



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA**

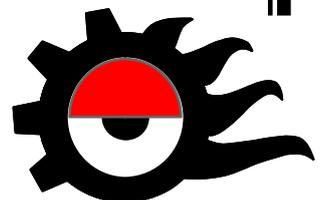
**EL ULTRASONIDO COMO UNA
RADIACIÓN IONIZANTE**

Tesis para obtener el grado de
Doctor en Tecnología Avanzada

Presenta

M. C. José F. Ábrego López

México, D. F., Junio de 2006



ESTA TESIS LA DEDICO CON MUCHO CARIÑO A:

MI ESPOSA MARÍA FRANCISCA RESÉNDIZ GARFIAS

Y A MIS HIJOS:

OCTAVIO

Y

JOSÉ ANTONIO

AGRADECIMIENTOS:

AGRADEZCO SINCERAMENTE AL DR. JUAN AZORÍN NIETO POR EL ENTUSIASMO DEMOSTRADO Y LA ACERTADA DIRECCIÓN EN ESTA TESIS

ASI COMO A LOS ASESORES:

DR. JOSÉ ANTONIO CALDERÓN ARENAS

DR. ALFREDO CRUZ OREA

ASÍ MISMO:

QUIERO AGRADECER LA COLABORACIÓN DE:

Ing. José Zavala Chávez de LATTICE Laboratorios

Ing. Bonifacio Alanis Toledo de IMENDE

M en C Héctor Carrasco Ábrego (ININ)

Ing. Carlos Javier Cabrera (ININ)

M en C Antonio Rojas Salinas (ININ)

Por haber facilitado esta investigación



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 12 del mes junio del año 2006, el (la) que suscribe JOSE FROILAN ABREGO LOPEZ alumno (a) del Programa de Tecnología Avanzada con número de registro A020935, adscrito a CICATA-LEGGARIA-IPN, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Samuel Siles Alvarado y cede los derechos del trabajo intitulado "EL ULTRASONIDO COMO UNA RADIACION IONIZANTE", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección jalo@nuclear.ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

M. en C. José Froilán Abrego López

Nombre y firma



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 11:00 horas del día 20 del mes de junio del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-IPN para examinar la tesis de grado titulada: **"EL ULTRASONIDO COMO UNA RADIACION IONIZANTE"**

ABREGO

Apellido paterno

LOPEZ

materno

JOSE FROILAN

nombre(s)

Con registro:

A	0	2	0	9	3	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **DOCTORADO EN TECNOLOGIA AVANZADA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS** en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis

Dr. Samuel Siles Alvarado

Codirector de tesis

Dr. Juan Azorín Nieto

Dr. José Antonio Irán Díaz Góngora

Dr. José Antonio Calderón Arenas

Dr. Alfredo Cruz Orea

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. José Antonio Irán Díaz Góngora
CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA APLICADA Y TECNOLOGIA AVANZADA



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
I.1.- ANTECEDENTES	
I.2.- JUSTIFICACIÓN	
CAPÍTULO II: OBJETIVOS	22
II.1.- GENERALES	
II.2.- ESPECÍFICOS	
CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS	24
III.1.- INTENSIDAD ACÚSTICA	
III.2.- RESONANCIA	
III.3.- ANÁLISIS ESPECTRAL DE SEÑALES	
III.4.- FRACTURAMIENTO DE PARTÍCULAS	
III.5.- AZUL DE METILENO COMO INDICADOR DE RADIACIÓN IONIZANTE	
III.6.- GENERACIÓN DE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA EN AGUA DE-IONIZADA CON EXCITACIÓN ULTRASÓNICA	

CAPÍTULO IV : EJECUCIÓN EXPERIMENTAL 36

IV.1.- ANÁLISIS ESPECTRAL

IV.1.1- Con equipo electrónico

IV.1.2- Con procedimientos computacionales

IV.2.- INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRASÓNICA CON LA MATERIA

IV.2.1.- Partículas sólidas

IV.2.1.1.- Excitación ultrasónica de Hematita

IV.2.1.2.- Excitación ultrasónica de Galena

IV.2.1.3.- Excitación ultrasónica del Aluminio

IV.2.1.4.- Otros sólidos

IV.3.- FOCALIZACIÓN DE ONDAS

IV.2.2.- Líquidos

IV.2.2.1.- Decoloración del azul de metileno en agua

IV.2.2.2.- Electrólisis

CAPÍTULO V : DISCUSIÓN DE RESULTADOS 58

V.1.- ANÁLISIS ESPECTRAL

V.2.- FRACTURAMIENTO Y VOLATILIZACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS

- V.2.1.- Excitación ultrasónica de la Hematita
- V.2.2.- Excitación ultrasónica de la Galena
- V.2.3.- Excitación ultrasónica en aluminio
- V.2.4.- Excitación ultrasónica en otros sólidos

V.3.- IRRADIACIÓN ULTRASÓNICA DE SISTEMAS LÍQUIDOS

- V.3.1.- Decoloración del azul de metileno en agua
- V.3.2.- Electrólisis en agua

V.4.- IRRADIACIÓN DE OTROS FLUIDOS

CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES 63

VI.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.2.- SUGERENCIAS EXPERIMENTALES

CAPÍTULO VII : BIBLIOGRAFÍA 65

GLOSARIO

Ultrasonido

Ondas vibratorias de frecuencias superiores al límite de audición del oído normal (1).

Frecuencia propia de vibración de los materiales

Depende de las dimensiones y de las propiedades físicas de los mismos (2). Pueden absorber y emitir vibraciones arriba de la fundamental llamadas armónicas, así como abajo de dicha fundamental catalogadas como subarmónicas.

Armónicas

Es la distorsión de salida de una señal que se analiza con la transformada de Fourier, la que describe una señal periódica en función de su componente fundamental y la presenta como múltiplos enteros (3).

Transformada de Fourier

Es una integral, puede ser aplicada con resultados en el dominio del tiempo o de la frecuencia (4).

Fuerzas de Van der Waals

Las fuerzas de adhesión de Van der Waals son de enlace químico entre moléculas (5).

Azul de metileno

Cloruro de [3,7-bis-(dimetil-amino)]-fenazationium, es colorante de la familia de las azidinas.

