

LA «ULTRASONOSCOPIA», MODERNO E IMPORTANTE METODO DE RECONOCIMIENTO DE LOS MATERIALES METALICOS, Y OTRAS APLICACIONES INDUSTRIALES *

POR

HELIODORO TEMPRANO HERNANDEZ

Ingeniero Industrial

Miembro de número del Instituto de Estudios Asturianos

PRIMERA PARTE

RECONOCIMIENTO DE LOS MATERIALES METALICOS

1. Importancia del ensayo de los materiales

El conocimiento de los defectos internos que puedan tener los materiales de una construcción o los diversos elementos de una máquina es de suma trascendencia no solo bajo un punto de vista económico, sino también teniendo en cuenta la seguridad y la prevención de accidentes.

Si se trata por ejemplo de una pieza fundida sucede con fre-

* Conferencia en el X Curso de Verano de la Universidad de Oviedo.



cuencia que en el curso de la correspondiente mecanización, y cuando se lleva ya gastado bastante tiempo y jornales, aparecen porosidades u otros defectos que hacen inservible la pieza por padecer peligrosamente sus condiciones de resistencia. Claro está que de haber sido objeto previamente dicha pieza de un reconocimiento adecuado, se habría economizado un trabajo y gasto inútiles.

En toda construcción metálica, como puentes, grúas, hangares, castilletes de mina, etc., más aún con las tendencias modernas de aplicación de la soldadura eléctrica, es condición necesaria no solo el ensayo previo de los materiales utilizados para cerciorarse de que reúnen las características adecuadas, sino también el examen cuidadoso de aquellas uniones y de aquellas partes de la construcción sometidas a esfuerzos principales y de cuya correcta realización depende la seguridad del conjunto.

El desarrollo e importancia que actualmente han adquirido las construcciones aeronáuticas, navales, automovilísticas, etc., en las cuales son utilizados órganos de máquinas sometidos a velocidades inverosímiles y a unos esfuerzos no solo extraordinariamente elevados sino de naturaleza delicada y compleja, requiere esencialmente un reconocimiento profundo de toda clase de elementos en las diversas fases de la construcción para evitar que cualquier defecto sea origen de un fracaso o de una catástrofe.

Las empresas ferroviarias dedican gran atención al reconocimiento previo y minucioso de los ejes de los coches y vagones para localizar posibles grietas que hagan peligrosa la seguridad de los vehículos y den lugar a accidentes.

2. Métodos que hasta la fecha se utilizan

Se dividen en dos grupos. El primero consiste en sacar probetas de los materiales para someterlas a los clásicos ensayos mecánicos de tracción, flexión, torsión, plegado, etc., etc. Tiene el inconveniente de que precisa la destrucción de la materia, aparte de

que sus resultados tienen solo interés relativo ya que no permiten juzgar sobre la existencia de defectos internos en las piezas, limitándose únicamente su misión a orientar sobre la calidad de los materiales utilizados.

Al segundo grupo pertenecen los llamados métodos «no destructivos» y son:

- a) La magnetoscopia
- b) Los Rayos X

La denominación de métodos *no destructivos* se funda en que con ellos puede examinarse una pieza o elemento determinado para conocer su estado o determinadas particularidades, sin que experimente por ello modificación de ninguna clase en sus propiedades o características, es decir, que las piezas no resulten inservibles después del ensayo.

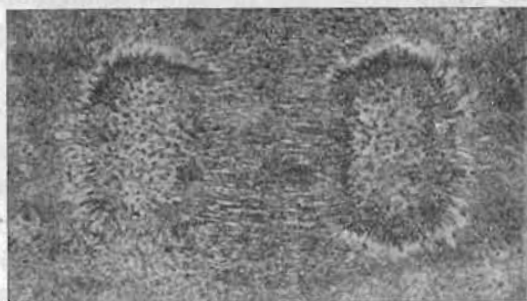
a) El método de control magnético se funda en el hecho siguiente: Si la pieza objeto del examen la situamos en un campo magnético suficientemente intenso, las líneas de fuerza que lo atraviesan son rectas. Pero si encuentran un defecto, la sección de paso disminuye y se provocan unas desviaciones del flujo magnético, concentrándose las líneas de fuerza en los contornos del obstáculo, en forma análoga a lo que sucede cuando un objeto perturba el curso tranquilo de una corriente de agua.

Para hacer visibles las citadas alteraciones del flujo magnético y por lo tanto acusar la presencia de defectos, se vierte sobre la superficie de la pieza que se ensaya polvo metálico, bien en seco o más usualmente en emulsión en petróleo, aceite, etc. (licor magnético). Las limaduras o polvos se sitúan y orientan sobre el trayecto de las líneas de fuerza formándose el llamado *espectro magnético* que acusa claramente la presencia de los defectos como si se tratara de una verdadera fotografía.

Se emplea este método principalmente para la detección de defectos superficiales o poco profundos. (Véase figura 1).

b) El método radiográfico es de sobra conocido puesto que

no se diferencia en nada del aplicado en medicina. Los diversos defectos que puedan existir en el interior de una pieza tales como porosidades, oclusiones gaseosas, inclusiones de escorias, segregaciones, hojas, etc., etc., alteran la permeabilidad uniforme propia



(Fig. 1)

de los materiales homogéneos y sanos al paso de los rayos X, acusándose en la placa fotográfica por su mayor o menor grado de impresión.

El método es muy bueno y práctico. Solo tiene como inconveniente el elevado costo de los aparatos, si bien en estos últimos tiempos ya se ofrecen en el mercado modelos relativamente económicos y fácilmente transportables. (Véase figura 2)

3. El empleo del sonido

Además de los métodos antes citados «no destructivos» para el examen de los defectos interiores de los materiales metálicos y de las costuras soldadas, se halla puesto de moda actualmente, otro muy interesante que tiene por fundamento el sonido.

En realidad esto de emplear el sonido para reconocer el estado de los cuerpos ya es muy viejo, pues todos lo han practicado sin duda con las monedas de plata o con los çacharos de barro para comprobar si existían hojas o fisuras, que inmediatamente se acusaban obteniéndose ese sonido característico de las cosas «ra-

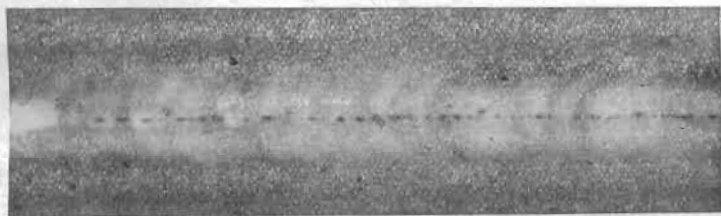
jadas». Igualmente, no hay ama de casa que no haya recreado sus oídos, con esos sonidos tan puros y hermosos que, previa una percusión, para provocar las vibraciones, emiten las buenas vajillas de porcelana checoeslovaca o los finos juegos de cristalería.

Aún hoy, en las estaciones de ferrocarril, a la llegada de los trenes de viajeros que traen largo recorrido, un empleado va golpeando con un martillo las ruedas de los coches para deducir por el sonido obtenido, si los ejes presentan alguna anomalía que aconseje sustituirlos antes de proseguir viaje.

Claro está que las observaciones que se acaban de citar y otras análogas, son de un tipo rudimentario y no proporcionan sino indicaciones cualitativas o de orientación pero sin que puedan precisar nada sobre la localización y extensión de las faltas.

Otro caso muy curioso es el de los murciélagos.

