a inspeccionar, el área a inspeccionar, el medio ambiente bajo el cual se realizará la prueba, el tipo de discontinuidades a detectar y el costo. El personal que realiza este tipo de pruebas, generalmente realiza un análisis de los factores anteriores para determinar cual es el medio y tipo óptimo de partícula magnética a utilizar para cierta aplicación específica. Otro factor importante a considerar, es la forma o mecanismo mediante el cual se magnetizarán las piezas o el área a inspeccionar, lo cual puede conseguirse de distintas formas, ya sea mediante el uso de un yugo electromagnético, puntas de contacto, imanes-permanentes, etc.

Karl Deutsch, también a logrado mantener una amplia gama de equipos para la inspección con partículas magnéticas dentro de las expectativas de las grandes empresas. De sus equipos destacan los siguientes:

CENTRO DE TRABAJO PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS POR MEDIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS DEUTROFLUX UWE 350

El nuevo centro de trabajo universal para la detección de defectos mediante partículas magnéticas UWE 350 (véase **figura 80**) fue diseñado especialmente para componentes fundidos o forjados cuya longitud máxima sea de 350 mm. La máxima corriente de prueba es de 2000 amperes. El equipo está diseñado para lograr una inspección inmediata de parte del personal calificado. Su tamaño es ideal para lograr el reemplazo de equipos Karl Deutsch anteriores. Los yugos son movidos por un eje central provisto de una protección contra las partículas magnéticas.

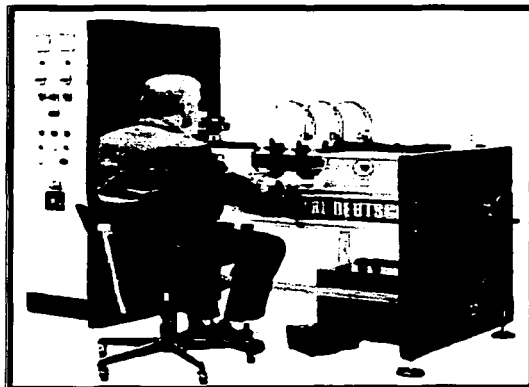


Figura 80. Centro de trabajo para la detección de defectos por medio de partículas magnéticas DEUTROFLUX UWE 350. (Karl Deutsch).

En la **figura 81** se puede apreciar una vista general del sistema de inspección que incluye un gabinete eléctrico, un interruptor de pie para el inicio de la inspección y un contenedor para las partículas para la prueba. La manivela (derecha) se encarga de darle movimiento a los yugos. Derecha de la foto: lugar de trabajo con posición cómoda para el personal.

Se tiene también una vista en detalle de los contactos del equipo (**figura 82**). Dos circuitos magnéticos independientes permiten la detección de defectos alineados o en cualquier dirección.

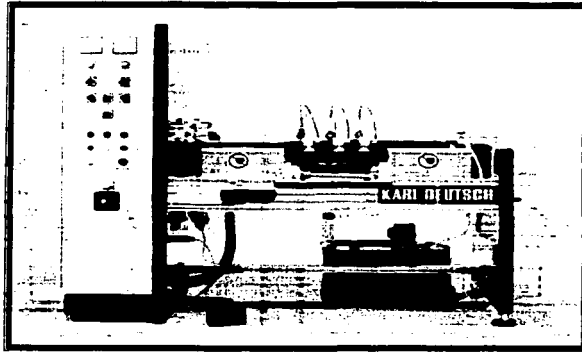


Figura 81. Vista principal del DEUTROFLUX UWE 350. (Karl Deutsch).

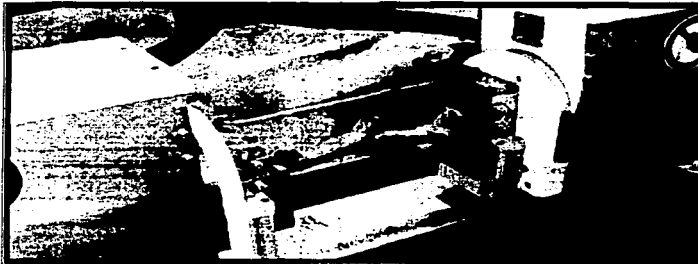


Figura 82. Detalle de los circuitos magnéticos del DEUTROFLUX UWE 350. (Karl Deutsch).

DATOS IMPORTANTES

Datos del espécimen:

Longitud máxima: 350 mm.
Diámetro máximo: 300 mm.
Peso máximo: 25 kilogramos.

Datos de la máquina:

Fuente de alimentación: 400 Volts. Corriente trifásica.
Corriente máxima por fase: 43 Amperes.
Consumo máximo de energía: 17.2 kVA
Factor de operacionalidad: 40%
Sistema de control: Circuito Lógico Programable (PLC) SIEMENS.
Presión de aire: de 4 a 6 bar.
Consumo de aire por ciclo: 0.5 NI
Abrazadera: 8 mm.
Dimensiones: largo de 1.92 metros, altura de 1.75 metros y profundidad de 0.83 m.
Peso total aproximado: 550 kilogramos.
El panel de control y la base de la máquina constituyen una sola pieza.
Contenedor de agentes de prueba de 40 litros con bomba incluida.

Flujo de corriente:

Corriente máxima de prueba: 2000 A.
Voltaje de circuito abierto: 3.5 V.
Amperímetro analógico.

Flujo del campo:

Yugo abierto de 10 000 Amper-vuelta.
Instrumentación: analógica.
Máxima densidad de flujo: mayor a 1 Tesla.

Desmagnetización:

Desmagnetización: por ambas direcciones, con interruptores de disparo manual o automático.
Frecuencia de desmagnetización: 50 Hz.
Tiempo de desmagnetización: 1 segundo.
El ciclo de interrupción puede ser manual o automático.

CENTRO DE TRABAJO PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS POR MEDIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS DEUTROFLUX UWE 600/900

El centro de trabajo DEUTROFLUX UWE 600/900 (véase **figura 83**) puede ser utilizado sin ningún problema en piezas que alcancen los 900 mm de longitud. Funciona con corriente alterna que crea un campo magnético uniforme y que es fácil de desmagnetizar sin inconveniente alguno, incluso en caso de piezas complicadas. Dos fases variables de corriente alterna generan un campo magnético rotatorio; por lo que los defectos en cualquier dirección se evidencian en este sencillo proceso.

Errores de operación son prácticamente nulificado con el ciclo secuencial automatizado (sujeción de la pieza, rociado de las partículas, magnetización y desmagnetización). Módulos electrónicos y neumáticos creados a partir de años de experiencia garantizan la máxima operacionalidad del equipo así como un buen servicio, incluso después de un largo periodo de tiempo.

El gabinete de control, es accesible para su operación y servicio. Cada rociador de partículas tiene interruptores individuales lo que facilitad su encendido y apagado. El tiempo de rociado es breve evitando posibles goteos. Guías mecánicas fuera del área de rociado no permiten el contacto de las partículas con otras partes de la máquina. Acero inoxidable en el área de rociado evita que las partículas emigren fuera del equipo.

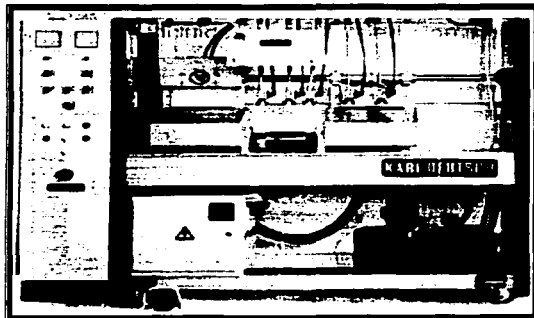


Figura 83. Centro de trabajo para la detección de defectos por medio de partículas magnéticas DEUTROFLUX UWE 600/900. (Karl Deutsch).

El equipo DEUTROFLUX UWE 600/900 tiene una doble versatilidad, ya que al ser una unidad bastante compacta permite un cambio a nuevas modalidades de uso. Los contenedores de las partículas magnéticas poseen un botón especial que permite mediante el uso de una bomba la libre circulación de éstas, evitando de esta forma resaca en las esquinas de dichos contenedores. **Figura 84.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

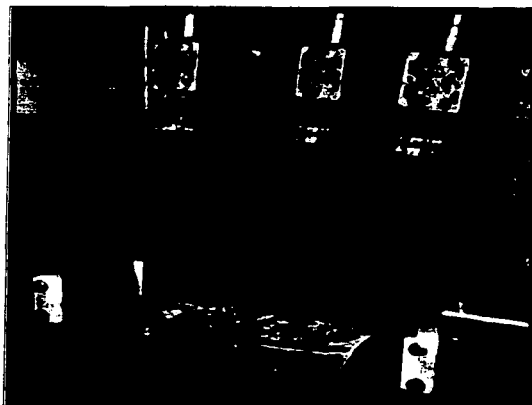


Figura 84. Rociadores de partículas magnéticas del DEUTROFLUX UWE 600/900. (Karl Deutsch).

Las bobinas son totalmente giratorias y verticalmente ajustables para una buena vida de trabajo. La cabina cuenta con una excelente iluminación para condiciones de escasa luminosidad.

Para el DEUTROFLUX UWE 900 se tiene un sistema automático de magnetización que consiste en 2 pasos: Durante el proceso de magnetización, primero todos los rociadores son encendidos manteniéndose un nivel bajo de magnetización. Después de aproximadamente 4 segundos, el sistema de control automático apaga los rociadores que se encuentran en las orillas y el nivel de magnetización se torna máximo durante aproximadamente 2 segundos. Entonces los rociadores centrales son ahora apagados, y 1 segundo después la magnetización es detenida también. Véase **figura 85**.



Figura 85. Paso 1 y paso 2 respectivamente. (Karl Deutsch).

DATOS IMPORTANTES

UWE 600

Datos del espécimen:

Longitud máxima: 600 mm.
Diámetro máximo: 400 mm.
Peso máximo: 100 kilogramos.

Datos de la máquina:

Fuente de alimentación: 400 V.
Corriente máxima de consumo: 50 A.
Consumo máximo de energía: 20 kVA
Voltaje de control: 24 V.CD.
Factor de operacionalidad: 40%
Sistema de control: PLC SIMATIC.
Presión de aire: de 4 a 6 bar.
Consumo de aire por ciclo: 0.5 NI
Abrazadera: 8 mm.
Dimensiones: ver **figuras 86 y 87**
Peso total aproximado: 680 kilogramos.

Flujo de corriente:

Corriente máxima de prueba: 2000 A.
Voltaje de circuito abierto: 5 V.
Facilidad para la inspección: continua.

Flujo del campo:

Yugo abierto de 10 000 Amper-vuelta.
Instrumentación: analógica.
Máxima densidad de flujo: mayor a 1 Tesla.

Desmagnetización:

Desmagnetización: por ambas direcciones.
Frecuencia de desmagnetización: 50 Hz.
Tiempo de desmagnetización: 1 segundo.