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. III.1.- Enlace de moléculas de agua con hidrógeno para bajar su energía	33
Fig. IV.1.- Calibración y procesamiento del pulso ultrasónico	38
Fig. IV.2.- Excitación ultrasónica de partículas de Hematita	42
Fig. IV.3.- Excitación ultrasónica y RPE de partículas de Galena	44
Fig. IV.4.- Arreglo experimental para la excitación ultrasónica	45
Fig. IV.5.- Excitación ultrasónica del aluminio	46
Fig. IV.6. (a) Microscopia óptica: Aluminio sin excitación ultrasónica	47
Fig. IV.6 (b) Microscopia óptica: Aluminio con excitación ultrasónica	48
Fig. IV.7.- Generación de corriente eléctrica por excitación de la Galena	49
Fig. IV.8.- Excitación ultrasónica con cuña	52
Fig. IV.9.- Generación de corriente eléctrica por radiación ultrasónica	55
Fig. VI.1.- Rectificación esquemática de una onda de alta frecuencia	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla IV.I.- Dimensiones originales de las partículas de estudio	42
Tabla IV.II.- Dimensiones finales de las partículas de estudio	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráf. IV.1.- Procesamiento del pulso ultrasónico de 5 MHz presentando la armónica de 23.284 GHz	39
Gráf. IV.2.- Espectro de frecuencia del pulso ultrasónico de 17 KHz presentando cuatro armónicas hasta 88.0 KHz	39

RESUMEN

El ultrasonido, siendo una técnica de prospección, se ha podido desarrollar desde niveles industriales hasta niveles científicos como se resume en este trabajo.

En este estudio, se ha enfatizado en la frecuencia propia de los materiales, en sus armónicas y el empleo de las transformadas de Fourier. Así mismo se ha detectado: antes del piezoeléctrico del transductor con un pulso fundamental de 5 MHz., la existencia de armónicas superiores hasta de 23 Gigahertz y después del piezoeléctrico, con un pulso fundamental de 17 kHz., armónicas superiores hasta de 88 kHz. También se ha observado la desagregación de partículas de hematita y de galena con ultrasonido. Se ha calculado la frecuencia necesaria para degradar los asfaltenos, siendo ésta de 435. Gigahertz. Por otra parte se vio que el ultrasonido puede excitar y promover los electrones a un estado S_1 ; la caída de los mismos al estado S_0 lo que puede explicar la formación, crecimiento y colapso de las “burbujas”, posibilitando una ionización y desprendimiento de temperaturas superiores a los 5,000. °C. Una reacción similar fue reportada durante los procesos de implantación de oro en un sustrato donde se verifica una reacción con desprendimiento de electrones. Así mismo, se decoloró el azul de metileno y se generó una corriente eléctrica con excitación ultrasónica.

ABSTRACT

Although, the ultrasonic technique is only an analytical tool for material prospecting, it has been developed to scientific level.

In this work we are emphasizing on the natural frequency of the bodies; on the harmonics; and on the Fourier Transforms. Also it was detected harmonics of 23 Gigahertz on a 5 Megahertz fundamental ultrasonic pulse, also it was verified the Hematite and Galena mineral disintegration by ultrasonic technique. And it is possible that the ultrasonic waves could be to promote of the electrons from one orbit to another and then to arrive to the original orbit and to verify the “hot points” or “hot spots”. May be it is the acoustic cavitation with temperatures of 5000 ° C. Also the ultrasonic technique was capable of fading the methylene blue and to induce an electric current on a de-ionized water.

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

El estudio sobre el ultrasonido y su interacción con la materia, lleva la tendencia de poder explicar las múltiples manifestaciones de la radiación ultrasónica a nivel de laboratorio. En dichos niveles, se empieza a estudiar sobre la nucleación, crecimiento e implosión de las burbujas en líquidos con todo lo que esto implica, tal es el caso de las altas presiones, temperaturas, gradientes de las mismas y la cavitación en los materiales. En esta investigación, se ataca el problema siguiendo dos vertientes, ésta es, una el análisis espectral del pulso ultrasónico para ver el desdoblamiento de las armónicas. La otra es poder detectar la manifestación de corriente eléctrica cuando la radiación ultrasónica excita a los materiales.

En relación al análisis espectral del pulso ultrasónico, se investigó para conocer la existencia a nivel nacional e internacional de equipo analizador espectral electrónico con amplio intervalo de frecuencias armónicas de orden superior. A nivel nacional, sólo se encontró un Agilent Technology con análisis de hasta 26.5 GHz., asimismo, se nos informó que a lo más que se podía aspirar a nivel internacional (Los Estados Unidos de Norteamérica), sólo sería a 200 GHz. Según el muestreo de un pulso o señal ultrasónica por el método de Nyckest es de $T = 1/2f_m$, donde T es la rapidez de muestreo y f_m la frecuencia máxima que se pretende encontrar (6). También, se intentó diseñar un convertidor analógico-digital para hacer un análisis con computadora pero, actualmente, no existe en el mercado dicha computadora con la memoria suficiente para hacer un muestreo del orden de 1×10^{-16} s.

En relación a la detección de una corriente eléctrica cuando los materiales son excitados ultrasónicamente, se intentó registrar los electrones desprendidos de la superficie de dichos materiales, pero, se considera que el vacío logrado en el experimento no fue el suficiente. En cambio, cuando se excitaron ultrasónicamente a los líquidos, los resultados fueron muy favorables ya que, en agua de-ionizada, entre dos electrodos se obtuvo una corriente de 0.3 mA. Lo anterior, es confirmado por Kennet S. Suslick(7) al disociar el agua con excitación ultrasónica. Asimismo, también se logró decolorar con excitación ultrasónica una solución de azul de metileno. Esto, se ha verificado a nivel nacional (**Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares**) con radiación γ e iones pesados de un acelerador (8, 9 y 10). También, se ha hecho a nivel internacional y lo han logrado con radiación γ (Proctor y Lafuente). Estos resultados, nos permiten poder explicar el fenómeno llamado cavitación que se está dando al excitar con ultrasonido a líquidos del mundo. En relación a esto último, se supone que las armónicas finas que se desarrollan en el circuito oscilador del equipo ultrasónico según las ecuaciones de Maxwell (11), excitan a los electrones del átomo elevándolos de nivel y como las ondas ultrasónicas tienen valores discretos, al llegar a cero, caen dichos electrones a su nivel basal provocando altas temperaturas, presiones y gradientes de temperatura.