Estos mamíferos vuelan en plena oscuridad. Y no tropiezan jamás con ningún obstáculo, pues unos centímetros antes de encontrarlo cambian la dirección del vuelo. Ello es debido, según se ha podido comprobar, a que tales mamíferos emiten varios sonidos, algunos de ellos de elevadísima frecuencia, hasta 50.000 ciclos por segundo. No lo hacen en forma continua sino con ciertos inter-



(Fig. 2)

valos. Las ondas son reflejadas por la superficie del obstáculo y los recibe por sus orejas que le orientan sobre la distancia y la dirección de la superficie reflejante.

He aquí que el aparato auditivo de estos animalitos, posee ni más ni menos que lo esencial de los aparatos que durante la últi-

ma guerra, con tanto éxito han sido empleados por los aliados, para el reconocimiento de los aviones enemigos y para hacer sondeos en el fondo del mar.

En esencia, se trata de emitir un sonido, reflejarlo sobre un obstáculo, captar la onda reflejada, o sea el eco, medir el tiempo que tarda en recibirse y deducir la distancia a que se halla dicho obstáculo.

El propio Radar de que tanto hemos oído hablar en los tiempos de guerra y a cuyo invento se le atribuye el papel decisivo en el fracaso del Arma submarina alemana, se funda en igual principio si bien empleando ondas electromagnéticas en lugar de ultrasonoras.

4. El Radar

No hay nadie que no haya oído hablar de este instrumento maravilloso, utilizado en la última guerra por los aliados con extraordinario éxito.

El principio fundamental del Radar data ya de muy antiguo, cuando Hertz en 1885 comprobó que las ondas electromagnéticas (las ondas hertzianas) pueden ser reflejadas y refractadas lo mismo que las ondas luminosas.

Una instalación de Radar consiste esencialmente de:

1. Un aparato que emite una cantidad de energía radioeléctrica.

El oscilógrafo emite un número de pulsaciones de cierta frecuencia, variables según las distancias a cubrir.

Una antena directiva con reflector que concentra la energía radiada en un haz dirigido hacia el presunto blanco.

2. El blanco refleja parte de esta energía y la devuelve a un receptor de suficiente sensibilidad.

3. El receptor, dispuesto con unas antenas receptoras a corta distancia de las antenas emisoras, y en los últimos modelos llega a utilizar las mismas para ambos fines.

4. Esta energía reflejada por el blanco (eco) y captada por el receptor es convenientemente ampliada y se acusa mediante un oscilógrafo catódico, sobre cuya pantalla fluorescente aparecen las pulsaciones recibidas, y se puede medir el tiempo que tardan las ondas en ir y volver, o lo que es igual la distancia a que se encuentra el blanco, así como también los ángulos en los planos horizontal y vertical.

Como una prueba de la perfección a que ha llegado este invento, la prensa diaria recogió la noticia de que el año pasado se logró obtener ecos de la luna, por el cuerpo de transmisiones del Ejército de Estados Unidos. Todos los experimentos, que se desarrollaron con pleno éxito, fueron efectuados cuando la luna se encontraba en el horizonte.

El tiempo necesario para recibir el eco de un impulso enviado a la luna fué de 2,56 segundos.

Posteriormente se han venido haciendo ensayos para determinar la distancia entre la Tierra y otros planetas, cosa que no cabe duda llegará a lograrse, lo que significará un prestigioso adelanto en las investigaciones y cálculos astronómicos.

5. Detector Supersónico

En principios idénticos se funda este moderno método para reconocer las faltas interiores de los materiales metálicos.

Un tren de ondas es emitido por el aparato emisor a través de la pieza que se desea probar.

Estas ondas son reflejadas por un defecto eventual, una grieta, una cavidad, etc., y captadas por el receptor que las transforma en vibraciones eléctricas, lo cual se puede leer en un dispositivo adecuado.

Antes de que pasemos a ocuparnos con más detalle de estos aparatos convendrá detenernos unos instantes para refrescar algunos conceptos generales sobre el sonido.

6. Ondas supersónicas o ultrasónicas

¿Quién de nosotros no ha arrojado una piedra a un estanque y observó como sobre la tranquila supercicie de las aguas se formaban una serie de ondas circulares concéntricas que se propagaban en todas direcciones?. Estas ondas, que poco a poco se iban amortiguando, se producen por la desnivelación de una parte de la superficie y se llaman ondas de gravedad.

En el aire el fenómeno es idéntico al trasmitirse un sonido, con la diferencia de que las ondas acústicas tienen la forma de esferas y se llaman *ondas de presión*. Son vibraciones físicas o pulsaciones, con incrementos o disminuciones alternas en la presión, llamada «presión de radiación» que ejercen sobre los obstáculos encontrados y van acompañados de la producción de cierta cantidad de energía, proporcional, entre otras cosas, a la densidad del medio en que se propaga.

Según sea la frecuencia o el número de ciclos por segundo, así resultarán tres zonas distintas.

Frecuencia. El oído humano solo puede percibir sonidos de frecuencias comprendidas entre 16 a 20 períodos por segundo y 16 a 20.000. Esta es la zona llamada audible.

Por bajo de 16 períodos por segundo, las vibraciones del aire no son percibidas, cualquiera que sea su intensidad. Es la *zona de los infrasonidos*.

Para frecuencias mayores de 20.000 por segundo, tampoco es posible la percepción, y entramos en el dominio de los *ultrasonidos* o *supersonidos*, que por no ser audibles, se les domina paradójicamente *sonidos silenciosos*.

El límite de la audición está fijado por la frecuencia con independencia de la intensidad del sonido. Esta se mide en decibeles y tiene como límites *cero* y *120* (que resulta ya penoso al oído). Por lo tanto, puede un sonido ser muy ruidoso, y sin embargo, no es posible oírlo, a menos que se halle comprendido en la escala de frecuencias de audición.

Longitud de onda. La longitud de onda de una vibración varía, de de una parte, con la naturaleza del medio de propagación, y de la otra con la frecuencia del sonido.

Para los ultrasonidos, y en el aire, la longitud de onda se extiende desde

$$1,6 \text{ cm. } \text{á} \text{ } 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm.}$$

En el caso del acero, la propagación se hace a una velocidad 15 veces mayor que en el aire, y 3 veces mayor que en el agua. Las longitudes de onda son entonces:

Para 20.000 por segundo — 5,1 mm.

Para 5.108 por segundo—0,01 mm.

Velocidad de propagación. Los ultrasonidos se progagan a velocidades diferentes en medios diferentes. Mal en los gases, regular en los líquidos y bien en los sólidos. A diferencia de los rayos, no se propagan en el vacío.

En un medio homogéneo, y al igual que sucede con los sonidos audibles, los ultrasonidos se progagan en línea recta y con una velocidad, que depende del módulo de elasticidad E y de la masa específica P del cuerpo, pudiéndose escribir en el caso general:

$$\text{Velocidad de propagación} = \sqrt{\frac{E}{P}}$$

Aire.....	...	331,7	mm.	por	segundo
Agua.....	1.470	»	»	»	
Hierro.....	5.170	»	»	»	
Aluminio.....	5.040	»	»	»	
Cobre.....	3.710	»	»	»	

Cuando las ondas supersónicas atraviesan la superficie de separación de dos medios de características acústicas diferentes, tienen lugar los fenómenos clásicos de la reflexión, refracción y transmisión entre los haces de ondas, debiendo tenerse presente la dificultad con que se transmite en el aire, al contrario que en los metales; por lo tanto, al pasar de unos medios a otros, el aire ejerce

una acción de frenado de extraordinario interés para las aplicaciones que estudiamos.

Pueden tener lugar además, fenómenos de difracción, si el medio de propagación contiene en su seno discontinuidades cuyas dimensiones, transversales al haz supersónico, sean del orden de la longitud de las ondas que se propagan.

Estas propiedades son fundamentales para el control de defectos en los materiales metálicos, por medio de los supersonidos, diferenciándose de los rayos X en que éstos no son ni reflejados ni refractados por las superficies de separación de los medios sólido y líquido.