Otros:

Tiempo de magnetización: 6 segundos.
Formas de rociado: manual o automático.
Contenedor de partículas magnéticas: 40 litros.

UWE 900

Datos del espécimen:

900 mm.
400 mm.
100 kilogramos.

Datos de la máquina:

400 V.
70 A.
28 kVA.
24 V.CD.
40%
PLC SIMATIC.
De 4 a 6 bar.
0.5 NI
8 mm.
ver **figuras 86 y 87**.
780 kilogramos.

Flujo de corriente:

2000 A.
5 V.
continua.

Flujo del campo:

14 000 Amper-vuelta.
analógica.
mayor a 1 Tesla.

Desmagnetización:

por ambas direcciones.
50 Hz.
1 segundo.

Otros:

6 segundos.
manual o automático.
40 litros.

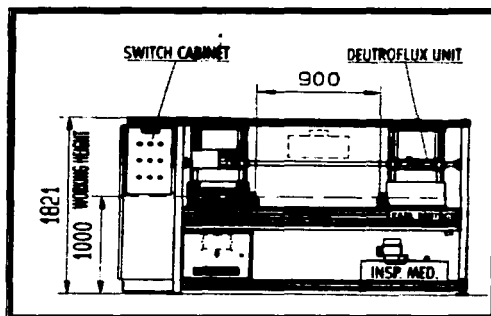
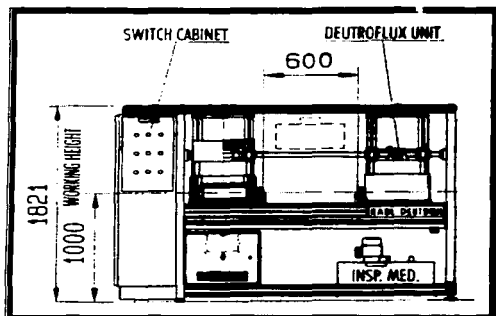


Figura 86. Vista frontal del UWE 600 (izquierda) y del UWE 900 (derecha) dimensiones en mm. (Karl Deutsch).

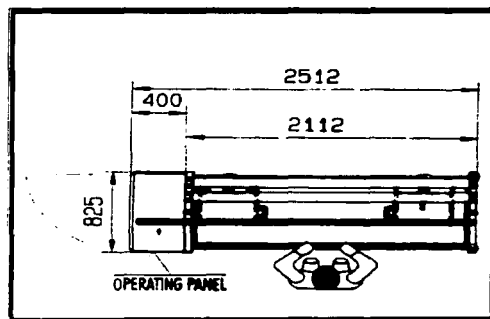
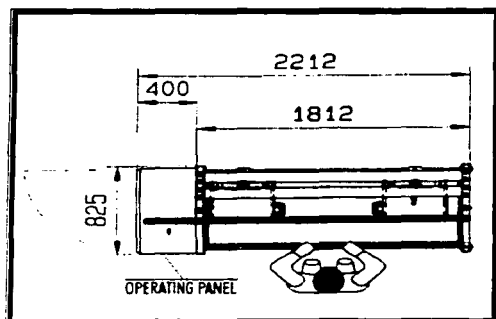


Figura 87. Vista superior del UWE 600 (izquierda) y del UWE 900 (derecha) dimensiones en mm. (Karl Deutsch).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DETECTOR DE DEFECTOS POR MEDIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS DEUTROFLUX UWS

La **figura 88** presenta un ejemplo de un detector de defectos de la serie UWS. La serie UWS es especialmente ideal para piezas de longitud considerable. Como en el caso de álabes de turbinas que pueden alcanzar longitudes de hasta 3 metros.

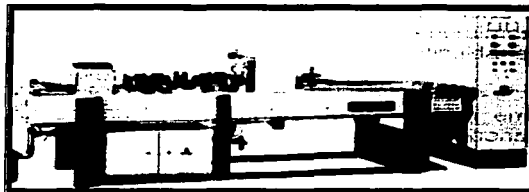


Figura 88. Detector de defectos por medio de partículas magnéticas DEUTROFLUX UWS. (Karl Deutsch).

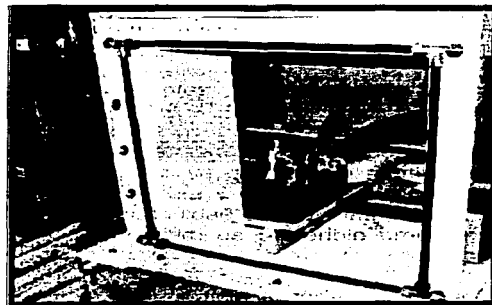


Figura 89 a la izquierda y figura 90 a la derecha. (Karl Deutsch).

Se puede apreciar en la **figura 89** una vista general del techo de la cabina de inspección de este equipo. El techo está diseñado para piezas que se carguen mediante una grúa. Por otro lado, el DEUTROFLUX UWS posee contactos especiales para obtener la corriente de magnetización, además de una bobina articulada para el campo magnético longitudinal. **Figura 90.**

DETECTOR DE DEFECTOS POR MEDIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS DEUTROFLUX EW

Equipo económico que genera un campo magnético de corriente alterna para la inspección de piezas pequeñas.

Los equipos DEUTROFLUX de la serie EW son frecuentemente utilizados en la inspección de piezas o componentes pequeños. La mesa de trabajo del instrumento que puede ser de 300 o 600 mm representa la alternativa más económica para la aplicación de esta técnica.

La mesa de trabajo del DEUTROFLUX EW (véase **figura 91**) viene equipada con los siguientes accesorios y cualidades:

- Longitudes de 300 y 600 mm.
- Sólido y de poco peso construido con tubo de acero inoxidable.
- Dos circuitos magnéticos independientes para una magnetización combinada (para la determinación de defectos en cualquier dirección con un solo ciclo de prueba).
- Cuatros pasos para la corriente y flujo magnético.
- Panel de control con funciones de operación.
- Contenedor de partículas magnéticas de 40 litros y bomba de circulación con válvulas dosificadoras.
- Manual de usuario con modernos consejos de uso (incluye manual de los rociadores).
- Partículas magnéticas incluidas para su operación inmediata.
- Interruptor de pie.



Figura 91. Detector de defectos por medio de partículas magnéticas DEUTROFLUX EW. (Karl Deutsch).

3.1.5 CORRIENTES DE EDDY

La inspección con corrientes de Eddy consiste en la observación de la interacción entre campos electromagnéticos y metales. En un sistema básico, se induce flujo de corriente en la pieza a inspeccionar por una bobina de alambre que conduce corriente alterna. Conforme la pieza entra en la bobina, o según la bobina en forma de probador o yugo es colocada en la pieza a inspeccionar, la energía electromagnética producida por ésta es parcialmente absorbida y convertida dentro en calor por efectos de resistividad e histéresis. Parte de la energía remanente es nuevamente reflejada por la bobina del probador; esta es una característica eléctrica que viene a ser cambiada en una manera determinada por las propiedades de la pieza que se inspecciona.

Consecuentemente, el flujo de corriente atraviesa la bobina del probador siendo la fuente de información que describe las características de la pieza inspeccionada. Esta corriente puede ser analizada y comparada con flujo de corriente a través de un espécimen de referencia.

El método de inspección por corrientes de Eddy es efectivo con metales ferromagnéticos y no ferromagnéticos.

En la **figura 92** vemos un equipo convencional para las corrientes de Eddy.

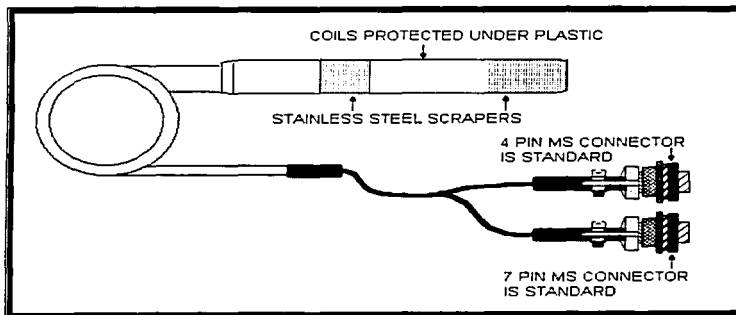


Figura 92. Equipo convencional para corrientes de Eddy CS-10. (AEISA).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.6 RADIOGRAFÍA

Debido a la capacidad de penetración y absorción de los rayos X y GAMMA, la radiografía se usa para examinar soldaduras, fundiciones, forja y materiales. El examen radiográfico es uno de los principales métodos de pruebas no destructivas usado en la actualidad y se aplica en la mayoría de los materiales proporcionando una imagen visual permanente, revela la naturaleza interna de los materiales y revela errores de fabricación.

Las **figuras 93, 94 y 95** muestran los equipos con los que cuenta la empresa PIVICO para el ensayo radiográfico.

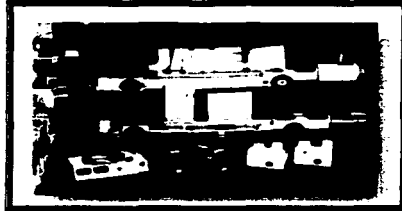


Figura 93. Inspección con rayos X tipo Crawler. Equipos de rayos X radial con capacidad de 300kv. 5 ma con dirección de haz de 360° por 27° para la inspección de soldaduras en tuberías marinas y terrestres desde 10 pulgadas hasta 72 pulgadas diámetro. (PIVICO).



Figura 94. Bulbo de Rayos X Radial y Focal. Inspección con Bulbo de Rayos X Focal y Radial con capacidad de 225 kv. Y 3 ma. Para la inspección de soldaduras en tuberías marinas y terrestres de hasta 48 pulgadas de diámetro. (PIVICO).

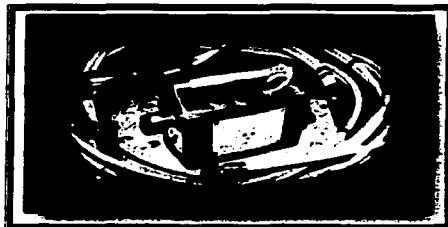


Figura 95. Inspección con Rayos Gamma. Inspección con equipo portátil de rayos Gamma, Iridio 192 con capacidad de 100 curies para la inspección de soldaduras en tuberías submarinas y terrestres, tanques de almacenamiento, recipientes a presión, calderas, cascos de barcos, estructuras tubulares, para puentes, edificios, acero de refuerzo, piezas de fundición como válvulas, bridas, codos y piezas especiales, engranes volantes, rodillo y partes de maquinas y motores en general. En espesores de hasta 3 pulgadas. (PIVICO).

En las siguientes dos figuras se puede apreciar los resultados de algunos ensayos realizados con radiografía:



Figura 96. Resultado del ensayo radiográfico. (IMENDE).

Figura 97. Resultado del ensayo radiográfico. (CYTI).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.7 LÍQUIDOS PENETRANTES

La inspección por Líquidos Penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen muchas variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012 pulgadas aproximadamente), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por post-emulsificación y un revelador seco.

Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100 pulgadas aproximadamente), conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

Antes de iniciar las pruebas de Líquidos Penetrantes, es conveniente tener en cuenta la siguiente información:

1. Es muy importante definir las características de las discontinuidades y el nivel de sensibilidad con que se las quiere detectar, ya que si son relativamente grandes o se quiere una sensibilidad entre baja y normal, se recomienda emplear penetrantes visibles; pero si la discontinuidad es muy fina y delgada o se requiere de una alta o muy alta sensibilidad, es preferible emplear los penetrantes fluorescentes.
2. Otro factor de selección es la condición de la superficie a inspeccionar; ya que si es una superficie rugosa o burda, como sería el caso de una unión soldada o una pieza fundida, se debe emplear un penetrante líquido removible con agua. Pero si la superficie es tersa y pulida, es preferible emplear un penetrante removible con solvente. Finalmente cuando se requiere una inspección de alta calidad o con problemas de sensibilidad, se puede emplear un penetrante post-emulsificable.
3. Si el material a examinar es acero inoxidable, titanio o aluminio (para componentes aeronáuticos, por ejemplo) o aleaciones de níquel (monel), entonces los penetrantes deberán tener un control muy rígido de contaminantes, como son los compuestos halogenados (derivados del fluor, cloro, bromo, yodo) o de azufre (sulfatos o sulfuros), ya que si quedan residuos de ellos, pueden ocasionar fracturas o fragilidad del material. Todos los

proveedores de productos de alta calidad proporcionan un certificado de pureza de sus productos sin cargo adicional.

4. Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Fran & Whitney o GE), los líquidos deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellos. En caso necesario, se solicitará al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías cubren sus productos.
5. Una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deberán mezclar sus productos; como por ejemplo, emplear el revelador del proveedor A con un penetrante del proveedor B o un penetrante de una sensibilidad con un revelador de otra sensibilidad, aunque ambos sean fabricados por el mismo proveedor.

APLICACIONES

Las aplicaciones de los Líquidos Penetrantes son amplias y por su gran versatilidad se utilizan desde la inspección de piezas críticas, como son los componentes aeronáuticos, hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

Muchas de las aplicaciones descritas son sobre metales, pero esto no es una limitante, ya que se pueden inspeccionar otros materiales, por ejemplo cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos, etc.

VENTAJAS GENERALES DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES

- La inspección por Líquidos Penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.
- La configuración de las piezas a inspeccionar no representa un problema para la inspección.
- Son relativamente fáciles de emplear.
- Brindan muy buena sensibilidad.
- Son económicos.
- Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.
- Se requiere de pocas horas de capacitación de los Inspectores.

LIMITACIONES GENERALES DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES

- Sólo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.
- Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.
- No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.
- Los Inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.
- Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.
- Es difícil quitarlo de roscas, ranuras, huecos escondidos y superficies ásperas.

En la **figura 98** se presenta algunos tipos de líquidos penetrantes más comúnmente usados en la industria.



Figura 98. Líquidos Penetrantes. (PIVICO).

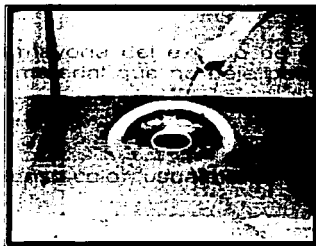


Figura 99. Aplicación del líquido penetrante (izquierda) y del revelador en suspensión acuosa (Derecha). (AEISA, IMENDE).

3.2 CAVITACIÓN EN LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

El fenómeno de la cavitación es una de las principales causas por las que es necesario efectuar los métodos de Ensayos No Destructivos. En general afecta a los álabes de las turbinas hidráulicas, que como se ve, tienen un trabajo muy castigado al recibir el golpe de agua.

Si las máquinas que trabajan con aire, gas o vapor, están sujetas a fenómenos elásticos a causa de ser estos fluidos compresibles, las turbinas hidráulicas, no sufren este problema, pues el agua es un líquido prácticamente incompresible dentro de las condiciones de trabajo en las mismas. Sin embargo, tienen también limitada su velocidad debido al fenómeno de cavitación. El nombre viene significando la formación de cavidades en el seno del líquido, definidas por burbujas de vapor dentro del masa líquida y producidas por una vaporización local a causa de ciertas condiciones dinámicas, como pueden ser una alta velocidad relativa y consecuentemente una reducción de la presión local hasta el valor de la tensión de vapor a la temperatura actual del líquido.

Estas condiciones suelen presentarse en la parte convexa de los álabes que confinan la zona de succión de una bomba o de descarga de una turbina, así como en la región periférica del Rodete móvil donde las velocidades tangenciales son altas. En general, en todo punto en que se produzca una aceleración local suficiente para reducir la presión al valor del de vaporización.

El fenómeno de la cavitación ha sido objeto de muchos estudios y la explicación es aún motivo de controversia. Una teoría expuesta por Harvey y desarrollada más tarde por Knapp sostiene que en el seno del líquido se encuentran un número de núcleos gaseosos pequeños e insolubles localizados en cavidades de pequeñas partículas sólidas no mojadas tales como polvo. Estos núcleos constituyen discontinuidades y le impiden soportar tensión, comenzando la cavitación. Un líquido perfectamente homogéneo mantiene una tensión alta y soporta un estado metastable aunque descienda la presión al valor de la vaporización, de acuerdo con la temperatura actual del líquido. Los núcleos más grandes acentuarán la discontinuidad y acelerarán la cavitación. La presencia de una capa de contorno parece facilitar este crecimiento. Esta teoría, aunque tentativa, explica varios tipos de cavitación que ocurren en condiciones semejantes.

Una burbuja de vapor que es formada por una reducción local de la presión eventualmente se destruye cuando es arrastrada a una zona de más alta presión que se transmite y este colapso instantáneo de la burbuja produce una onda de presión que se transmite a través del líquido, alcanzando la superficie del álabe. Asociada con la alta presión de impacto se tiene una temperatura local elevada, la combinación de las cuales puede ser suficiente para deteriorar el material. La acción química se ha querido señalar como causa del ataque metálico, pero aunque puede ser un factor que contribuye a la erosión del álabe, se ha observado que los efectos de cavitación se presentan aun en materiales neutros como plomo y vidrio.

La cavitación es esencialmente un proceso inestable, ya que la onda de presión debida al colapso de la burbuja eleva momentáneamente el nivel de presión local, con lo que la cavitación cesa. El ciclo se repite y la frecuencia puede ser muy alta (hasta por encima de los 25 000 ciclos por segundo). Se entiende que bajo tales condiciones de fluctuación, el líquido es sacudido y empujado hacia los poros del metal, produciendo

compresiones locales que sobrepasan la resistencia del material y dañan las áreas afectadas.

La cavitación disminuye el rendimiento hidráulico, pero el efecto más grave es la erosión de los álabes (véase **figura 100**), que se acentúa más y más una vez iniciada, obligando a revisiones periódicas de la máquina y a la reparación de la parte afectada.

El resane de los álabes suele hacerse con soldadura, siendo esta operación muy delicada, pues se han de evitar en lo posible tensiones internas en el material que den lugar a concentraciones de esfuerzos nocivos, así como desequilibrios mecánicos por desajuste de masas que produzcan vibraciones.

La falta de masa local, producida por la cavitación, puede dar lugar también a vibraciones del rotor. En algunas instalaciones se han empleado con éxito resinas epoxy para rellenar las partes erosionadas por la cavitación.

Por supuesto, lo mejor que se debe hacer es implementar un plan de chequeo regular para evitar el avance de los defectos debido a la cavitación, y es allí donde los END jugarán un papel muy importante.



Figura 100. Deterioro causado por la cavitación en un álabe de turbina. (Everest VII).

3.3 EVALUACIÓN DE DISCONTINUIDADES USANDO EL MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES, PARA LA VERIFICACIÓN DEL CARACOL DE UNA TURBINA FRANCIS

1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Definiciones.
3. Marcado del caracol.
4. Método de aplicación de líquidos penetrantes.
5. Análisis de los resultados obtenidos.

Objetivo y campo de aplicación

Con el fin de prevenir daños irreparables e irreversibles, se intenta establecer los métodos para la detección y evaluación de discontinuidades abiertas o conectadas con la superficie por medio de líquidos penetrantes, en las soldaduras de unión y placas de sección de un caracol de turbina Francis (se puede apreciar dicho caracol en la **figura 101**).

Definiciones.

2.1 Absorción.

Propiedad del revelador para extraer el penetrante de la discontinuidad para incrementar el contraste y la sensibilidad.

2.2 Acción humectante.

Capacidad de un líquido para esparcirse y adherirse a superficies sólidas.

2.3 Aflorar.

Extracción de un líquido penetrante atrapado en la superficie de las discontinuidades para formar indicaciones.

2.4 Contaminante.

Cualquier sustancia extraña presente en la superficie de prueba o en los materiales de inspección, la cual afectará la acción de los materiales del líquido penetrante.

2.5 Contraste.

Diferencia de visibilidad (brillantez o coloración) entre una indicación y el fondo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.6 Charco.

Acumulación de una cantidad excesiva de emulsificador o revelador en un área drenada incompletamente.

2.7 Defecto.

Discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones, por su forma, tamaño y localización no cumplen el nivel de calidad aceptable conforme al criterio de aceptación especificado.

2.8 Discontinuidad.

Falta de continuidad o interrupción en la estructura física o configuración normal de una pieza.

2.9 Emulsificador lipofílico.

Emulsificante soluble en aceites o derivados del petróleo.

2.10 Evaluación.

Revisión, seguida de una interpretación, de las indicaciones notadas para determinar si éstas cumplen o no con el criterio de aceptación especificado.

2.11 Grupo de líquidos penetrantes.

Grupo completo de materiales requeridos para efectuar una inspección con líquidos penetrantes, conforme al método y tipo previamente seleccionado.

2.12 Fondo.

Superficie de prueba o la capa de revelador sobre la superficie de prueba que sirve para facilitar la observación de las indicaciones.

2.13 Indicación.

Evidencia de una discontinuidad que requiere de una interpretación para determinar su relevancia.

2.14 Indicación falsa.

Indicación obtenida a través de la aplicación de una técnica o proceso mal aplicado.

2.15 Indicación relevante.

Indicación de una discontinuidad que requiere evaluación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.16 Inspección.

Evaluación visual de una pieza de prueba después de efectuar los pasos del proceso de inspección.

2.17 Interpretación.

Determinación de cuándo las indicaciones son o no relevantes.

2.18 Límites de temperatura.

Intervalo de temperatura en el cual se efectúa una prueba en particular de inspección con líquidos penetrantes.

2.19 Limpieza y prelimpieza.

Proceso de eliminación de todos los contaminantes sólidos y líquidos que puedan interferir con la inspección.

2.20 Luz visible.

Radiación electromagnética en el intervalo de longitud de onda de 400 a 700 nm (4000 a 7000 Å).