I.1. - ANTECEDENTES

INFORMACIÓN ESPECÍFICA (12)

El ultrasonido es una vibración mecánica con un intervalo de frecuencias mayores al audible del oído humano que se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en hertz con ayuda de un aparato creado para ese fin.

CLASIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

Infrasónica = 1-16 Hz

Ultrasónica = 20 kHz en adelante

Para las pruebas de interacción del ultrasonido con materiales metálicos, dicha frecuencia es de 0.2 a 25 MHz.

- La impedancia acústica es la resistencia que oponen los materiales al paso de una onda ultrasónica.
- Ondas acústicas son iguales a las ondas sónicas
- Transmisión de energía entre partículas que propician el oscilamiento.
- El número de oscilaciones son de acuerdo al tipo de onda que se trata.
- Se propagan en todos los medios elásticos donde existan fracciones de materia (átomos o moléculas capaces de vibrar).
- La vibración depende de la separación de las partículas.

APLICACIONES

- Detección y caracterización de discontinuidades
- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
- Detección de características físicas
- Características de enlace entre materiales

VENTAJAS

- La prueba se efectúa más rápidamente obteniendo resultados inmediatos
- Se tiene mayor exactitud al determinar la posición de las discontinuidades internas; estimando sus dimensiones, orientación y naturaleza.
- Alta sensibilidad para detectar discontinuidades pequeñas
- Alta capacidad de penetración, lo que permite localizar discontinuidades a grandes profundidades del material
- Buena resolución que permite diferenciar dos discontinuidades próximas entre sí.
- Sólo requiere acceso por un lado del objeto a inspeccionar
- No requiere de condiciones especiales de seguridad.

LIMITACIONES

- Baja velocidad de inspección cuando se emplean métodos manuales
- Requiere de personal con una buena preparación técnica y gran experiencia.

- Dificultad para inspeccionar piezas con geometría compleja, espesores muy delgados o de configuración irregular.
- Dificultad para detectar o evaluar discontinuidades cercanas a la superficie sobre la que se envía el ultrasonido
- Requiere de patrones de calibración y referencia
- Es afectado por la estructura del material (tamaño de grano, tipo de material).
- Alto costo del equipo
- Se requiere de agente acoplante

PRINCIPIOS FÍSICOS

- Amplitud (A).- Es el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición de cero.
- Frecuencia (F).- Se define como el número de veces que ocurre un evento repetitivo (ciclo) por unidad de tiempo. Su unidad Hertz.
- Longitud de onda (λ).- Es la distancia ocupada por una onda completa y es igual a la distancia a través de la cual se mueve la onda por periodo de ciclo.
- Velocidad de propagación o velocidad acústica (V).- Es la velocidad de transmisión de la energía sonora a través de un medio.
- Impedancia acústica (Z).- Es la resistencia de un material a las vibraciones de las ondas ultrasónicas. Es el producto de la velocidad máxima de vibración por la densidad del material.

TIPO DE ONDAS

- Ondas longitudinales .- El desplazamiento de las partículas excitadas es paralelo a la propagación del ultrasonido
- Ondas transversales.- Los desplazamientos de las partículas sometidas a vibración son en forma perpendicular a la dirección del haz ultrasónico.
- Ondas superficiales.- Son aquellas que se desplazan sobre la superficie del material sobre el que se envía el haz ultrasónico y penetran a una profundidad máxima de una longitud de onda.

PRINCIPALES PARÁMETROS A CONTROLAR DEL SISTEMA DE ULTRASONIDO

- Sensibilidad.- Es la capacidad de un transductor para detectar discontinuidades pequeñas.
- Resolución.- Es la capacidad para separar dos señales cercanas en tiempo o profundidad.
- Frecuencia central.- Los transductores deben utilizar en su intervalo de frecuencia especificada para obtener una aplicación óptima.
- Atenuación del haz.- Es la pérdida de energía de una onda ultrasónica al desplazarse a través de un material. Las causas principales son la dispersión y la absorción.

TRANSDUCTORES

Es el medio por el cual la energía eléctrica se convierte en mecánica (ondas sonoras) o viceversa. Opera debido al efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales cuando se presionan, se polarizan eléctricamente y generan voltaje eléctrico entre las superficies opuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través de las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales.

MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS

A.- Cuarzo. Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características como estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resiste al desgaste así como al envejecimiento. Desafortunadamente, sufre interferencias en el modo de conversión y es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550°C , pues por arriba de ésta pierde sus propiedades piezoeléctricas.

B.- Sulfato de litio.- Este material se considera como uno de los receptores más eficientes. Su ventaja principal es su facilidad de obtener una amortiguación acústica óptima lo que mejora el poder de resolución, no envejece y es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión. Sus desventajas son que es muy frágil, soluble en agua y se debe emplear a temperaturas menores de 75°C .

C.- Cerámicos polarizados.- Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad y algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300°C . Sus principales limitaciones son: Resistencia mecánica relativamente baja, en algunos casos existe interferencia en el modo de conversión, presentan tendencias al envejecimiento. Además poseen menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.

Características de los materiales usados como transductores en los palpadores

Material	Eficiencia como transmisor	Eficiencia como receptor	Sensibilidad	Poder de resolución	Características mecánicas
Cuarzo	Mala	Mediana	Escasa	Óptimo	Buena
Sulfato de litio	Mediana	Buena	Buena	Óptima	Soluble en agua
Titanato de bario	Buena	Mediana	Óptima	Mediana	Frágil
Metaniobato de bario	Buena	Mediana	Óptima	Óptima	Buena
Zirconato de plomo	Buena	Mediana	Óptima	Mediana	Buena

ELECCIÓN DEL TRANSDUCTOR

1.- Clase de cristal. Con la elección de cada clase de cristal se puede variar el poder resolutorio y la sensibilidad de los transductores.