Para que las ondas ultrasónicas atraviesen las piezas, en línea recta, con todas las propiedades antes mencionadas, es preciso disponer de una frecuencia suficientemente elevada (2.10^5 periodos por segundo a 5.10^8) y que la longitud de onda sea corta (0,01 mm. a 5,1 mm.) en relación con los defectos que habitualmente se investigan en las piezas ya que, si estas longitudes sobrepasan mucho las dimensiones de los citados defectos no se reflejarían.

Con los métodos y medios, modernos no hay dificultad alguna en producir esta clase de ondas en las características adecuadas para la investigación industrial, realizándose los haces supersónicos dirigidos, con potencias relativamente grandes, a base de aparatos poco costosos y nada complicados.

7. Produccion de los supersonidos

Ya hemos visto anteriormente en que consisten, y vamos ahora a examinar muy sucintamente el mecanismo de su producción y captación.

En los primeros tiempos, ya se consiguió alcanzar 170.000 periodos de frecuencia con el auxilio de silbatos de aire comprimido.

Más tarde, utilizando el efecto de descarga de un condensador, se pudo llegar a la frecuencia de 350.000 periodos.

Actualmente, también se emplea un generador de ultrasonidos

del tipo de sirena, que es precisamente una sirena a gran velocidad, movida por una turbina de aire.

No obstante, los dos métodos más empleados modernamente son los siguientes:

a) *Oscilador de cuarzo*. Es el más corriente. Utiliza el conocido principio piezo-eléctrico del cuarzo. Este mineral cristaliza, como es bien sabido, en trapezoedros.

El eje que pasa por los vértices de las dos pirámides del cristal de cuarzo es el eje óptico del cristal.

La sección perpendicular a este eje tiene la forma de un exágono cuyos tres ejes de simetría (ejes que pasan por dos vértices opuestos) constituyen los ejes eléctricos del cristal. Si se ejerce una presión sobre dos de las caras de una de estas láminas de cuarzo, en la dirección de un eje eléctrico, se crean en las mismas dos densidades eléctricas iguales y de signo contrario, es decir, se da origen a una cierta diferencia de potencial, con cargas positivas en una cara y negativas en la opuesta.

Tenemos ya, pues, el medio de transformar *oscilaciones del tipo elástico en oscilaciones eléctricas*.

Es complemento magnífico el fenómeno inverso, pues se verifica que cuando aplicamos una diferencia de potencial alternativa a la lámina de cuarzo en los extremos del eje eléctrico, ésta se dilata o contrae, es decir, vibra sincrónicamente con las alternancias de la tensión eléctrica aplicada.

Resulta por lo tanto que las *oscilaciones eléctricas son transformadas en oscilaciones elásticas*, o vibratorias, las cuales dan lugar a la producción de ondas sonoras.

Estos son los principios fundamentales. Los demás detalles se encarga la moderna técnica radioeléctrica de realizarlos de forma que se puedan detectar y amplificar convenientemente toda clase de indicaciones, así como obtener supersonidos de las más altas frecuencias.

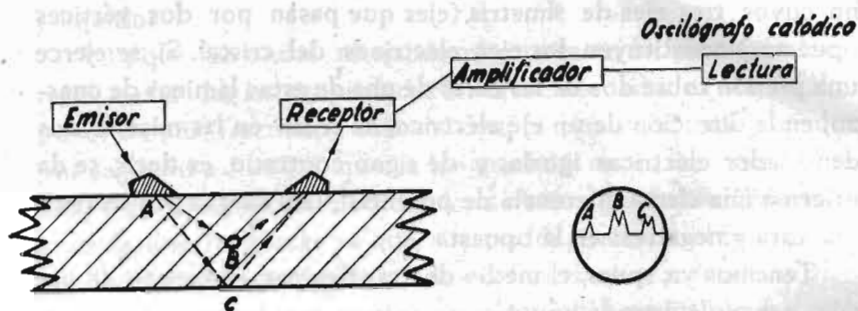
b) *Principio de la magneto-estricción*. — Estos aparatos están constituidos por una barra de níquel sometida a la acción de un cam-



po magnético longitudinal. La dimensión de dicha barra variará con la intensidad del campo magnético. Haciendo variar ésta, se variará la magnitud de las contracciones o dilataciones del niquel. De igual manera que en el caso de cuarzo, este fenómeno también es reversible.

9. Realización práctica del Detector Supersónico

Los aparatos utilizados actualmente responden al esquema siguientes:



Esquema de un Detector Supersónico

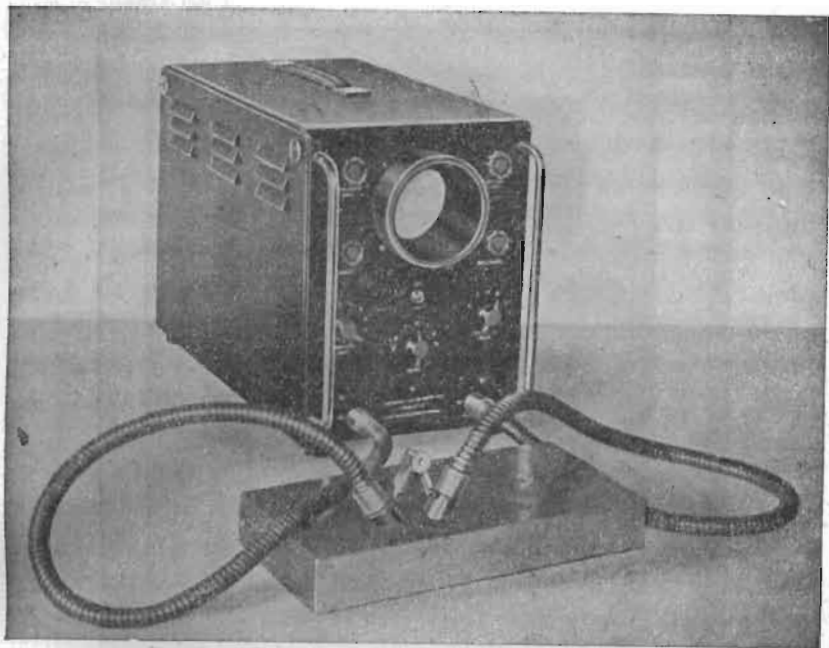
(Fig. 3)

Es decir, que esencialmente se compone de:

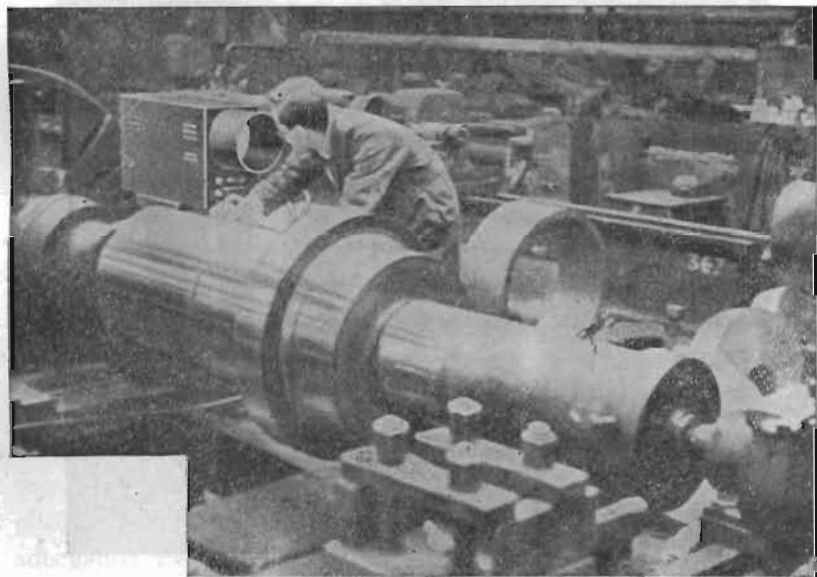
- Un sistema emisor de sonidos ultrasónicos.
- Un sistema receptor.
- Aparatos de amplificación y lectura.