2.21 Penetrante.

Solución colorante, ya sea visible o fluorescente, capaz de penetrar a las discontinuidades abiertas a la superficie.

2.22 Penetrante removible con solvente.

Líquido penetrante así formulado para que la mayoría del exceso de penetrante en la superficie pueda removerse frotándolo con un material que no deje pelusa, ligeramente humedecido con un removedor solvente.

2.23 Penetrante visible.

Líquido penetrante que se caracteriza por un intenso color, usualmente rojo.

2.24 Postlimpieza.

Remoción de residuos de materiales después de que se ha efectuado la inspección.

2.25 Prelimpieza.

Remoción de contaminantes de la superficie de la pieza de prueba de tal manera que no interfieran con el proceso de inspección.

2.26 Removedor solvente.

Líquido volátil, el cual se usa para remover el exceso de penetrante de la superficie bajo inspección.

2.27 Revelador.

Material que se aplica a la superficie de prueba para acelerar el afloramiento y realzar el contraste de las indicaciones.

2.28 Revelador en suspensión no acuosa.

Una suspensión de partículas de revelador en un solvente volátil.

2.29 Tiempo de permanencia.

Tiempo total en el que el penetrante o emulsificador está en contacto con la superficie de prueba, incluyendo el tiempo requerido para aplicación y drenado.

2.30 Tiempo de revelado.

Lapso de tiempo entre la aplicación del revelador y la inspección de la pieza.

2.31 Tiempo de secado.

Tiempo requerido para secar la pieza de prueba enjuagada o revelada en húmedo.

2.32 Vehículo.

Líquido, acuoso o no acuoso, en el cual los materiales del líquido penetrante están suspendidos o disueltos.

2.33 Viscosidad.

Propiedad de un fluido que presenta una resistencia a un flujo de corte.

Marcado del caracol

Se utilizará un marcado del caracol para facilitar su clasificación y manejo. El marcado contendrá lo siguiente:

- a. Datos, información técnica y observaciones generales de la pieza.
- b. Mes/ año de la verificación.
- c. Número del informe técnico.

El marcado se debe efectuar con letras y números de golpe, y los caracteres deben tener un tamaño mínimo de 6.35 mm (0.250 pulgadas) medida nominal.

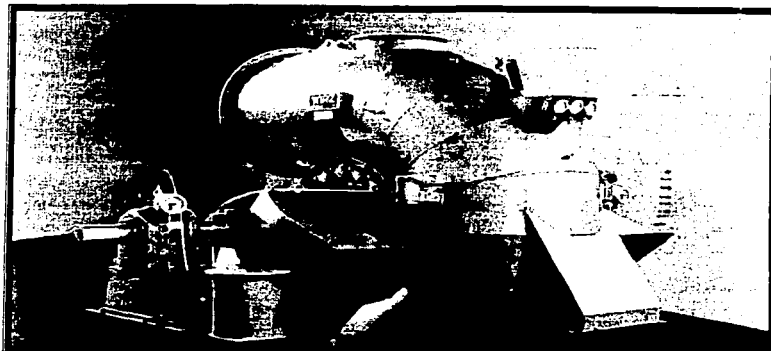


Figura 101. Carcasa, caja espiral o caracol. (Turbinas WIRZ).

Método de aplicación de líquidos penetrantes

4.1 Grupo de líquidos penetrantes.

Se deben emplear líquidos penetrantes visibles y removibles con solventes. Deben ser visibles ya que se estima que no es necesario tener una sensibilidad más allá de lo normal; removibles con solventes debido a que el caracol opera bajo una disposición que le permite estar en contacto con el medio exterior (véase el inciso b de la figura 18) y, por lo tanto, en contacto con lo descrito en el inciso a) del punto 4.1.1 además de apreciarse una superficie tersa y pulida en este caracol en particular.

4.1.1

Características de los líquidos penetrantes empleados.

a. Limpiador- removedor.

El líquido limpiador/removedor debe ser del tipo solvente que sea capaz de disolver efectivamente manchas tales como grasa, aceite, cera, selladores y materia orgánica en general.

b. Penetrante visible removible con solvente.

El líquido penetrante visible debe tener la característica de poder ser observado a simple vista. El penetrante usualmente es de color rojo para que las indicaciones produzcan un contraste con el fondo blanco del revelador.

Las indicaciones con líquidos penetrantes visibles deben ser observadas bajo una luz blanca. El exceso de penetrante debe ser removido con un solvente.

c. Revelador suspendido en solución no acuosa.

El líquido revelador es suministrado como suspensión de partículas de revelador en un solvente no acuoso.

Este revelador es aplicado a la pieza por atomización, después de que el exceso de penetrante haya sido removido. El revelador húmedo en solución no acuosa forma un recubrimiento blanco en la superficie de la pieza cuando esta seco, el cual sirve como un fondo contrastante para el penetrante visible.

4.1.2

El grupo de líquidos penetrantes utilizados en la evaluación de discontinuidades, deben ser del mismo fabricante y contar con el certificado de garantía correspondiente.

4.2 Aplicación de líquidos penetrantes.

4.2.1

La temperatura de los líquidos penetrantes y de las soldaduras o placas de sección, deben estar entre 16°C y 52°C. La aplicación de líquidos penetrantes se debe efectuar a la intemperie para evitar la formación de mezclas explosivas.

4.2.2

Todas las partes o superficies de las placas o soldaduras que se van a evaluar deben estar limpias y secas antes de que se aplique el penetrante. La limpieza debe ser a través de un medio mecánico y con solventes. Esta limpieza tiene por objeto que la superficie esté libre de polvo, óxido, fundente de soldadura, salpicaduras, grasa, pintura, películas de aceite, cascarilla y otros contaminantes que puedan interferir con la penetración.

4.2.3

Si solamente una sección de una pieza, tal como una soldadura es la que se va a evaluar, el área adyacente a esta superficie debe estar limpia como mínimo en una distancia de 25 mm.

4.2.4

Una vez terminada la limpieza de la superficie o parte a evaluar, se debe aplicar el líquido penetrante de tal manera que toda la superficie bajo inspección quede completamente cubierta con penetrante. La aplicación del penetrante puede ser por medio de brocha o atomización por aerosol.

4.2.5

El tiempo de permanencia del penetrante para tener una adecuada penetración debe ser el recomendado por el fabricante de éste, o como mínimo 5 minutos.

4.2.6

Después de haber cumplido con el tiempo requerido de penetración, remover el exceso de penetrante usando trapos secos y limpios. La operación de remoción debe repetirse hasta quitar la mayor cantidad de trazas de penetrante.

4.2.7

El revelado de las indicaciones consiste en extraer los residuos del penetrante de las discontinuidades.

4.2.7.1

Aplicar el revelador húmedo no acuoso por aspersión como lo recomienda el fabricante. La superficie o parte sujeta a inspección debe rociarse de tal manera, que quede completamente cubierta con una película delgada y uniforme de revelador. Este tipo de revelador se evapora rápidamente a la temperatura ambiente y no requiere de un secado posterior.

4.2.8

El tiempo que el revelador debe permanecer en la superficie o parte sujeta a inspección debe ser como mínimo de 7 minutos. El tiempo de revelado inicia tan pronto como el recubrimiento del revelador se seca. Si la absorción del penetrante no altera los resultados de la inspección, se permiten periodos de revelado mayores de 30 minutos.

4.2.9

Efectuar la evaluación de la superficie o parte sujeta a inspección, después de que el tiempo de revelado haya terminado como se establece en el numeral 4.2.8 para asegurar una total absorción del penetrante de las discontinuidades sobre el recubrimiento del revelador. Se debe tener una iluminación suficiente para asegurar no tener pérdidas de sensibilidad en la inspección.

4.2.10

La limpieza posterior a la aplicación de los líquidos penetrantes es necesaria en aquellos casos donde el penetrante o el revelador residual pueda interferir con el proceso subsecuente o con los requisitos del servicio.

Análisis de los resultados obtenidos

5.1 Serán inaceptables las siguientes discontinuidades:

5.1.1

Indicaciones lineales importantes tales como grietas, fisuras, falta de fusión y falta de penetración, cualquiera que sea su longitud.

5.1.2

indicaciones redondeadas con ancho mayor de 4.76 mm. Cuatro o más indicaciones redondeadas en una línea separadas por 1.58 mm o menos.

3.4 EVALUACIÓN DE ESPESOR MEDIANTE MEDICIÓN ULTRASÓNICA USANDO EL MÉTODO DE PULSO-ECO, PARA LA VERIFICACIÓN DEL INTRADÓS DE UN ÁLABE DE TURBINA PELTON.

1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Definiciones.
3. Marcado del álabe.
4. Medición ultrasónica de espesores.
5. Análisis de los resultados obtenidos.

Objetivo y campo de aplicación

Establecer los métodos para la medición por ultrasonido y para la evaluación del espesor del intradós de un álabe de turbina Pelton (véase **figura 102**).

Definiciones

2.1 Acoplante acústico.

Medio requerido para realizar la transmisión de sonido desde el transductor a la pieza a inspeccionar, eliminado el aire atrapado en el espacio entre las superficies que entran en contacto.

2.2 Cavidades agrupadas en línea.

Cavidades conectadas, o casi conectadas en una banda angosta.

2.3 Cavidades aisladas.

Oquedades de pequeño diámetro separadas unas de otras, que no debilitan al álabe.

2.4 Cavitación.

Fenómeno que ocasiona erosión generalmente en la parte convexa de los álabes de las turbinas hidráulicas.

2.5 Equipo ultrasónico.

Es el aparato que realiza las funciones de generar, transmitir, recibir, medir la amplitud y determinar el tiempo de los pulsos eléctricos.

2.6 Espesor nominal.

Es el espesor original del intradós del álabe y viene dado por el fabricante.

2.7 Espesor mínimo detectado.

El menor valor detectado del total de lecturas obtenidas durante la medición del espesor del intradós.

2.8 Espesor máximo detectado.

El mayor valor detectado del total de lecturas obtenidas durante la medición del espesor del intradós.

2.9 Espesor representativo.

El valor calculado que sirve de base para evaluar la condición general del espesor del intradós.

2.10 Indicación no relevante.

Espesor de bajo valor que no requiere ser evaluado, en virtud de que se reconoce como cavidad aislada.

2.11 Indicación relevante.

Espesor de bajo valor que debe ser evaluado, en virtud de que se reconoce como cavidad agrupada en línea.

2.12 Método de inspección de contacto.

El transductor se coloca directamente sobre la superficie del álabe (intradós) y se utiliza una película ligera de acoplante acústico.

2.13 Posición o punto de medición.

Lugar donde se coloca el transductor para efectuar una medición del espesor del intradós del álabe.

2.14 Sistema de inspección.

Está constituido por los siguientes componentes básicos: equipo ultrasónico, cable coaxial, transductor, acoplante acústico y pieza a inspeccionar.