2.- Diámetro del cristal. Entre mayor sea el diámetro del cristal se obtiene una mayor profundidad de penetración, asimismo una mayor longitud en un campo cercano y una menor divergencia.

3.- Frecuencia. Con la elección de una mayor frecuencia se obtiene mayor posibilidad para la identificación de discontinuidades pequeñas, mayor longitud de campo cercano, mayor poder resolutorio, menor profundidad de penetración y mínima divergencia.

Materiales Piezoeléctricos

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cuarzo	Se obtiene a partir de cristales naturales, posee excelentes características como, estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento.	Sufre interferencias en el modo de conversión. Es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550° C, porque por arriba de ésta pierde la piezoelectricidad.
Sulfato de litio	Receptor más eficiente. Facilidad de obtener una amortiguación óptima. Mejor poder de resolución. No envejece, es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión.	Es muy frágil, soluble en agua, se debe emplear a temperaturas menores de 75° C.
Cerámicos polarizados	Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad, algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300° C.	Resisten mecánica relativamente baja. En algunos casos existe interferencia en el modo de conversión. Presentan tendencia al envejecimiento, además poseen menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.
Titanato de bario	Es un buen emisor debido a su elevado módulo piezoeléctrico.	Problemas de acoplamiento y amortiguación. Su empleo está limitado a frecuencias menores de 15 MHz., debido a su

		baja resistencia mecánica y alta impedancia acústica. Presenta interacción entre varios modos de vibración. La temperatura de su punto Curie es de 115-150° C.
Metaniobato de bario	Presenta un módulo piezoeléctrico elevado lo que califica como buen emisor. Posee excelente estabilidad térmica, similar al cuarzo, lo que le permite ser empleado a altas temperaturas. Posee un elevado coeficiente de amortiguación interna, por lo que se considera como el mejor material para generar impulsos cortos.	Presenta una baja frecuencia fundamental y una mala resistencia mecánica, por lo que se aplica ampliamente a frecuencias altas. Presenta interacción entre varios modos de vibración.
Zirconatotitanato de plomo	Se considera como el mejor emisor por su alto módulo piezoeléctrico.	Sin embargo, es el más difícil de amortiguar por su alto coeficiente de deformación. Se recomienda su empleo cuando existen problemas de penetración.

TIPOS DE PALPADORES

Palpador de contacto. Se coloca directamente en la superficie de prueba aplicando presión y un medio de acoplamiento. Se fabrica para inspecciones de haz recto. Para proteger el transductor de la abrasión, se cubre con un material duro como el óxido de aluminio.

Palpador de haz recto. Emite ondas longitudinales con frecuencias de 0.5 MHz. Se emplea generalmente para la inspección de piezas en las que se puede colocar directamente la unidad de prueba sobre el área de interés. Las discontinuidades son paralelas a la superficie de contacto. También es útil en la detección de discontinuidades y en la medición de espesores.

Palpadores de incidencia angular. Generalmente de corte y de placa, se construye acoplado una unidad de haz recto a una de las caras de una zapata de plástico, el cual presenta determinado ángulo de refracción. Se emplea en los equipos de pulso eco y su aplicación es casi exclusiva en la detección de discontinuidades orientadas perpendicularmente a la superficie de prueba.

Tipos de palpadores angulares.- De acuerdo a su tamaño, frecuencia, forma, tipo e intercambiabilidad de zapata. Tienen marcado en dicha zapata el ángulo de refracción de sonido dentro del material de prueba, los ángulos comerciales para el acero son 35, 45, 60, 70, 80, 90 grados.

ACOPLANTE

Líquido más o menos viscoso que se utiliza para permitir el paso de las ondas del transductor a la pieza bajo inspección, ya que las frecuencias que se utilizan para materiales metálicos no se transmiten en el aire.

Características del acoplante líquido:

- Humectabilidad (capaz de mojar la superficie y el palpador).
- Viscosidad adecuada
- Baja atenuación (que el sonido se transmita al 100 %).
- Bajo costo
- Removible
- No tóxico
- No corrosivo
- Impedancia acústica adecuada

Tipos de acoplantes:

- Agua
- Aceite
- Grasa
- Glicerina
- Vaselina

Reflexión

Cantidad de energía ultrasónica que es reflejada al incidir en una interfase acústica.

Ley de reflexión

El ángulo de reflexión de onda es igual al ángulo de incidencia de dicha onda de la misma especie.

Refracción

Se lleva a cabo cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro, siendo la velocidad de la onda diferente en cada medio y cambia la dirección en relación con la de incidencia.

Ley de refracción

El cambio de dirección de la onda refractada, acercándose a la normal a la superficie de separación de ambos medios, depende de la velocidad del sonido en el segundo medio sea menor o mayor que en el primer medio.

Bloque de calibración

Los patrones de referencia pueden ser un bloque o juego de bloques con discontinuidades artificiales y/o espesores conocidos, que son empleados para calibrar equipos de ultrasonido y para evaluar las indicaciones de las discontinuidades de la muestra inspeccionada.

Los bloques de calibración deben tener las mismas propiedades físicas, químicas y de estructura que el material a inspeccionar..

Por medio de los bloques de calibración se puede:

- a.- Verificar que el sistema compuesto por el transductor, cable coaxial y el equipo funcionan correctamente.
- b.- Fijar la ganancia o la sensibilidad con la cual se detectarán las discontinuidades equivalentes a un tamaño especificado o mayores.

PRINCIPIO DEL ULTRASONIDO

a.- Desarrollo práctico

Palpador normal

Para iniciar con la prueba de ultrasonido con palpador normal, se realizan los siguientes procedimientos:

1.- Se calibra el osciloscopio con un block de calibración, el cual está normalizado por el CENAM.(12). Las magnitudes de dicho block en base a normas son:

- Altura 4 pulgadas
- Espesor de 1 pulgada
- Radio de 4 pulgadas

Para poder realizar la calibración, se coloca un líquido acoplante sobre la superficie del block, como ya se mencionó, puede ser agua o aceite que elimine el aire entre el palpador y el material.

Los datos técnicos del palpador normal son:

4 MHz

24 mm de diámetro del palpador

Posteriormente se coloca el palpador, el cual está conectado al osciloscopio, sobre el block para que se inicie la emisión de ondas ultrasónicas (>20,000 Hz).