Las figuras 4—5—6—7 y 8 dan perfecta idea de algunos tipos diferentes y de su forma de aplicación práctica a los ensayos.

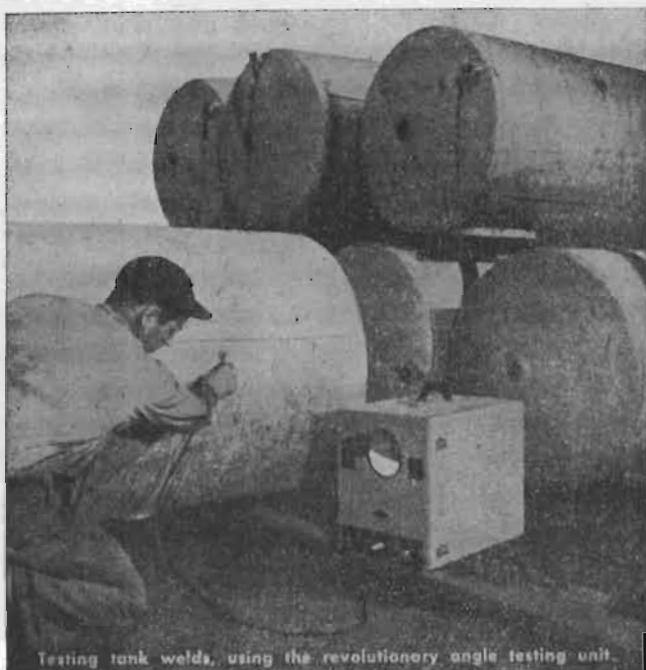
Las dos partes fundamentales del aparato la constituyen las sondas emisora y receptora, que deben ponerse en contacto con la superficie de la pieza a explorar. En ambas, va dispuesto convenientemente el cristal de cuarzo y el contacto se hace (tipo belga figura 9), mediante unas membranas elásticas de caucho



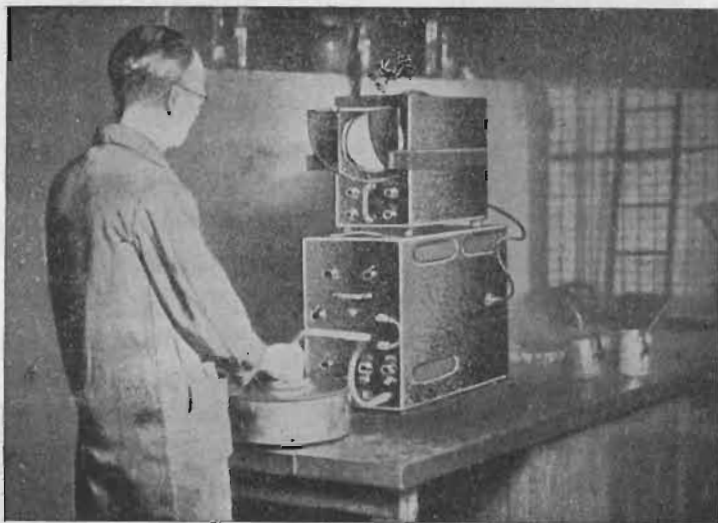
(Fig. 4)



(Fig. 5)

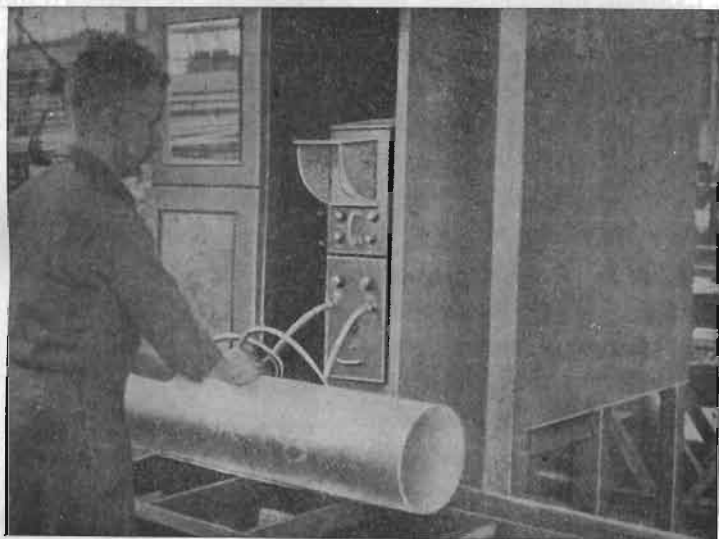


(Fig. 6)



(Fig. 7)

llenas de un líquido que permite transmitir íntegramente las vibraciones o sea los ultrasonidos, y además se pueden adaptar perfectamente a las irregularidades de la superficie bruta de las piezas. Naturalmente, cuando las superficies se hallen mecanizadas o no presenten grandes rigurosidades, siempre resultará más perfecto el contacto y la transmisión de los sonidos.



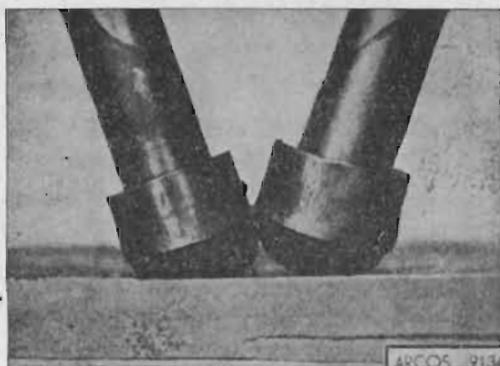
(Fig. 8)

En el sistema emisor, el cristal de cuarzo, obligado por las oscilaciones electromagnéticas de un oscilador electrónico de alta frecuencia, vibra y emite un haz de ultrasonidos. Estos atraviesan el sólido y reflejándose en la cara opuesta en contacto con el aire, vuelven hacia el lugar donde fueron emitidos y son captados por el cristal de cuarzo de la sonda receptora, el cual puesto en vibración, da lugar a impulsaciones eléctricas en virtud del efecto inverso que ya hemos explicado. Esta energía convenientemente ampliada (unas 100.000 veces) se registra en dispositivos eléctricos adecuados, siendo el más usual el oscilógrafo de rayos catódicos



en cuya pantalla fluorescente se proyecta luminosamente el eco correspondiente, en forma de un pico.

Si en el recorrido del haz ultrasónico, por el interior de la pieza, encuentra una discontinuidad, tal como una grieta, un poro, etc., tiene lugar una reflexión secundaria sobre la superficie de separación materia-defecto y en la pantalla se registrará un segundo pico. Es decir, que lo que se hace es detectar un eco correspon-



(Fig. 9)

diente a la cara terminal de la pieza, y si otro eco se produce, además, es que hay defecto en la masa.

Sobre la pantalla fluorescente, una escala de tiempos aproximadamente proporcionales a las distancias atravesadas, permite deducir la profundidad de los defectos.

No se precisa emitir un tren continuo de ondas supersónicas porque con ello resultaría una gran complejidad entre las diversas reflexiones. Se emplea un sistema de pulsaciones de corta duración, de tal forma, que cada tren tenga una longitud menor que el intervalo entre las dos superficies del objeto.

Generalmente, la posición de las sondas debe ser inclinada para que las ondas entren oblicuamente y atraviesen el cristal receptor.

En los aparatos usuales actualmente, los dos cristales de cuarzo, que son idénticos, tienen un diámetro de dos cm. y espesor de

un milímetro que corresponde a una frecuencia de vibración natural de 2,5 megaciclos.