2.15 Técnica pulso-eco.

Consiste en enviar un pulso acústico que viaja a través del intradós del álabe, hasta que un cambio en la impedancia acústica provoca que sea reflejado, el transductor recibe la señal, la cual se transmite al equipo ultrasónico para que efectúe la medición.

2.16 Transductor.

Parte del sistema de inspección que convierte la energía eléctrica en energía acústica y viceversa.

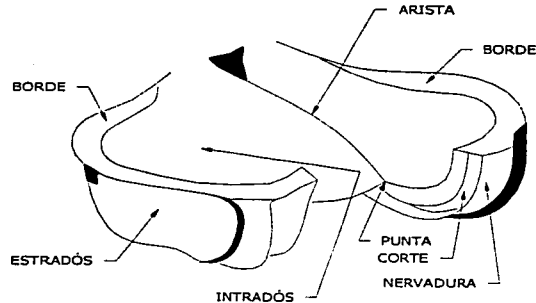


Figura 102. Álabe de turbina Pelton.

Marcado del álabe

Se utilizará un marcado del alabe para facilitar su clasificación y manejo. El marcado contendrá lo siguiente:

- Datos, información técnica y observaciones generales de la pieza.
- Mes/ año de la verificación.
- Número del informe técnico.

El marcado se debe efectuar con letras y números de golpe, y los caracteres deben tener un tamaño mínimo de 6.35 mm (0.250 pulgadas) medida nominal.

Medición ultrasónica de espesores

4.1 Equipo ultrasónico y accesorios.

Se debe emplear un equipo ultrasónico medidor de espesores con representación de lectura digital (ver los equipos de ultrasonido y transductores de este capítulo) o equipo detector de fallas.

4.1.1

El equipo ultrasónico debe ser del tipo pulso-eco, para usar transductores que oscilen con frecuencias de 2.25 a 5 MHz.

4.1.2

El equipo ultrasónico que se utilice en las mediciones de espesores se debe revisar y calibrar cada año en forma obligatoria, en un laboratorio de calibración acreditado por una entidad de acreditación autorizada.

4.1.3

El tipo de transductor que se debe utilizar es el de haz recto con uno o dos cristales.

4.1.4

Para la calibración del equipo ultrasónico antes de las pruebas de campo, se deben utilizar cualquiera de los patrones que se mencionan a continuación:

- a. Patrón escalonado de 5 pasos.
- b. Patrón escalonado de 4 pasos.
- c. Patrón IIV tipo 2.

4.2 Calibración del equipo ultrasónico.

4.2.1

Medidor de espesores.

4.2.1.1

Antes de iniciar las mediciones de espesores, el equipo ultrasónico se debe calibrar con el patrón que se seleccione de acuerdo al numeral 4.1.4.

4.2.1.2

La calibración inicial del equipo ultrasónico se efectuará de acuerdo con las especificaciones y funciones a utilizar de cada equipo, esta calibración se debe verificar periódicamente durante el proceso de medición.

4.2.1.3

El acoplante acústico que se utilice en la calibración inicial del equipo ultrasónico, debe ser el mismo que se utilice en las mediciones.

4.2.1.4

Si durante el proceso de medición se cambia el transductor, se debe calibrar nuevamente el equipo ultrasónico con el patrón seleccionado de acuerdo al numeral 4.1.4.

4.2.2

Equipo detector de fallas.

4.2.2.1

El rango de calibración será 2 veces el espesor nominal de la pieza a inspeccionar.

4.2.2.2

Antes de iniciar las mediciones de espesores, el equipo ultrasónico se debe calibrar con el patrón que se seleccione de acuerdo al numeral 4.1.4.

- a. La altura de la primera señal se llevará al 80% de la altura total de la pantalla.
- b. La calibración inicial del equipo, se verificará periódicamente durante el proceso de medición.

4.2.2.3

Si durante el proceso de medición se cambia el transductor, se debe calibrar nuevamente el equipo ultrasónico con el patrón seleccionado de acuerdo al numeral 4.1.4.

4.3 Medición de espesores.

4.3.1

Para el intrados del álabe, los puntos de medición de espesores serán como mínimo los que se indican en la siguiente figura.

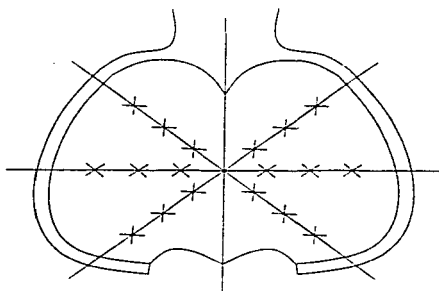


Figura 103. Puntos mínimos de medición de espesores.

Análisis de los resultados obtenidos

5.1 Cálculo del espesor representativo (ER).

$$ER = (\sum xi) / n$$

Donde:

ER = Espesor representativo.

Xi = Valor puntual de la lectura.

n = Número total de lecturas en el intradós.

5.2 Evaluación de los resultados.

5.2.1

Cuando el espesor representativo sea igual o mayor al 80% del espesor nominal (además de comprobarse la ausencia de cavidades agrupadas en línea), el álabe se considera ultrasónicamente apto para operar. En caso de que dicho espesor sea inferior al 80% del espesor nominal, el álabe se considera ultrasónicamente no apto para operar.

3.5 EVALUACIÓN DE DEFECTOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE PARTICULAS MAGNÉTICAS, PARA LA VERIFICACIÓN DE UN ÁLABE DE TURBINA KAPLAN PARA UN SALTO PEQUEÑO

1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Definiciones.
3. Marcado del álabe.
4. Método de aplicación de las partículas magnéticas.
5. Análisis de los resultados obtenidos.

Objetivo y campo de aplicación

Establecer los métodos para la detección y evaluación de discontinuidades abiertas o conectadas con la superficie por medio de partículas magnéticas, en el álabe de una turbina Kaplan para un salto pequeño (véase dicho álabe en la **figura 104**).

Definiciones.

2.1 Contaminante.

Cualquier sustancia extraña presente en la superficie de prueba o en los materiales de inspección, la cual afectará la acción de las partículas magnéticas.

2.2 Defecto.

Discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones, por su forma, tamaño y localización no cumplen el nivel de calidad aceptable conforme al criterio de aceptación especificado.

2.3 Discontinuidad.

Falta de continuidad o interrupción en la estructura física o configuración normal de una pieza.

2.4 Evaluación.

Revisión, seguida de una interpretación, de las indicaciones notadas para determinar si éstas cumplen o no con el criterio de aceptación especificado.

2.5 Indicación.

Evidencia de una discontinuidad que requiere de una interpretación para determinar su relevancia.

2.6 Indicación falsa.

Indicación obtenida a través de la aplicación de una técnica o proceso mal aplicado.

2.7 Indicación relevante.

Indicación de una discontinuidad que requiere evaluación.

2.8 Inspección.

Evaluación visual de una pieza de prueba después de efectuar los pasos del proceso de inspección.

2.9 Interpretación.

Determinación de cuándo las indicaciones son o no relevantes.

2.10 Límites de temperatura.

Intervalo de temperatura en el cual se efectúa una prueba no destructiva.

2.11 Limpieza y prelimpieza.

Proceso de eliminación de todos los contaminantes sólidos y líquidos que puedan interferir con la inspección.

2.12 Luz visible.

Radiación electromagnética en el intervalo de longitud de onda de 400 a 700 nm (4000 a 7000 Å).

2.13 Material ferromagnético.

Sustancias que contienen momentos magnéticos atómicos que tienden a alinearse paralelamente unos de otros en presencia de un fuerte campo magnético externo.

2.14 Partículas Magnéticas.

Partículas de hierro finamente divididas con la propiedad de ser ferromagnéticas. Pueden ser de dos tipos:

1. Partículas Magnéticas Secas.
2. Partículas Magnéticas Húmedas.

2.15 Partículas Magnéticas Secas.

Son las que se presentan en diferentes colores (gris, amarillo, negro y rojo) con el propósito de elegir las más adecuadas para obtener un mejor contraste con las piezas que se inspeccionan.

2.16 Partículas Magnéticas Húmedas.

Existen dos tipos de partículas húmedas y son:

Partículas Magnéticas Fluorescentes.- Están cubiertas con un líquido el cual provoca su fluorescencia cuando se exponen a una luz próxima a la ultravioleta (negra).

Partículas Magnéticas Visibles.- Son rojas o negras y se observan bajo la luz blanca o normal.

2.17 Postlimpieza.

Remoción de residuos de materiales después de que se ha efectuado la inspección.

2.18 Prelimpieza.

Remoción de contaminantes de la superficie de la pieza de prueba de tal manera que no interfieran con el proceso de inspección.

Marcado del álabe

Se utilizará un marcado del álabe para facilitar su clasificación y manejo. El marcado contendrá lo siguiente:

- Datos, información técnica y observaciones generales de la pieza.
- Mes/ año de la verificación.
- Número del informe técnico.

El marcado se debe efectuar con letras y números de golpe, y los caracteres deben tener un tamaño mínimo de 6.35 mm (0.250 pulgadas) medida nominal.

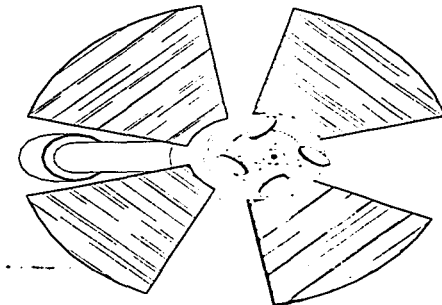


Figura 104. Rodete Kaplan de 4 álabes para saltos pequeños.

Método de aplicación de las partículas magnéticas

4.1 El equipo de inspección y material empleado.

4.1.1

Grupo de Partículas Magnéticas. Se pueden emplear partículas magnéticas húmedas y visibles bajo la luz blanca. Esta opción representa varias ventajas, por ejemplo, evitar transportar la pieza a una habitación con luz negra para su inspección.

4.1.2

Equipo de inspección mediante Partículas Magnéticas. Se debe emplear un equipo de inspección mediante partículas magnéticas capaz de responder a las exigencias de peso y dimensiones del álabe desmontable de la turbina Kaplan (ver los centros de inspección mediante partículas magnéticas de este capítulo). Así mismo, también es plausible utilizar unas puntas de magnetización para la inspección de este álabe.

4.1.3

Características del limpiador empleado. El líquido limpiador debe ser capaz de disolver efectivamente manchas tales como grasa, aceite, cera, selladores y materia orgánica en general.

4.1.4

Las partículas magnéticas utilizadas en la evaluación de discontinuidades, deben ser de preferencia del mismo fabricante y contar con el certificado de garantía correspondiente.

4.2 Desarrollo de la prueba.

4.2.1

Sujeción de la pieza o componente. Se hará siguiendo cada una de las recomendaciones del equipo seleccionado, no excediendo el peso ni diámetro límites. Para este caso en particular el equipo más idóneo es el DEUTROFLUX UWS mostrado en la figura 88.

4.2.2

Rociado de las partículas. La temperatura recomendada para el rociado de las partículas magnéticas debe estar entre 16 y 30°C.