Osciloscopio

Ya en el osciloscopio se ajustan los ecos (ondas) a una onda de entrada y dos ecos de fondo, según las normas de calibración.

- ONDA DE ENTRADA
- ONDA DE FONDO
- ONDA DE FONDO

Una vez ajustado en la pantalla la imagen, se puede confirmar que el equipo ya está calibrado y listo para realizar las primeras pruebas a otros materiales.

PANTALLA DEL OSCILOSCOPIO

Esta imagen nos muestra una separación entre cada onda de 4 líneas, esto nos representa la altura del block patrón que es de 4 pulgadas. Esta relación nos indica que la magnitud de cada línea es de una pulgada y es la que nos servirá de referencia para las pruebas posteriores.

Como un resumen, se puede decir que, las pruebas realizadas con ultrasonido en los ensayos no destructivos, se hacen con apego estricto a normas y los peritos calificados deben tener niveles I, II y III según el caso (12).

El ultrasonido, en sus primeras aplicaciones a nivel industrial, tales como revisión de soldaduras, medición de niveles en los fluidos y acelerador de reacciones químicas entre otras, fue considerado como una simple técnica de prospección sin mayor importancia pero, a medida que pasa el tiempo, se han encontrado nuevas aplicaciones.

Las investigaciones realizadas en el **Instituto Mexicano del Petróleo** permitieron evidenciar la degradación del Crudo Maya de petróleo por desestabilización de sus asfaltenos, así mismo pudieron detectar la formación e implosión de burbujas (150 μm), con desprendimiento de temperaturas superiores a los 5000 °C. Entre otros, se tiene la degradación del Crudo Maya del petróleo con la excitación ultrasónica de los asfaltenos cuyas dimensiones son de aproximadamente 4 nanómetros de diámetro. Esto ocurre en los laboratorios del **IMP** (13).

Resultados similares fueron encontrados en experimentos realizados en el Institut für Anorganische CHEMIE der Universität München de Alemania (14).

Por otro lado, en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, se ha logrado excitar ultrasónicamente metales pesados en sistemas coloidales, cuyas dimensiones de la fase sólida van de 1 a 100 nm, obteniendo un precipitado o aglomerado

de partículas del orden de 35 nm de diámetro (15). Otro resultado interesante obtenido en este Instituto, fue el hecho del fracturamiento y evaporación con radiación ultrasónica de partículas de Hematita y de Galena cuyas dimensiones originales eran del orden de 74 μm .

Un efecto aún no explicado de la interacción del ultrasonido con la materia es el fenómeno conocido como cavitación, donde, por ejemplo, en una mezcla de hidrógeno e isótopos de deuterio y tritio, al darse la implosión de la burbuja provocada por excitación ultrasónica, se observaron 30,000. destellos por segundo, temperaturas mayores a 5,000. °C, un estado plasmático y el **desprendimiento de “neutrones”**(16). Lo anterior, se dio sin una explicación aparente.

Por otro lado, en este artículo, se establece que, dos científicos de UCLA, detectaron **neutrones** en un experimento a temperatura ambiente llamándola **“fusión fría”** (17).

También, el físico Steven Jones de Brigham Young University in Provo, Utah, detectó **neutrones** en la sonoluminiscencia de las burbujas (17).

En resumen, declaran que, la dramática fusión mantiene a los científicos fascinados.

Kenneth S. Suslick, 1988, excitando ultrasónicamente al agua han logrado disociar a la molécula de dicha agua en sus productos OH^- e H^+ , lo que llama la **sonólisis**: Asimismo, ultrasónicamente se han degradado a materiales orgánicos, organometálicos, inorgánicos, se ha modificado el **ADN** y destruido células vivientes(7). Finalmente, después de tantos experimentos y discusión de los mismos, Suslick se declara incompetente para explicar la cavitación y sólo dice que las burbujas interactúan unas con otras y tienen comportamiento como de grupos (7).

En el Instituto Mexicano del Petróleo, han caracterizado el crecimiento e implosión de la burbuja en el fenómeno de la cavitación. En sus experimentos, con la excitación ultrasónica al Crudo de Petróleo tipo Maya, han logrado dimensionar a los asfaltenos (4 nm de diámetro), medir el diámetro de la burbuja antes de la implosión (150 μm), determinar la temperatura alcanzada (5500 °C) y la presión de 500 atm. El tiempo de duración del fenómeno es de menos de un microsegundo (13).

En 1934 H. Frenzel y H. Shultes (18) descubrieron la sonoluminiscencia en un recipiente de agua excitada por ondas acústicas. Este trabajo es interesante porque, presenta varias hipótesis tratando de explicar la cavitación, así, algunas de ellas la atribuyen a que el gas caliente del interior de la burbuja forma un plasma. Otras establecen que las partículas eléctricamente cargadas del plasma liberan destellos de luz durante el proceso de fuerte aceleración. Otra teoría establece que las grandes energías focalizadas en la sonoluminiscencia se pueden explicar por el almacenamiento de la energía acústica. Otros consideran que, así se explica el modelo de la teoría del Bremsstrahlung Térmico. Otra es la del choque del chorro o Jet y otra más es la de la Radiación del vacío cuántico. Asimismo, se establece que si el choque se mantuviese estable hasta 10 nanómetros, las temperaturas en el interior de la burbuja serían suficientes para producir la **fusión nuclear del hidrógeno** o deuterio presentes en un nuevo fenómeno que se denomina **sonofusión**.

También, Thomas D. Rossing, habla de un experimento realizado por un grupo de investigadores en Oak Ridge National Laboratory y del Rensselaer Polytechnic Institute, reportando mediante el ultrasonido un mejoramiento en la **fusión nuclear** en un experimento simple. Establecen que, el colapso de las burbujas causa la sonoluminiscencia producida momentáneamente por las altas presiones y temperaturas que inician la fusión (19).

Por otro lado, Richard T. Lahey y Rusi P. Taleyarkhan declaran haber creado un laboratorio para fusión y mencionan que las burbujas de la cavitación alcanzan temperaturas de 10 millones de kelvin y presiones de un millón de atmósferas. Establecen que, el experimento **produce neutrones y tritio**. Eso hace que se produzca una real fusión (20).