La resistencia mecánica de estas delgadas hojas de cuarzo se espera poderla superar a base de cristales sintéticos, que según pa-



(Fig. 10)

rece tienen más resistencia, y con ello se conseguirá elevar la frecuencia, lo cual servirá para que el método gane en sensibilidad y exactitud, ya que cuanto más alta es la frecuencia mejor se asegura la propagación rectilínea del haz supersónico en la masa metálica.

Una modalidad interesante de estos detectores supersónicos, que ha sido desarrollada en la Universidad de Michigán, es el Reflectoscopio de Firestone (figuras 10 y 11) bastante usado en América.

Se diferencia esencialmente de los otros en que no tiene más que una sonda con un solo cristal de cuarzo, que actúa a la vez de emisor y receptor.

Las pulsaciones de ondas ultrasónicas son de pocos segundos



de duración, y entre los períodos de transmisión, el mismo cristal hace de receptor recibiendo las ondas a medida que van siendo reflejadas y sin que los trenes de onda incidentes interfieran con los reflejados. La energía vibratoria desarrollada por el choque de éstos con el cristal de cuarzo, se transforma, como siempre, en la consabida corriente de electrones que siguen a los aparatos amplificadores y al oscilógrafo catódico para su lectura.

Trabajo por transparencia. También se puede realizar las exploraciones de las piezas, en los casos en que así más convenga, por el método llamado de «transparencia». La colocación de las sondas es



(Fig. 11)

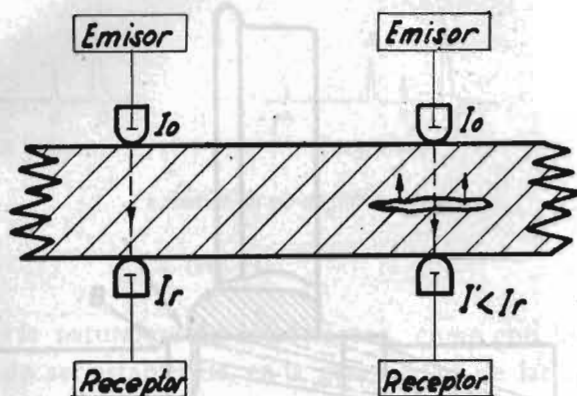
como indica la figura 12; es decir, el emisor y el receptor, uno enfrente del otro, a cada lado de la pieza.

Lo que se mide entonces es la variación de la intensidad sonora transmitida, por comparación con un ensayo previo en una zona homogénea.

Si lo que se examina es una chapa por ejemplo, y esta contiene

en alguna zona «hojas», la intensidad transmitida necesariamente será menor que en el caso normal, a causa de la resistencia que supone el defecto, en cuyas superficies es reflejada y devuelta una fracción de la energía. El procedimiento es naturalmente de comparación y no como medidor absoluto de la transparencia ultrasonora.

En esta clase de ensayos por «transparencia», las indicaciones procedentes de la sonda receptora, o sea la observación de los de-



Exámen por transparencia

(Fig. 12)

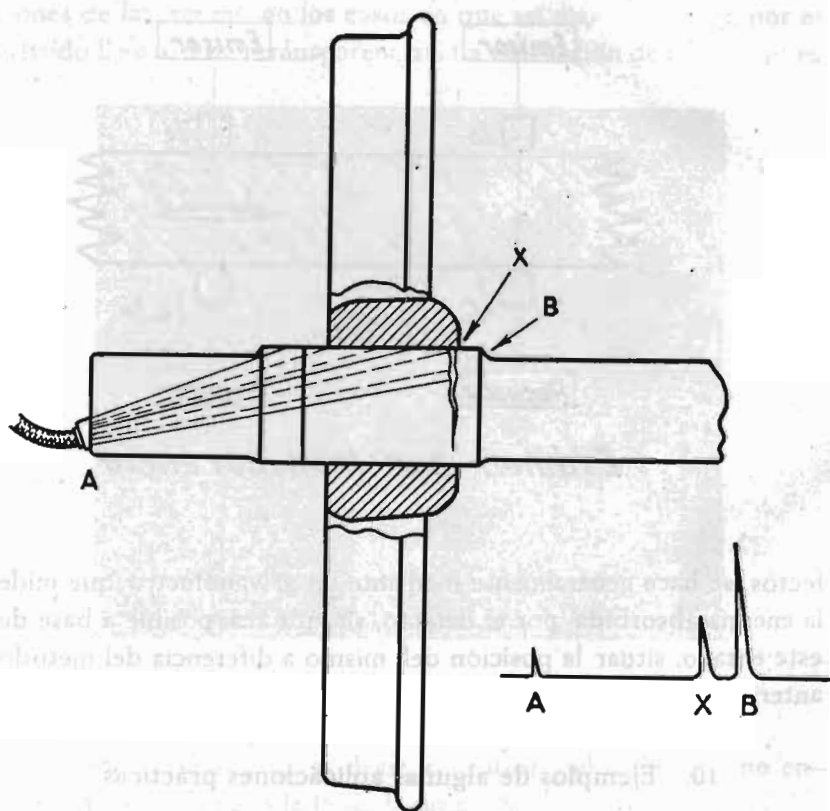
fectos, se hace generalmente mediante un galvanómetro que mide la energía absorbida por el defecto, sin que sea posible a base de este ensayo, situar la posición del mismo a diferencia del método anterior.

10. Ejemplos de algunas aplicaciones prácticas

El método supersónico se presta bien al examen de grandes y pequeños defectos, siendo de notar la gran ventaja sobre los Rayos X al poder detectar faltas en espesores hasta 10 metros, o sea que no existe límite práctico.

Los aparatos actuales son todos portátiles y todas las observaciones se hacen a plena luz e inmediatamente, con solo variar las sondas, como hacen los médicos para auscultar a un enfermo cuando emplean los fonendoscopios.

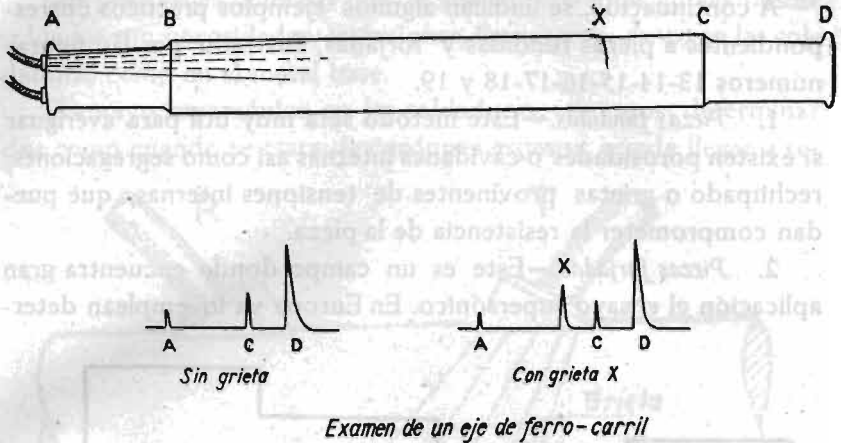
Es de notar como detalle muy importante que el costo de uno de estos aparatos no llega a la cuarta parte de uno de Rayos X de tipo mediano, siendo el consumo de energía y gastos prácticamente nulos.