4.2.3

Magnetización de la pieza o componente. Se procederá de la forma indicada en el manual del equipo, siendo recomendable la magnetización mediante el sistema automatizado de dos pasos.

4.2.4

Una vez transcurrido 1 minuto como mínimo, se procederá a interrumpir el flujo del campo magnético, procediendo a una inspección visual de la pieza para encontrar posibles defectos. Algunos equipos modernos indican automáticamente la presencia de defectos en las piezas inspeccionadas.

4.2.5

Desmagnetización de la pieza o componente. Se hará en caso de que la pieza tenga que ser maquinada posteriormente y se quiera evitar que la herramienta colecte rebabas

debido a un campo residual. Se optara por alguno de los dos métodos descritos en el punto 2.8 del capítulo 2.

Análisis de los resultados obtenidos

5.1 Serán inaceptables las siguientes discontinuidades:

5.1.1

Indicaciones lineales importantes tales como grietas, fisuras, falta de fusión y falta de penetración, cualquiera que sea su longitud.

5.1.2

indicaciones redondeadas con ancho mayor de 4.76 mm.

5.1.3

Cuatro o más indicaciones redondeadas en una línea separadas por 1.58 mm o menos.

CONCLUSIONES

Podemos ver que las aplicaciones de los Ensayos No Destructivos son muy diversas y evidentemente faltaron algunos métodos que bien podrían ser empleados en los demás componentes de las tres turbinas hidráulica analizadas. En realidad, no se trata de crear una "biblia" de aplicación sobre los Ensayos No Destructivos en las turbinas hidráulicas, solamente se intenta crear en el lector una base suficiente sobre todos estos ensayos, que le permitan abordar de manera independiente proyectos de inspección sobre sus propios intereses y afinidades. De tal forma que llegado hasta este punto de la lectura, ya sabría que los primeros ensayos que debe aplicar por su sencillez, son los que involucran la inspección visual directa y remota, así como la termografía infrarroja. Dejando como pruebas de corroboración las que involucran las partículas magnéticas, los líquidos penetrantes, las corrientes de Eddy, los ensayos de fuga y el ultrasonido. Debería de notar que las pruebas radiográficas (mediante rayos x o gamma) son las más riesgosas y generan un costo mucho mayor.

Así mismo, a pesar de que la información referente a las turbinas hidráulicas es muy general, se debe de notar que a veces es innecesario tener más información que la que se pueda analizar. Por ese motivo se ha omitido información mucho más técnica sobre éstas. Recuérdese que para la aplicación exitosa de los métodos de Ensayos No Destructivos, la información referente a dimensiones, geometría, condiciones de trabajo y tipo de material del componente, es más que suficiente para su aplicación exitosa.

Los equipos revisados hasta ahora, como ya se dijo, son totalmente comercializados por empresas privadas y es recomendable asegurarse de que cumplan con los requisitos de calidad y funcionalidad mínimos que se requieran para cubrir todas las expectativas que sobre ellos se tengan. También es prudente advertir, que los equipos deben tener la capacidad de ser "expandidos" con piezas más recientes de reemplazo, para evitar que sean obsoletos en muy poco tiempo o bien si es posible, remplazarlos en su totalidad por modelos más avanzados.

Es importante también, poseer al menos un grado de certificación para que el nivel de confianza al aplicar estos métodos aumente progresivamente, a la par con el ingreso de nuevos conocimientos que la práctica pueda acarrear. Se espera que con lo mostrado referente a los requisitos de certificación y pruebas de calificación que indica la Asociación Española de Ensayos No Destructivos se logre una comprensión de los requisitos mínimos de conocimiento que sobre estos ensayos se debe de tener para un papel relevante en caso de buscar un nivel se certificación.

Finalmente, se hace hincapié nuevamente en que los métodos a utilizar deben de atender fundamentalmente al rubro económico, pues a veces varios métodos son susceptibles de ser aplicados en un mismo componente con resultados muy similares, pero costos demasiado dispares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

- 1 **Apuntes de Electricidad y Magnetismo**
 ENEP ARAGÓN, 1997.
- 2 **Apuntes de Fundamentos de Mecánica de Sólidos (END)**
 ENEP ARAGÓN, 1998.
- 3 **Apuntes de Termodinámica**
 ENEP ARAGÓN, 1998.
- 4 **Apuntes de Turbomáquinas**
 ENEP ARAGÓN, 1999.
- 5 **Diario Oficial de la Federación**
- SECCIÓN: SECRETARÍA DE ENERGÍA.
 - FECHAS: 14 DE NOVIEMBRE DE 2001 Y 26 DE ABRIL DE 2002.
- 6 **Física General**
 ALVARENGA Y MÁXIMO.
 HARLA, TERCERA EDICIÓN, MÉXICO 1983.
- 7 **Física 2**
 FRANCISCO NOREÑA VILLARÍAS.
 FCE, SEGUNDA EDICIÓN, MÉXICO 1996.
- 8 **Física Tomo I**
 RAYMOND A. SERWAY.
 MCGRAW-HILL, SEGUNDA EDICIÓN, MÉXICO 1996.
- 9 **Física**
 ROBERT RESNICK, DAVID HALLIDAY.
 EDITORIAL CONTINENTAL, MÉXICO 1980.
- 10 **Máquinas Hidráulicas**
 JOSÉ L. DE PARRES.
 UNAM, CUARTA EDICIÓN, MÉXICO 1977.
- 11 **Máquinas Hidráulicas**
 MIGUEL REYES AGUIRRE.
 ALFAOMEGA, 1993.
- 12 **Manuales Informativos de:**
- **AEISA:** Asesoría y Equipos de Inspección, S. A. de C. V.
 - **AEND:** Asociación Española de Ensayos No Destructivos.
 - **ASOVEND:** Asociación Venezolana de Ensayos No Destructivos.
 - **CYTI:** Calidad y Técnica Industrial S. A. de C. V.
 - **Everest VIT** S. A. de C. V.

- **ICAEND:** Ingeniería y Capacitación en Ensayos No Destructivos.
- **IIE:** Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- **IMENDE:** Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.
- **Karl Deutsch S. A.** de C. V.
- **Panatec S. A.** de C. V.
- **PIVICO S. A.** de C. V.
- **PND**
- **Turbinas WIRZ S. A.** de C. V.

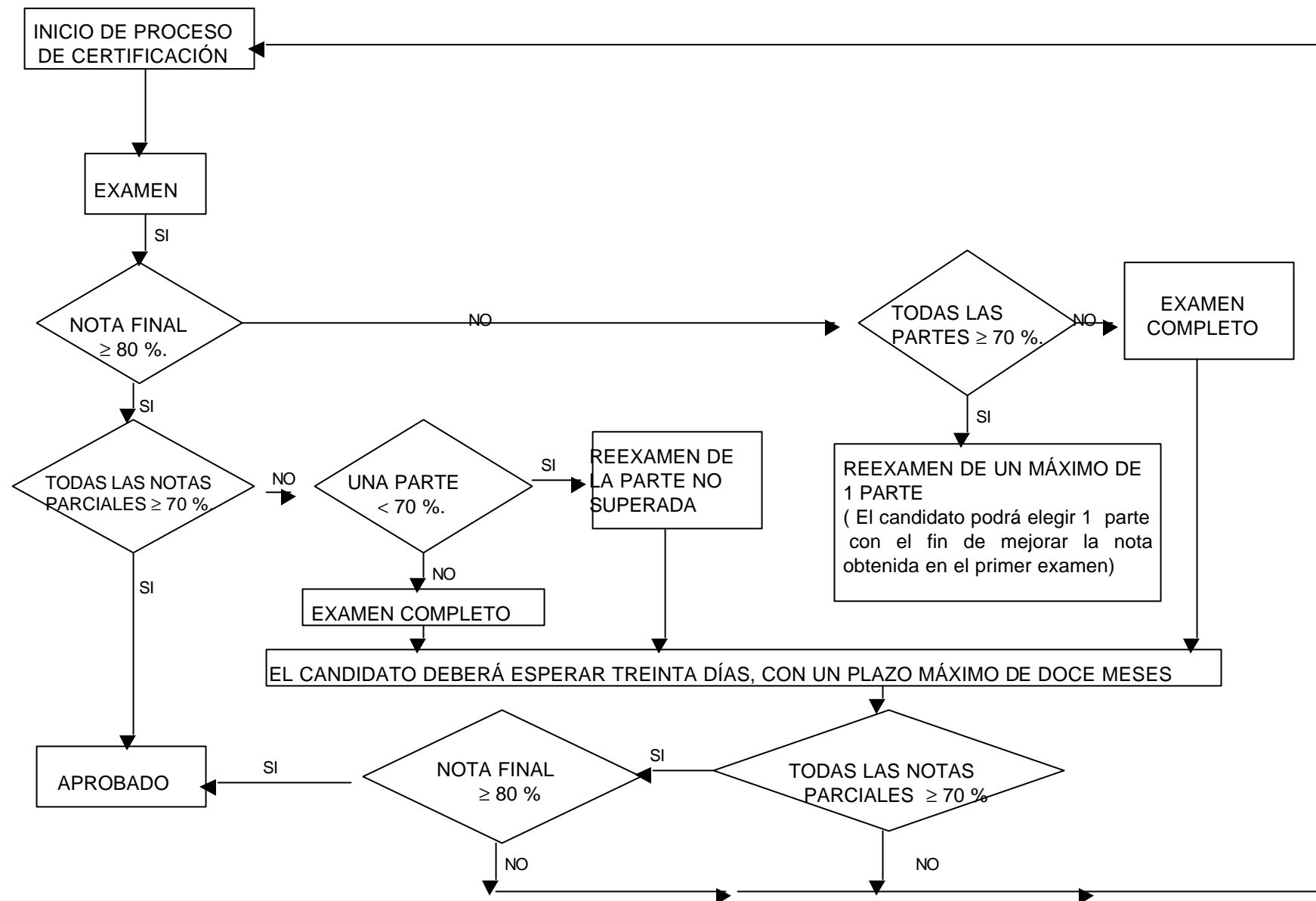
- 13 **Marks Manual del Ingeniero Mecánico Tomo 1**
EUGENE A. AVALLONE.
THEODORE BAUMEISTER III.
MAC GRAW-HILL, NOVENA EDICIÓN, MÉXICO 1996.
- 14 **Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas**
CLAUDIO MATAIX.
EDICIONES DEL CASTILLO. S.A., MADRID 1980.
- 15 **Motores Hidráulicos**
L. QUANTZ.
EDITORIAL GUSTAVO GILI, S.A., BARCELONA 1976.
- 16 **Proyectos Especiales: END**
MAURICIO CALVA VALDERRÁBANO Y
ACHIM M. LOSKE MEHLING.
BOLETÍN DE JULIO/AGOSTO DE 1987.
- 17 **Turbomáquinas Hidráulicas Principios Fundamentales**
INGENIERO MANUEL POLO ENCINAS.
TERCERA EDICIÓN. LIMUSA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



DIAGRAMA DE FLUJO DE EXÁMENES

DINF-PC03-1
REV: 1
Fecha: 14/02/02
Página: 1 de 1





FORMACIÓN Y EXPERIENCIA MÍNIMAS EXIGIDAS PARA NIVELES 1 Y 2

DINF-PC03-2
REV: 1
Fecha:14/02/02
Página1 de 1

Formación

MÉTODO		Nivel 1 (horas)	Nivel 2 (horas)
ET		40	40
PT		16	24
MT		16	24
VT		16	24
RT		40	80
UT		40	80
LT	A - Conocimientos básicos	8	16
	B - Método de variación de presión	14	28
	C - Método de gas trazador	18	36

Nota 1- Las horas de formación comprenden los cursillos teóricos y prácticos.