También, Rusi Taleyarkhan, habla de sus experimentos con la **sonofusión** y que tiene un costo menor a un millón de dólares. Asimismo establece que, la sonoluminiscencia es un estallido de una burbuja por ultrasonido y emite luz (21).

Además, en **Sonofusión: Energy of the Future?**, se citan varias instituciones que con el ultrasonido efectúan experimentos para lograr la **sonofusión** (17).

Finalmente, se considera que, el ultrasonido va a dar la gran solución al problema del agua en la desalación de la misma, con la colaboración que pide Leonard W. Casson de la Universidad de Pittsburg, U.S.A.

Con estos antecedentes podemos decir que considerar al ultrasonido como una simple técnica mecánica de prospección, es evidentemente una evaluación parcial del fenómeno. Es importante recordar que en una radiación ultrasónica hay la posibilidad de encontrar la incidencia de esta radiación para obtener un máximo de intensidad; en este estado paralelamente a la radiación ultrasónica fundamental hay la generación de armónicas superiores que pueden tener efectos sobre los átomos, por la gran cantidad de energía que son capaces de transferir.

I.2. - JUSTIFICACIÓN

Ante el gran interés manifestado por los industriales para aplicar el ultrasonido en los ámbitos de manufacturas y en otras actividades, se considera que es el momento de iniciar estudio de la radiación ultrasónica con cierta profundidad ; de esta manera se pretende limitar el riesgo y evitar que, por ejemplo, la destrucción masiva de las neuronas u otros órganos vitales en los fetos. Entre otras aplicaciones biológicas tenemos; la reducción de cálculos biliares y renales, la excitación de asfaltenos, el control de células cancerosas la precipitación de metales pesados, como fungicida en el tratamiento con ultrasonido de aguas residuales, lagos, presas, ríos, mares, sólidos y otras.

Asimismo, existe la posibilidad de excitar ultrasónicamente a los sistemas coloidales en nubes y provocar lluvias con un sistema menos contaminante.

Se considera que, la justificación para realizar trabajos de investigación acerca de la interacción ultrasónica con la materia, tales como; destrucción de bacterias, esporas, células cancerosas, cálculos renales, cataratas, operaciones de próstata, células neuronales, ADN y otras, se requiere encontrar la evidencia de armónicas ultrasónicas de alta frecuencia de manera que, puedan entrar en resonancia con objetos microscópicos.

CAPÍTULO II : OBJETIVOS:

II.1.- GENERALES

Consolidar el campo de los conocimientos de las radiaciones ultrasónicas para su mejor control y aplicación.

II.2.- ESPECÍFICOS

Medir el desdoblamiento de las frecuencias ultrasónicas o armónicas y evaluar la incidencia de las mismas sobre los materiales

Evaluar la importancia de factores como la temperatura, presión y otros, sobre la incidencia de la radiación ultrasónica.

CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de validar las hipótesis que se plantean, se hizo una revisión bibliográfica sobre los temas afines a esta investigación. Entre algunos temas que se tocaron tenemos; Acústica, mecánica cuántica, física molecular, de ondas, moderna y de partículas, procesamiento digital de señales, fuerzas de dispersión de London y de Van der Waals.

Entre los materiales empleados para ser excitados ultrasónicamente, principalmente, se usaron sólidos y líquidos. Como fuente de excitación, se experimentó sobre todo en cubas de lavado ultrasónico con una frecuencia fundamental en promedio de 17. kHz. También, se uso un equipo más sofisticado Kraut Kramer Branson modelo USL-48, empleando transductores de 5 MHz.

Por otro lado, en el área de ultrasonido como en muchos sectores de la física aplicada, inexplicablemente existen números mágicos, siendo los mismos, frecuencias que van de 15 a 25 kHz. Estos son los valores que han sido los que degradan mejor los materiales.

III.1. - INTENSIDAD ACÚSTICA

La intensidad acústica, se ha definido como la energía que pasa por unidad de área en la unidad de tiempo (22) y es proporcional al cuadrado de la amplitud, por esta razón es muy importante aumentar la amplitud o ganancia de dicha onda para lograr ciertos fines. Por lo antes expuesto, es de primordial necesidad el control de dicha intensidad ya que, las armónicas que se desdoblán del pulso original, mismas que pueden entrar en resonancia con órganos vitales o átomos de los materiales. Al entrar en resonancia con los mismos, pueden excitar fuertemente a moléculas y destruirlas con las temperaturas altas que se desarrollan en el proceso, provocar una reacción acelerada.

Existen otras definiciones de intensidad acústica como es la siguiente. Potencia por unidad área, esto es, $I = P/A$. Una medida común de intensidad es el decibel, y cuya definición de escala de decibeles es, 0dB corresponde a la intensidad de referencia $I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Así 0dB no significa que no hay sonido. Por eso, la escala está definida como por ejemplo 10dB es un sonido 10 veces más intenso.

Una definición interesante es que, la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud, o sea que por ejemplo, **Intensidad = (Amplitud)² / 2 x densidad del medio x velocidad de la onda.**

$$I = A^2 / 2\delta v$$

El incremento de la amplitud, se puede dar cuando en una gran familia de ondas, dos o más de ellas se ponen en fase. Esto, se verifica en ciertos instantes llamados transitorios y con una alta intensidad se puede generar la llamada cavitación ultrasónica.

III.2.- RESONANCIA

Los materiales tienen una frecuencia propia de vibración que los caracteriza y ésta depende de las dimensiones y propiedades físicas de dichos materiales (2). Los mencionados materiales, pueden estar en resonancia con ondas que tengan una frecuencia igual a su frecuencia fundamental u otras armónicas superiores de los mismos (22). Un material entra en resonancia con una onda cuando ésta alcanza la misma frecuencia natural del material. Asimismo, se ha establecido que, la naturaleza de la vibración libre de dichos materiales, se debe a que tienen una masa y por esto, son capaces de poseer una energía cinética en virtud de su movimiento y también, almacenan energía debido a la distorsión de su posición de reposo (23). Como ya se estableció, la aparición o no de las armónicas en los materiales, depende de la intensidad de la onda de choque que incide sobre los mismos.