*Examen de un eje de ferro-carril
Grieta en X*

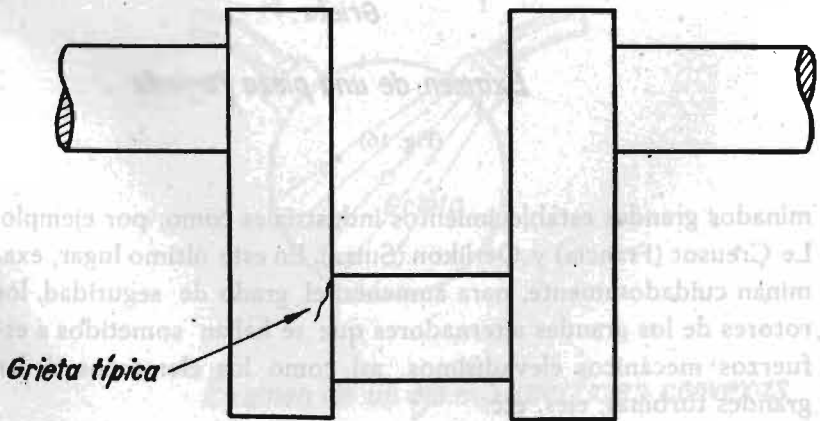
(Fig. 13)

Un observador experimentado podrá en la mayor parte de los casos distinguir, según la pantalla luminosa, el tipo de defecto y su



(Fig. 14)

extensión, pues la naturaleza de los defectos, como con los Rayos X, ha podido ser establecida, en la generalidad de las aplica-



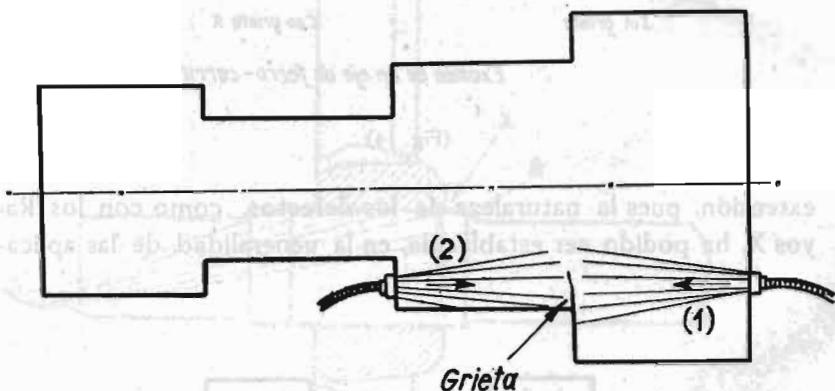
(Fig. 15)

ciones, gracias a los exámenes posteriores radiográficos o magnéticos.

A continuación, se indican algunos ejemplos prácticos correspondientes a piezas fundidas y forjadas, ilustrado por las figuras números 13-14-15-16-17-18 y 19.

1. *Piezas fundidas*.—Este método será muy útil para averiguar si existen porosidades o cavidades internas así como segregaciones, rechupado o grietas provenientes de tensiones internas, que puedan comprometer la resistencia de la pieza.

2. *Piezas forjadas*.—Este es un campo donde encuentra gran aplicación el ensayo supersónico. En Europa ya lo emplean deter-



Examen de una pieza forjada

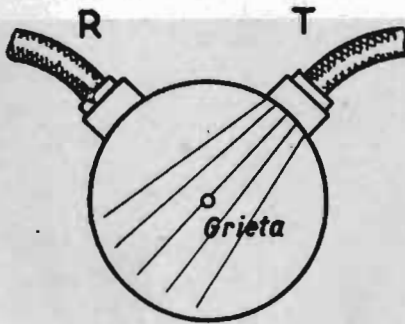
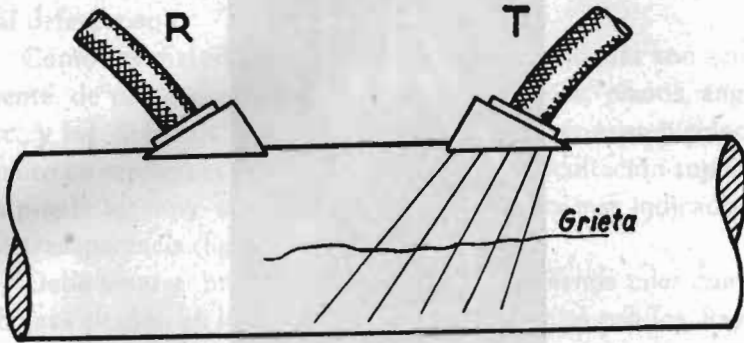
(Fig. 16)

minados grandes establecimientos industriales como, por ejemplo, Le Creusot (Francia) y Oerlikon (Suiza). En este último lugar, examinan cuidadosamente, para aumentar el grado de seguridad, los rotores de los grandes alternadores que se hallan sometidos a esfuerzos mecánicos elevadísimos, así como los elementos de las grandes turbinas, ejes, etc.

10. Aplicaciones al examen de soldaduras

Los principales defectos que se suelen presentar en las piezas soldadas son porosidades, inclusiones, fisuras, etc., tanto en las soldaduras como en el metal base.

El ensayo supersónico en las soldaduras, en casos determinados como cuando se trata de cordones gruesos, puede llegar a se-

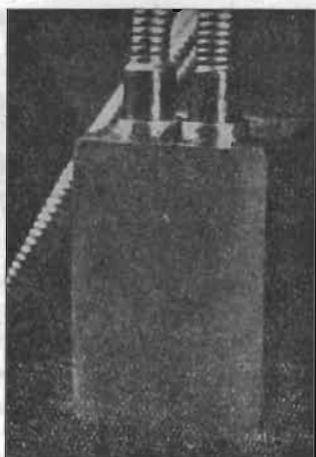


Examen de un eje - Superficies convexas

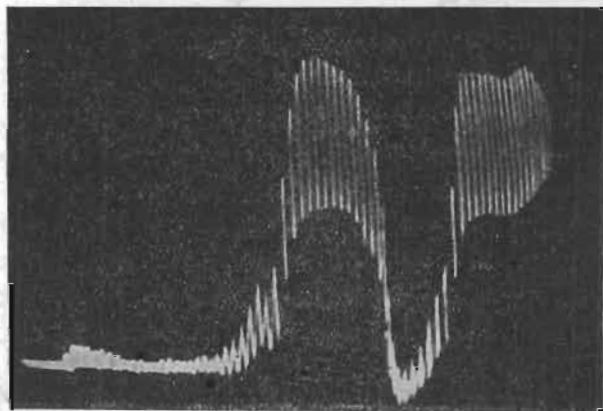
(Fig. 17)

más ventajoso que la radiografía, pues se ha logrado diferenciar perfectamente una soldadura correcta de aquella que presente inclusiones gaseosas, de escorias, grietas, etc.

Estos aparatos se prestan ventajosa y cómodamente a examinar los materiales antes de ejecutar las soldaduras, cosa que tiene gran



(Fig. 18)



(Fig. 19)

importancia para evitar trabajos y gastos inútiles al operar con materiales defectuosos, que además podrían comprometer la seguridad de la construcción.

En el caso de cortes de materiales con el soplete oxiacetilénico, es sabido que resulta particularmente difícil cuando existen «hojas» y entonces puede hacerse el trabajo con seguridad auscultando previamente con el detector supersónico y seleccionado el material defectuoso.

Como los materiales empleados en obras soldadas son generalmente de poco espesor, pues suelen ser chapas, planos, ángulos, etc., y los defectos (sobre todo en las chapas) consisten principalmente en repliegues u hojas, el método de auscultación supersónica puede ser muy útil, y el sistema que resulta más indicado es el de transparencia (figura 12).

Debe tenerse presente que los defectos planos tales como las «hojas» citadas, en las chapas, no son detectables con los Rayos X ni con la magnetoscopia. En cambio, con el aparato supersónico, son los defectos que mejor se acusan.

En las figuras 20-21-22 y 23 se representan cuatro macrografías donde se comprueban perfectamente los defectos que acusó el ensayo con el detector supersónico.

* * *

Indudablemente se puede afirmar que con el detector supersónico nos hallamos en posesión de un moderno método de control de piezas, sin destrucción alguna de materiales, que habrá de rendir muy positivos servicios a la industria.