Nota 2- El acceso directo al nivel 2 exige el total de las horas indicadas para ambos niveles 1 y 2.

Nota 3- Para regular el número de horas, la semana laboral se considera de 40 horas.

Nota 4- El certificado de formación debe indicar que ésta ha sido recibida satisfactoriamente por el candidato

Nota 5- En el método LT, el candidato tiene que superar la parte A junto con cualquiera de las B o C o las partes B y C.

Nota 6 En el caso de certificación con aplicación limitada los requisitos de formación se reducen un 50%.

Nota 7 En el caso de acreditarse una formación académica como graduado de escuela técnica o universidad, o haber cursado dos años de estudios superiores, se aplicará una reducción del 50%.

		Meses de experiencia	
		Nivel 1	Nivel 2
ET		3	9
PT		1	3
MT		1	3
VT		1	3
RT		3	9
UT		3	9
LT	Experiencia total	3	9
	Experiencia parcial para el método de presión	2	6
	Experiencia parcial para el método de detección por gases	2	6

Nota 1- La experiencia en el trabajo en meses, se basa en una semana laboral de trabajo de 40 horas. Cuando un individuo trabaja más de 40 horas por semana, puede hacerse acreedor a una experiencia basada en el número total de horas, pero se le requerirá demostrar tal experiencia.

Nota 2- Para la certificación como nivel 2, de un nivel 1, se le exigirá al candidato la experiencia indicada en la tabla 2. Para acceso directo al nivel 2, la experiencia requerida será la suma de los periodos asignados para los niveles 1 y 2.

Nota 3- Se puede acreditar por experiencia en el trabajo simultáneo en dos o más métodos de END de los indicados en el procedimiento con reducción de la experiencia total requerida como sigue:

A) dos métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 25%.

B) tres métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 33%.

C) cuatro o más métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 50%.

En todos los casos al candidato se le exigirá que, por cada uno de los métodos de ensayo para los que desea certificación, posea al menos la mitad del tiempo de experiencia requerido, y el % de reducción se aplicará sobre el total de meses de experiencia reflejado en la tabla anterior aplicables a los métodos que documente.

Nota 4- Hasta un máximo del 50% de la experiencia práctica requerida se puede obtener mediante un curso



FORMACIÓN Y EXPERIENCIA MÍNIMAS EXIGIDAS PARA NIVELES 1 Y 2

DINF-PC03-2
REV: 1
Fecha:14/02/02
Página2 de 1

presentada sobre el curso en cuestión si aplica y en que medida esta convalidación de la experiencia



EXPERIENCIA MÍNIMA EXIGIDA PARA NIVEL 3

DINF-PC03-3
REV: 1
Fecha: 14/02/02
Página 1 de 1

	Título	Experiencia (Meses)
Acceso a nivel 3 de una persona certificada en nivel 2	Titulado medio o superior en escuela técnica o facultad	12
	Haber aprobado dos años como mínimo de estudios en escuela técnica o facultad o poseer la titulación de FP-2	24
	Otros estudios no contemplados	48
Acceso directo a nivel 3. El candidato deberá tener completado satisfactoriamente el examen práctico para nivel 2 en ese método	Titulado medio o superior en escuela técnica o facultad	24
	Haber aprobado dos años como mínimo de estudios en escuela técnica o facultad o poseer la titulación de FP-2	48
	Otros estudios no contemplados	72

Nota 1 - Si el título universitario o formación profesional es en ensayos no destructivos, la experiencia requerida para el acceso a nivel 3 se puede reducir en un 50%.

Nota 2 - La experiencia para certificación como nivel 3 deberá ser la correspondiente a la antigüedad como nivel 2. Para el acceso directo a nivel 3 sin estar previamente certificado como nivel 2, el candidato deberá haber trabajado en un nivel comparable al del nivel 2 durante el periodo especificado.

Nota 3 - El crédito de experiencia se puede adquirir simultáneamente en dos o más métodos en END de los indicados en el procedimiento con una reducción de la experiencia total requerida como sigue:

- a) dos métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en el 25%;
- b) tres métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 33%;
- c) cuatro o más métodos de ensayo: reducción del tiempo total requerido en un 50%.

En todos los casos, al candidato se le exigirá que demuestre que, por cada uno de los métodos de ensayo para los que desea certificación, dispone al menos de la mitad del tiempo requerido.



MODELO DE CERTIFICADO DE AGUDEZA VISUAL

DINF-PC03-4
REV:1
Fecha: 14/02/02
Página1 de 1

D/Dña. _____,
(Nombre de la persona médicamente autorizada)

_____ con nº de colegiado
(Doctor, Diplomado en óptica, etc)

certifico que D/Dña. _____, posee:
(Nombre del candidato a certificación)

- a) Una visión cercana que le permite leer como mínimo, las letras de la escala 1 de la carta normalizada Jaeger, las letras TIMES ROMAN tamaño 4,5 o equivalente a una distancia no inferior a 30 cm, por lo menos en un ojo, con o sin corrección.
- b) Una visión en color suficiente para distinguir y diferenciar el contraste entre los colores utilizados en el método de END a utilizar (el candidato o su empresa deben indicarle cuál es y en qué consiste.

Y para que así conste, firmo la presente en _____ a _____ de _____ de

Firma
Nº Colegiado

NOTA: Si el sistema utilizado no es la escala 1 de la carta normalizada Jaeger, pero es equivalente a la misma, debe hacerse constar claramente en el certificado dicha equivalencia.



ESQUEMA DE TIPOS DE EXAMEN PARA CERTIFICACIÓN EN END POR CERTIAEND

DINF-PC03-5
REV:1
Fecha: 14/02/02
Página1 de1

	General		Específico (1)		Práctico	Básico (sólo aplicable a Nivel 3)				
	Métodos	Nº Preg.	Métodos	Nº Preg.						
Nivel 1	ET RT UT	40	ET RT UT	20	Sobre una o más probetas según el número de sectores industriales: 1.- Conocimiento del equipo 2.- Aplicación a la probeta (preparación, calibración, inspección, operaciones finales) 3.- Detección de las discontinuidades y redacción del informe 4.- Solo para el nivel 2: preparación de instrucciones escritas para el nivel 1. 5.- Solo para el nivel 2 en RT: además deberá interpretar 12 radiografías por sector					
	PT, MT LT, VT	30	PT MT LT VT							
Nivel 2	ET RT UT	40	ET, RT UT, LT	20						
	PT, MT LT, VT	30	PT MT VT	20						
Nivel 3	ET RT UT	30 (C1)	ET RT UT	20 (C2)					Si el candidato no es nivel 2 por CERTIAEND debe realizar previamente el examen práctico del nivel 2 en el método, excepto la preparación de instrucciones escritas para nivel 1.	PARTE A: - Tecnología de materiales y defectología Nº de preguntas 25 Sistema de cualificación y certificación (UNE EN-473) Nº de preguntas 10 (2)
	PT MT LT VT		PT MT VT							
					(C3) Preparación de uno o más procedimientos escritos (2)	PARTE B: Conocimientos teóricos de nivel 2 en 4 métodos (3) Nº Preg=4 x 15 = 60				

NOTAS

- (1) Si el examen específico cubre 2 o más sectores industriales, el número mínimo de preguntas deberá ser al menos 30 repartidas uniformemente entre los sectores correspondientes.
- (2) Exámenes que se permiten realizar con libro abierto, la documentación y normativa aplicables estarán a disposición del candidato.
- (3) Previo al examen, el candidato a Nivel 3 debe comunicar los cuatro métodos elegidos uno de los cuales deberá ser el principal y de los otros al menos uno será volumétrico, Ultrasonidos (UT) o Radiografía (RT).

Los exámenes general y básico serán de tipo test. Los exámenes específicos serán para los Niveles 1 y 2 de tipo test y para el Nivel 3 también de tipo test, al menos en la mitad de las preguntas.

La calificación se realizará multiplicando el porcentaje de aciertos (mínimo 70%) por su factor de ponderación. La calificación final se calculará sumando los valores de las diferentes partes del examen y su valor deberá ser igual o superior al 80%.



SISTEMA ESTRUCTURADO DE CRÉDITO PARA UNA RECERTIFICACIÓN DE NIVEL 3

DINF-PC03-6
REV:1
Fecha:14/02/02
Página 1 de 1

En el ámbito de este sistema, un candidato al nivel 3 se beneficia de un crédito si, durante los cinco años que preceden a su recertificación, participa en diversas actividades de END indicadas en la tabla.

Se fijan unos límites al número máximo de puntos que pueden ganarse por año así como por el tipo de actividades seguidas en los cinco años, a fin de asegurar un buen reparto.

Sistema de crédito para una certificación de nivel 3

Nº	Actividad	Número de puntos para cada actividad		Número de puntos por año		Número de puntos para el período de 5 años que precede a la recertificación		
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Notas
1	Participación en conferencias sobre ensayos no destructivos (END)		1	1	3	3	8	a)
2.1	Participación en comités de normalización nacionales o internacionales		1	1	3	3	8	a)
2.2	Participación como animador o ponente en reuniones de un comité de normalización		1	1	3	3	8	a) b)
3.1	Participación en reuniones de otros comités de END		1	1	3	3	8	a)
3.2	Participación como animador o ponente de reuniones de otros comités de END		1	1	3	3	8	a) b)
4.1	Participación en reuniones de grupos de trabajo relativos a los END		1	2	5	6	15	a)
4.2	Participación como animador o ponente en grupos de trabajo relativos a los END		1	2	5	6	15	a) b)
5.1	Publicaciones o contribuciones científicas o técnicas relativas a los END	3	6	3	6	9	18	c)
5.2	Trabajos de investigación sobre END publicados	3	6	3	6	9	18	c)
6.1	Cursos de formación en END (por 2 h)		1	2	6	10	30	d)
6.2	Examinador de END (por examen)	1	3	2	6	10	30	d)

Para ser recertificado, hay que adquirir un número total mínimo de 30 puntos en un período de 5 años.
Se admitirá un número total máximo de 10 puntos por año.