En la electrónica de los equipos de ultrasonido, la resonancia juega una parte muy importante ya que, en el diseño de dichos equipos, se debe procurar que exista una comunión muy estrecha entre el circuito oscilador que genera los pulsos ultrasónicos y las dimensiones y propiedades físicas de la pastilla piezoeléctrica del palpador o transductor de dicho equipo ultrasónico. Esto es, el circuito oscilador debe estar en resonancia con la pastilla piezoeléctrica ya que ésta, sólo transfiere fielmente todas las armónicas que se originan en el generador de pulsos.

La pastilla piezoeléctrica, como ya se dijo, sólo tiene la cualidad de sufrir contracciones y dilataciones cuando se le aplica una corriente pulsante. También, cuando se le comprime físicamente, sus cargas se polarizan y se genera una corriente eléctrica (24).

En el circuito oscilador, generador de pulsos periódicos ultrasónicos, se diseña una onda cuadrada compuesta de un sin número de senoides (25 y 26).

El diseño de la resonancia del circuito oscilador de pulsos periódicos ultrasónicos con la pastilla piezoeléctrica, se hace en base a la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$= \frac{1}{2\pi CX_c}$$

$$= \frac{1}{2\pi L}$$

donde :

f = frecuencia (Hz)

L = inductancia (H)

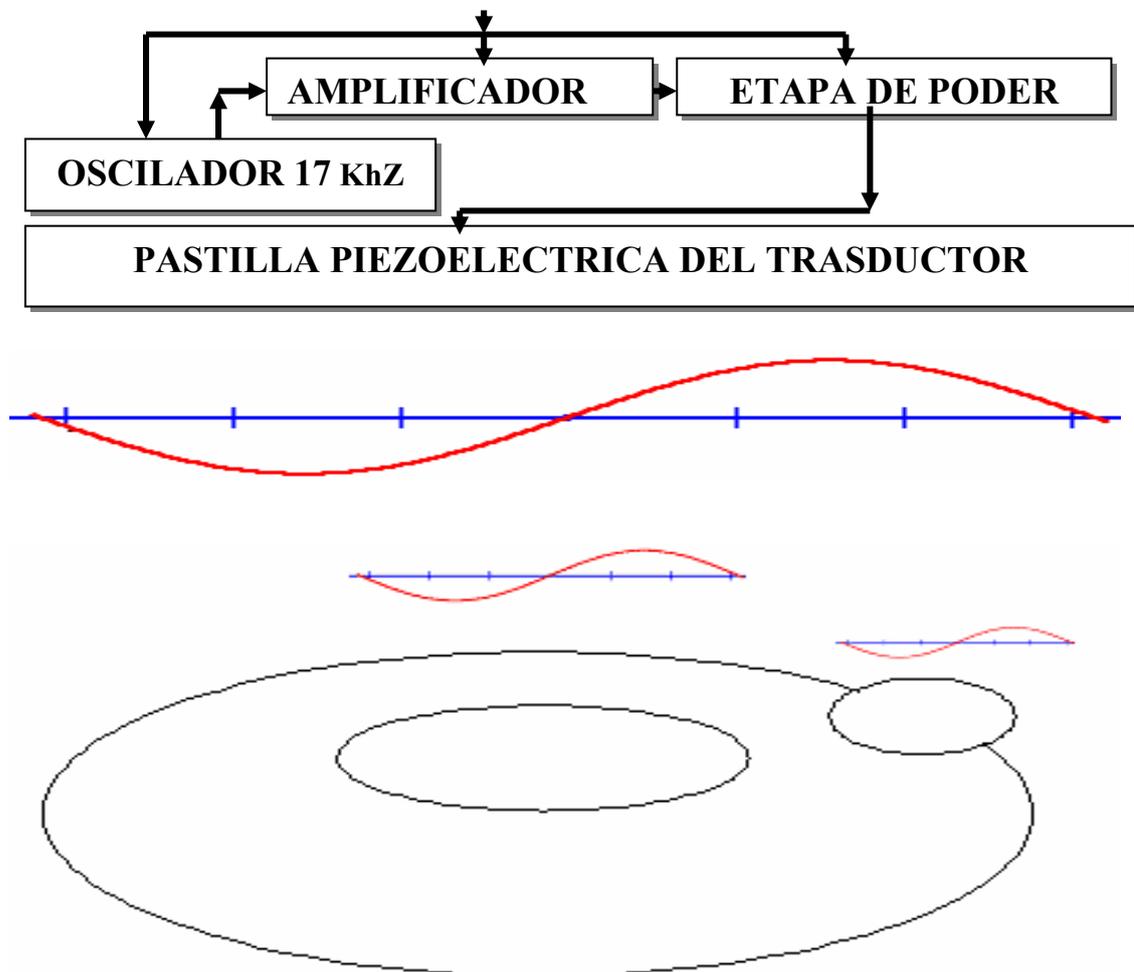
C = capacitancia (F)

X_C = impedancia (Ω)

Asimismo, también dicha resonancia se puede obtener consultando las tablas de Bell Telephone Laboratorios (27).

Por la vibración natural de los electrones y campos eléctricos, en este circuito, es donde se generan las ondas ultrasónicas tan finas que, se habrán de detectar más adelante después de la pastilla piezoeléctrica.

A continuación, se presenta un modelo simple de un equipo ultrasónico donde, interviene el circuito oscilador:



III.3.- ANÁLISIS ESPECTRAL DE SEÑALES

Al aplicar la transformada de Fourier a los datos de muestreo de un pulso, ésta los descompone en varias frecuencias y longitudes de onda (22). El mencionado análisis de Fourier, permite la manera de describir una señal periódica en términos de sus componentes fundamentales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (3). Mediante la captura de datos del pulso ultrasónico fundamental y la alimentación de los mismos a la transformada de Fourier, se pretende llegar a armónicas superiores cuyas longitudes de onda nos permitan explicar el comportamiento de dichas armónicas durante su interacción con la materia.

En general, el trabajo que hace Fourier con las señales eléctricas es lo mismo que se verifica en un prisma óptico con la luz (28). Por otro lado, las funciones periódicas, las procesa la serie de Fourier y las no periódicas le tocan a la transformada de Fourier.