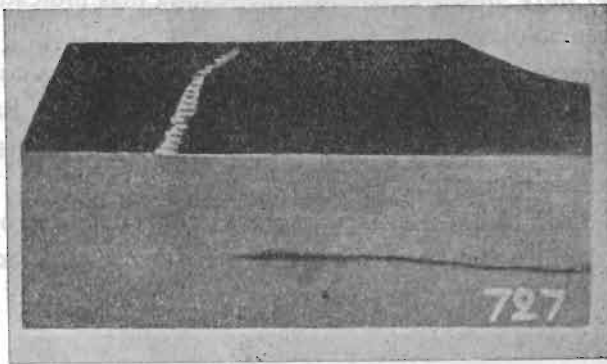
Naturalmente, como en todos los procedimientos nuevos, es imprescindible un cierto período de perfeccionamiento, a medida que vaya generalizándose su empleo y la técnica consiga penetrar aún más a fondo en todos sus detalles.

Pero lo principal ya está logrado, y es de esperar que muy pronto este método de ensayo y control sea de uso familiar en todas las industrias de regular importancia.

SEGUNDA PARTE

OTRAS IMPORTANTES APLICACIONES DE LAS ONDAS SUPERSONICAS

Hemos visto anteriormente la importancia que tiene para la moderna industria contar con un procedimiento de control tan interesante. Y sin embargo, casi nos atrevemos a confirmar que aún supera en importancia el vasto campo de aplicaciones que, en otro orden, tiene este moderno sistema de producir sonidos de alta frecuencia, como podremos ver por algunos de los casos que a continuación vamos a exponer, todos ellos muy sugestivos y de gran valor científico y práctico.



(Fig. 20)

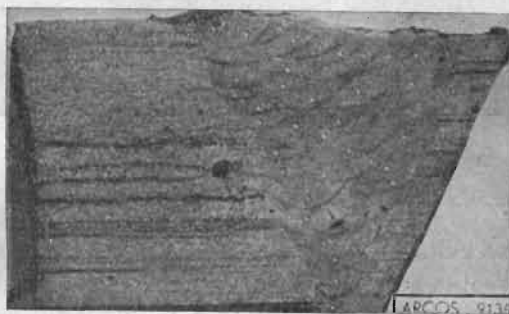
A. Depuración de gases y humos industriales

Para la eliminación de las partículas que arrastran en suspensión los gases de los hornos industriales, hasta la fecha se vienen empleando los scrubbers, filtros, etc., combinados con cambios bruscos en la dirección y sección de las tuberías colectoras, para originar pérdidas de velocidad que provoquen la decantación de las partículas en los ciclones o depósitos dispuestos al efecto.

También en ciertos casos se emplean para la eliminación de las

citadas impurezas, como en los gases de hornos altos, sistemas de precipitación electrostática (Lurgi, Cottrell).

Modernamente, también se aplican a este fin las ondas supersónicas. Aplicando el oscilador en un punto conveniente de la con-



(Fig. 21)

ducción de gases, las partículas en suspensión, extraordinariamente pequeñas, tienden a seguir las vibraciones del sonido, agitándose y provocándose choques y adherencia, que originan la formación de grupos que, por su mayor dimensión y peso, dan lugar a la decantación en ciclones.

La mayor o menor velocidad con que los corpúsculos se «enruesan» y sedimentan depende de la frecuencia de las ondas supersónicas.

En la fabricación del negro humo, encuentra una magnífica aplicación este procedimiento, y posiblemente será empleado pronto en la clarificación de las aguas de lavado en los lavaderos de carbón, para acelerar la sedimentación de los Schlamms y devolver las aguas limpias a los ríos.

B. Detartraje (desincrustaciones) de calderas

En muchas industrias, generalmente suizas, se utiliza el aparato PYROR que no es sino un emisor de ondas supersónicas aplicadas

a impedir la formación de las costras calcáreas (incrustaciones en las calderas de vapor, depósitos o canalizaciones de agua caliente o fría, etc. haciendo que se depositen los lodos en las partes inferiores de donde pueden ser fácilmente evacuados por purga de agua.

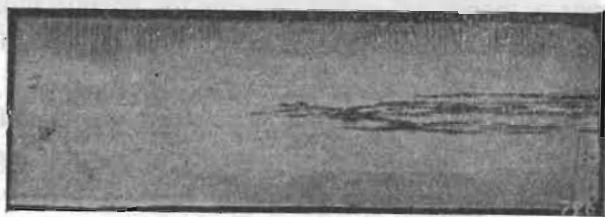


(Fig. 22)

Con ello se evita el trabajo costoso y fatigoso que representa la limpieza periódica de las paredes y tubos de las calderas, recubiertas de una espesa y pétreo capa de sedimento que impide la transmisión del calor y puede dar lugar a graves accidentes. (Figura 24).

C. Fábricas de papel

Aplicadas las ondas supersónicas a una formación más perfecta de las láminas por vibración de la pulpa, se consigue acelerar el



(Fig. 23)

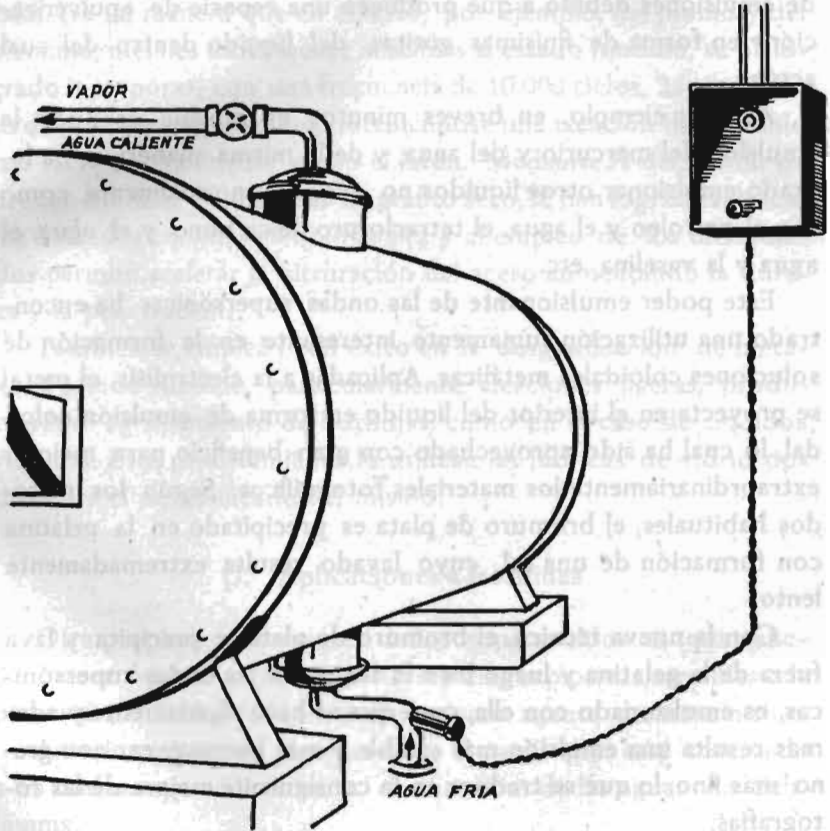
drenaje del agua, y la formación de las láminas resulta más homogénea y más fácilmente regulable.

En las fábricas de jabón en polvo, facilita grandemente el secado de las partículas, sometidas a la vibración supersonica, que se hallan expuestas a mayor contacto con el aire.

D. Aplicaciones a la agricultura

Hace muy poco y por el Jefe de investigaciones de una importante empresa de Nueva Jersey, se ha publicado una memoria conteniendo interesantísimas novedades sobre la aplicación de los ultrasonidos en experiencias agrícolas que han efectuado.