NOTAS

- El número máximo de puntos por participación según los puntos 1 a 4 es igual a 20.
- Puntos dados por la participación en reuniones tanto como animador (ponente) o por asistencia.
- Si hay más de un autor, el autor principal debe establecer el número de puntos de cada autor.
- Únicamente para las actividades excepcionales y no para la actividad principal.

- 1.- Cumplimentar los datos de la portada antes del examen y firmar.
- 2.- Tener disponible el DNI y la convocatoria de examen.
- 3- Señalar y escribir con tinta indeleble, que no sea roja, todos los exámenes, con excepción del examen práctico con probeta, en el que podrá utilizarse el lápiz, sólo para dibujar el croquis.
- 4- Señalar la respuesta seleccionada con un círculo en la letra correspondiente. Las preguntas con más de una respuesta señalada se consideraran falladas.
- 5- Si se ha de rectificar una respuesta, trazar un aspa sobre el círculo de la respuesta a rectificar, y señalar la nueva respuesta con un nuevo círculo. No utilizar en ningún caso líquido corrector (Tippex).
- 6- En las preguntas donde la respuesta haya que contestarla escribiendo, procurar utilizar el espacio existente. Si fuera necesario más, escribir en la parte posterior de la hoja, indicando claramente que se hace así.
- 7- En los exámenes prácticos, utilizar solamente el papel en blanco firmado o sellado por el examinador y los formatos entregados por el tribunal.
- 8- No utilizar documentación de consulta excepto en exámenes prácticos escritos y con autorización del examinador.
- 9.- El examen práctico consta de las siguientes partes:
 - 9.1. Conocimiento del equipo: es decir, las funciones, puesta en operación, verificación.
 - 9.2. La aplicación del END a la probeta, que consta de las partes siguientes:
 - Para nivel 2, selección de la técnica y definición de las condiciones de operación.
 - Preparación de la probeta.
 - El ajuste del equipo.
 - La realización del ensayo.
 - Las operaciones después de realizado el ensayo.
 - 9.3. La detección de las discontinuidades y su caracterización y la elaboración del informe.
 - 9.4. Para el nivel 2, redacción de instrucciones escritas para el nivel 1.

La manera de calificar estas partes, en función del nivel, se dan en la tabla siguiente:

Parte	Calificación	
	Nivel 1	Nivel 2
1	20 %	10 %
2	35 %	20 %
3	45 %	55 %
4	-----	15 %

Ensayos No Destructivos, S.A. de C.V.

Equipos Accesorios y Calibraciones

09 de septiembre de 2015

Estimado Usuario

Por medio del presente ponemos a sus órdenes los servicios, venta de equipos, materiales y accesorios para la inspección por ensayos no destructivos.

ZETEC

- **Corrientes Eddy Marca ZETEC:** representantes exclusivos en el territorio nacional de la marca Zetec, fabricante de equipos y accesorios para la inspección por Corrientes Eddy



- **Partículas Magnéticas Marca Circle Systems Inc.** Partículas magnéticas secas, húmedas, visibles, fluorescentes, submarinas o duales, todos los materiales cuentan con Hoja de Seguridad y Certificado.



- **Yugos Parker Research Corp.** Yugos electromagnéticos de CA, CA y CD submarinos, operados por baterías, para la inspección por partículas magnéticas y accesorios.

MAGWERKS CORPORATION

- **Equipos partículas magnéticas Marca MAGWERKS** Equipos para la inspección por partículas magnéticas y accesorios.



- **Líquidos Penetrantes Marca Met-L-Chek:** Visibles/ fluorescentes, removibles con agua, solvente o post-emulsificables, accesorios para la inspección, todos los materiales cuentan con Hoja de Seguridad y Certificado.



- **Luz Ultravioleta Marca Spectroline** Lámparas de Luz Ultravioleta, filtros, focos, medidores de luz ultravioleta digitales y analógicos.

Página 1/

Domicilio Fiscal
Av. 539 No. 142
Col. San Juan de Aragón
México, D.F. 07920
RFC END-001031-750

Teléfono (55) 5759 7490
Tel / Fax (55) 5759 7491
Fax (55) 5751 3291
e-mail joaquin_gutierrez@infosel.net.mx

Domicilio Oficina:
Ángel Albino Corzo 2914 Desp. 204
Col. Tablas de San Agustín
México D.F. 07869

Ensayos No Destructivos, S.A. de C.V.

Equipos Accesorios y Calibraciones



- **Ultrasonido Marca Stresstel** Medidores de espesores y detectores de fallas por ultrasonido, transductores, cables, blocks de calibración, etc.
- **Reparación y Calibración:** Servicio de reparación mantenimiento calibración y certificación de equipos de inspección, (Acreditación ante el EMA, en tramite).

Máquinas de Partículas Magnéticas unidades horizontales, fuentes de poder y yugos.

Medidores de Magnetismo Residual digitales y analógicos

Medidores de Luz Ultravioleta digitales y analógicos.

Equipos de Ultrasonido medidores de espesores y detectores de fallas por ultrasonido

Sin mas por el momento esperamos que esta información sea de su total utilidad, quedamos a sus ordenes.

A T E N T A M E N T E

Ing. Joaquín Gutiérrez C.
Ensayos No Destructivos SA de CV

Director Regional de American Society for non Destructive Testing (ASNT) para México



Página 2/

Domicilio Fiscal
Av. 539 No. 142
Col. San Juan de Aragón
México, D.F. 07920
RFC END-001031-750

Teléfono (55) 5759 7490
Tel / Fax (55) 5759 7491
Fax (55) 5751 3291
e-mail joaquin_gutierrez@infosel.net.mx

Domicilio Oficina:
Ángel Albino Corzo 2914 Desp. 204
Col. Tablas de San Agustín
México D.F. 07869

Ensayos No Destructivos, S.A. de C.V.

Equipos Accesorios y Calibraciones

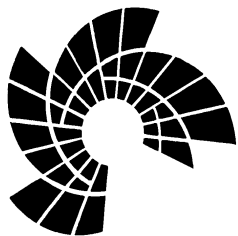
Joaquin Gutierrez Castro
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, S.A. de C.V.
Angel Albino Corzo 2914 Desp. 204
Col. Tablas de San Agustin 07869
Mexico, D.F.
Tel (55) 5759 7490 / 91
Fax (55) 5751 3291

Página 3/

Domicilio Fiscal
Av. 539 No. 142
Col. San Juan de Aragón
México, D.F. 07920
RFC END-001031-750

Teléfono (55) 5759 7490
Tel / Fax (55) 5759 7491
Fax (55) 5751 3291
e-mail joaquin_gutierrez@infosel.net.mx

Domicilio Oficina:
Ángel Albino Corzo 2914 Desp. 204
Col. Tablas de San Agustín
México D.F. 07869



MET - MEX

INSTITUTO MEXICANO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, A. C

PROGRAMA DE CURSOS 2003

www.imendeac.com.mx

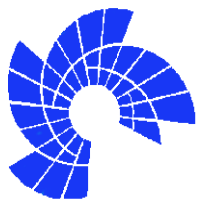
CURSOS A REALIZARSE EN LA CD. DE MEXICO.

CURSOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	DIC.
UT N I	27 - Ene. al 1 - Feb			28 - Abr. al 3 - May.			28 - Jul. al 2 - Ago.			27 - Oct. al 1 - Nov.		
UT N II		10 - 15			5 - 10			4 - 9			3 - 8	
MT N I Y II		17 - 22				16 - 21				6 - 11		
PT N I Y II		24 - Feb. al 1 - Mar.				23 - 28				13 - 18		
RT N I y II				21 Abr. - 2 May.								
ET N I			24 - 28									
ET N II					31 Mar. - 4 Abr.							
INT. DE IMAGENES RADIOGRAFICAS			10 - 14									
MANEJO E INT. DE CODIGOS	13 - 17											
INSPECCION DE SOLDADURA	20 - 24				19 - 23				22 - 26			
INTROD. METALÚRGIA BÁSICA (EXAMEN BÁSICO NIVEL III)					12 - 17							
EVALUACION DE SOLDADURAS CON UT SEGÚN API 1104, CÓDIGO ASME Y ANSI/AWS D1.1								11 - 16				
CURSOS DE REPASO NIVEL III. MT y PT						9 - 14						
CURSOS DE REPASO NIVEL III. UT y RT							7 - 12					

*PARA INFORMACION E INSCRIPCIONES, FAVOR DE COMUNICARSE CON LA SRITA. LETICIA VICENCIO ACEVEDO AL TEL. (5) 5 79 66 29 / (5) 5 79 91 54 / (5) 6 96 07 71 ó 01 800 02 40 771

ABREVIATURAS: **(MT)** PARTICULAS MAGNETICAS; **(PT)** LIQUIDOS PENETRANTES; **(RT)** RADIOGRAFIA; **(UT)** ULTRASONIDO; **(ET)** ELECTROMAGNETISMO; **(INT.)** INTERPRETACION; **(N)** NIVEL.
Le mando el programa de cursos de México, el Tel. de México en 018000240771 y 55796629, 55799154 y 56960771.

Atte.



INSTITUTO MEXICANO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, A. C.

PROGRAMA DE CURSOS 2003

www.imendeac.com.mx

CURSOS A REALIZARSE EN LA CD. DE VILLAHERMOSA, TABASCO.

CURSOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	DIC.
UT N I		24-FEB. 1-MARZ.			26-31.			25-30			24-29	
UT N II			3-8			2-7			1-6			1-6
RT N I y II												
MT N I Y II	13-18				5-10				8-13			
PT N I Y II	20-25				12-17				22-27			
INT. DE IMÁGENES RADIOGRAFICAS						9-13				6-10		
MANEJO E INTERPRETACIÓN DE CÓDIGOS				31 Mar. – 5 Abr.						13-17		
INSPECCION DE SOLDADURA				7 -12			30-jun 4-jul			20-24		
INTRODUCCIÓN A LA METALÚRGICA BÁSICA (EXÁMEN BÁSICO NIVEL III)			17-21					18-22				
EVALUACION DE SOLDADURAS CON UT SEGÚN API 1104, CÓDIGO ASME Y ANSI/AWS D1.1		17-22										
ANALISIS DE VIDA REMANENTE EMPLEANDO EL PROGRAMA ULTRAPIPE			24-28						29-SEPT. 3-OCT.			
MANEJO DE LOS EQUIPOS USN Y DMS			10-14							13-17		

*PARA INFORMACION E INSCRIPCIONES, FAVOR DE COMUNICARSE CON EL ING. ALFONSO R. GARCIA CUETO AL TEL. (91 93) 16 24 65 / 16 42 17, O ACUDIR A CAMPO TEPATE No. 101 – A, FRACC. CARRIZAL, VILLAHERMOSA, TABASCO.

ABREVIATURAS: **(MT)** PARTICULAS MAGNETICAS; **(PT)** LIQUIDOS PENETRANTES; **(RT)** RADIOGRAFIA; **(UT)** ULTRASONIDO; **(ET)** ELECTROMAGNETISMO; **(INT.)** INTERPRETACION; **(N)** NIVEL.