Según dicho técnico, las vibraciones supersónicas catalizan po-



Détartrage por ultrasonidos

(Fig. 24)

sitivamente la germinación de ciertas semillas, e influyen sobre sus caracteres, de forma que se presta a la obtención de ciertas variedades en los caracteres de las mismas.

E. Poder emulsio nante

Las ondas supersónicas favorecen enérgicamente la formación de emulsiones debido a que producen una especie de «pulverización» en forma de finísimas gotitas, del líquido dentro del cual actúan.

Así, por ejemplo, en breves minutos es posible producir la emulsión del mercurio y del agua, y de la misma manera se ha logrado emulsionar otros líquidos no miscibles normalmente, como son el petróleo y el agua, el tetracloruro de carbono y el agua, el agua y la vaselina, etc.

Este poder emulsionante de las ondas supersónicas ha encontrado una utilización sumamente interesante en la formación de soluciones coloidales metálicas. Aplicadas a la electrolisis, el metal se proyecta en el interior del líquido en forma de emulsión coloidal, lo cual ha sido aprovechado con gran beneficio para mejorar extraordinariamente los materiales fotográficos. Según los métodos habituales, el bromuro de plata es precipitado en la gelatina con formación de una sal, cuyo lavado resulta extremadamente lento.

Con la nueva técnica, el bromuro de plata se precipita y lava fuera de la gelatina y luego bajo la acción de las ondas supersónicas, es emulsionado con ella, cosa que se hace rápidamente y además resulta una emulsión más estable y más homogénea, con grano más fino; lo que se traduce en la consiguiente mejora de las fotografías.

F. Aplicaciones metalúrgicas

Bajo la acción de las ondas supersónicas tienen lugar diversos fenómenos de aplicaciones muy interesantes y prácticas. Numero-

Las reacciones químicas se producen con mayor rapidez, y diversos estados de equilibrio inestables son fácilmente destruidos, tales como sobrefusiones, sobresaturaciones, etc. Estas propiedades son utilizadas ventajosamente en muchos casos.

Cuando una aleación, en estado de fusión, se somete a la acción de las ondas supersónicas durante el período de solidificación, se facilita extraordinariamente la mezcla o unión íntima de los metales. De tal manera que en el caso, por ejemplo, del plomo y del aluminio, metales difícilmente miscibles al estado fundido, se ha logrado incorporar, con una frecuencia de 10.000 ciclos, 25 por ciento de plomo en el aluminio, obteniéndose una aleación de aluminio tan fácil de mecanizar como el latón. Mediante la dispersión de bronce fundido en una masa de grafito seco, se han logrado fabricar los llamados *cojinetes anti-agarrotantes*, y el empleo de los ultrasonidos permite acelerar la nitruración del acero aumentando la dureza y la penetración.

También se emplean con éxito en la desgasificación de metales al estado fundido, particularmente aleaciones ligeras, produciéndose agrupamiento de burbujas, como en el caso de líquidos viscosos. Este procedimiento lo utilizan las fábricas de vidrio óptico para el desgasificado del mismo.

G. Aplicaciones a las minas

Otra propiedad interesante de los supersonidos es que pueden hacer detonar a distancia sustancias explosivas sensibles a la percusión, utilizando algún líquido como agente de transmisión.

Anteriormente, ya hemos citado el papel que está reservado a las ondas supersónicas en la clarificación de las aguas de Schlamms.

H. Aplicaciones biológicas

Emitiendo un haz ultrasonoro sobre un cubo de agua, si se introduce la mano produce un dolor vivo. Si la intensidad de la vi-

bración es fuerte, los peces mueren dentro de dicha agua.

Para la esterilización de la leche son también utilizables los ultrasonidos, pues permiten reducir la densidad bacteriológica en un 95 por ciento, sin elevación de temperatura, y con un aparatito de 100 W. se logra esterilizarla a razón de 100 litros minuto.

Igualmente encuentran aplicación para la práctica de masajes en los casos de neuralgia, reumatismo, etc.

I. Aplicaciones marítimas

En la navegación ha servido este método para el establecimiento rápido de cartas de fondo, sondeos preliminares para la colocación de cables submarinos, guía de navíos a través de la bruma, detección de bancos de peces por los bacos de pesca, etc.

J. Lavado de ropa

He aquí una interesante aplicación doméstica de las vibraciones ultrasonoras. Introducida la tela a limpiar en un baño de agua jabonosa recorrida por las ondas supersónicas, producidas por un generador de pequeña potencia, los polvos son atacados y desprendidos. Se ve a la tela volverse rápidamente más limpia, el agua se torna grisácea (sucia) y las suciedades caen al fondo.

La solución de un gran problema para las amas de casa, cuando el costo de estos generadores sea asequible a un presupuesto familiar.

K. Fabricación de chocolate

Para la fabricación de los chocolates finos, de comer en crudo, el industrial especialista precisa realizar largas operaciones. Debe mantener la pasta 30 o 40 horas sometida a alta temperatura con el fin de provocar la emulsión perfecta del cacao y del azúcar, lo cual produce en la boca, al gustarlo, esa agradable sensación de

untuosidad y homogeneidad que todos hemos saboreado.

Con la aplicación de las ondas supersónicas se obtiene igual resultado en solo unos minutos.

RESUMEN

A través de la ligera exposición que hemos venido haciendo de la naturaleza de las ondas ultrasonoras o supersónicas, así como de las aplicaciones más importantes que hasta los momentos actuales son conocidas, puede afirmarse con toda verdad que se trata de una de las más ingeniosas y notables curiosidades científicas de estos últimos tiempos, susceptible de hallar infinidad de aplicaciones en el campo de la industria y de la investigación.

Tanto el Detector Supersónico para el control de materiales, como el resto de las aplicaciones principales que han sido someramente reseñadas, ponen de manifiesto el ancho campo dentro de cual encuentran provechosa utilización los sonidos de alta frecuencia, siendo natural también que como en toda técnica nueva, deban vencerse aún las dificultades inevitables en todo período de desarrollo y adaptación de cualquier invento.

No es aveturado predecir que en un futuro casi inmediato, los supersonidos serán uno de los colaboradores más prácticos y útiles de nuestras industrias y de nuestros centros de investigación



BIBLIOGRAFIA

Iron and Coal N.º 4.234.—6 Mayo 1949.—Anomalías en el ensayo ultrasónico de los materiales.

The Hughes Supersonic Flaw Detector.—Henry Hughes & Son—London.

L'Usine Nouvelle n.º 39-23 setiembre 1948.—Sur les ultrasons et ses applications.

Detartrage par Ultrasons.— Información de la casa Pyror—France.—99—Avenue Carnot—St Maur (Seine).

The Welding Engineer—Junio 1948—Supersonic Inspection.

Electrical Engineering—Febrero 1948—Supersonic Flaw Detectors.

The Welding Journal—Junio 1948—Testing Welds With Supersonic Waves.

The Welding Journal—Enero 1947—Supersonidos.

Suiza Técnica n.º 2—(1948).—Ensayo de materiales por los ultrasonoros.

Revue de la Soudure n.º 4—1948.—La détection des défauts plats en construction Soudée par G. Homes.

Técnica Metalúrgica n.º 42—Julio 1949.—La detección de grietas en los materiales metálicos por las ondas supersónicas., por Torrado y Alvaro.

DYNA—n.º 11—Noviembre 1948.—Ondas sonoras de alta frecuencia para la industria (Tomado de Chem. Engineering—Marzo 1948).

Revista Industrial y Fabril.—Octubre 1949.

Revue de Metallurgie n.º 9-10—Octubre 1946.—Les essais aux ultrasons.

Revue de Metallurgie—Mayo-Junio 1947.—La detección de los defectos en el acero por medio de los ultrasonidos.