Cabe hacer la aclaración que, la transformada de Fourier se usa en sistemas lineales, estudios de antenas, óptica, modelación de procesos aleatorios, teoría de probabilidades, física cuántica y problemas de valores de frontera (29).

Otra definición muy general es que, el análisis de Fourier está basado en el concepto de que las señales del mundo real pueden ser aproximadas como una suma de senoides, cada una teniendo diferente frecuencia (30).

La señal ultrasónica del pulso analógico fundamental del equipo de ultrasonido, para ser procesada y hacer una discriminación de las llamadas armónicas que integran a dicho pulso, se usa un equipo electrónico como ya se dijo llamado analizador de espectro. Dicho equipo, está integrado por una serie de filtros de banda angosta, cada uno sintonizado a diferentes frecuencias a intervalos regulares. Estos aparatos, pueden analizar señales que van de 10 hertz a cientos de Gigahertz (31).

El resultado de dicho procedimiento, generalmente, es en el dominio de frecuencia y es un espectro donde se presentan armónicas en forma de barras u ondas. Existen algunas definiciones de armónicas como son: Armónicas son números enteros múltiplos continuos de una frecuencia fundamental (32), o bien, las armónicas son una distorsión periódica de una onda senoide (33).

Se cree que todas las armónicas comienzan con distorsión de corrientes provocadas por cargas no lineales (34).

Asimismo, se dice que, las armónicas se forman en los equipos por cargas no lineales introducidas por computadoras, luz fluorescente, motores y ciertos equipos como cargadores de baterías y electrólisis (35).

Es importante hacer notar que, algunos autores (36), consideran que todos los sonidos sin importar qué tipo son, contienen armónicas, o sea que, cuando se produce un sonido, éste consiste de ondas senoideas que se combinan para formar dicho sonido. Esto es importante debido a que tiene ondas ultrasónicas de alta frecuencia como se verá mas adelante.

Un aspecto muy importante, es el hecho de que los materiales, además de tener una frecuencia fundamental, tienen armónicas y sub-armónicas como lo establecen algunos autores (37). Lo importante de estas sub-armónicas inaudibles es que, en alguna medida son peligrosas para el ser humano ya que, por ejemplo, a 40 Hz., afectan a las áreas corticales cerebrales. Otras con cierto peligro son las de 6.5 Hz. (38).

Como se sabe, dichas sub-armónicas no son detectables por el sistema del ser humano pero, existen ciertos vertebrados como el elefante que puede percibir armónicas cuya frecuencia sea de 0.1 Hz., o sea una longitud de onda en agua de 15,000.m lo anterior, es interesante ya que, en el Tsunami Asiático del 2004, sólo los animales se alejaron de la costa al detectar las ondas generadas por un gran macizo geológico (39).

Por otro lado, algunos autores sugieren que las armónicas se forman al reflejarse los haces ultrasónicos de los tejidos (40).

Otros autores, afirman que las armónicas en la industria y en general en edificios, están ocasionando serios daños ya que tienen su origen en la circuitería con la vibración de partículas, como átomos, electrones, protones. etc. Dichas armónicas generadas son de frecuencias muy variadas y al entrar en resonancia con algunos calibres de alambres, los agitan y calientan de manera que, se puede iniciar un incendio (41).

La generación involuntaria de las mencionadas armónicas, se la atribuye a sistemas no lineales. Un sistema no lineal es aquel que a la salida del equipo aparecen señales que no fueron alimentadas (42 y 43).

Como se verá más adelante, las armónicas se forman desde el circuito oscilador por las vibraciones múltiples de los electrones. También influye la inducción del ruido externo.

III.4. - FRACTURAMIENTO DE PARTÍCULAS

En la reducción de dimensiones de los materiales, se da el rompimiento de enlaces intermoleculares (fuerzas de Van der Waals) que da origen a un grupo de fuerzas no equilibradas en la superficie (44). Éstas son tan elevadas que por ejemplo, cuando se tienen dos partículas unidas, cada una de ellas con un diámetro de un micrómetro, para separarlas, se requiere la fuerza equivalente a un millón de veces la fuerza gravitacional (5). Por otra parte, dos radicales libres pueden unirse y compartir nuevamente sus electrones para formar una serie de productos de reacción (45). También pueden secuestrar del medio ambiente moléculas polarizables o eventuales iones que les permita bajar su energía.

En la reducción dimensional de los materiales, es oportuno hacer notar que, al producir nuevas caras, existe el rompimiento de enlaces moleculares. Lo anterior, genera un exceso de cargas superficiales. Esto es muy notable en la nucleación y crecimiento de grano en los materiales metálicos ya que, al aparecer el gradiente de temperatura, suspende dicho crecimiento de los granos y en su periferia por el exceso de cargas es la parte que reacciona con mayor energía. Lo anterior, se observa al hacer metalografías a los materiales metálicos reaccionando con mayor energía en los límites de grano. Los fenómenos anteriores, explican el por qué los materiales de menores dimensiones son

más energéticos. La razón de ésto es que, la relación de superficie a masa es muy grande en los materiales de partícula pequeña.

III.5. - AZUL DE METILENO COMO INDICADOR DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

El azul de metileno (cloruro de 3,7-Bis_(dimetil-amino), fenotiazinio-5), es un colorante de la familia de las azidinas, soluble en agua (2.5 %), etanol (2.0 %), glicerol y en ácido acético glacial, es poco soluble en acetona (0.5 %) e insoluble en xileno y ácido oleico. Es estable en agua y a la luz, se descompone a temperaturas de entre 100 y 110 ° C. Cuando se seca a más de 85 ° C produce especies insolubles en agua. Presenta un máximo de absorción en el espectro visible a 665 nm .

Entre los experimentos que se realizaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en relación al azul de metileno, tenemos el “Efecto de electrones con baja energía sobre el azul de metileno en solución acuosa” (8). Aquí, se usó dicho azul de metileno en solución acuosa como dosímetro para determinar la dosis y rapidez de la misma en el Acelerador Peletrón.

Se concluye que, el mencionado azul de metileno es muy estable. Al hacer la irradiación con electrones, se observó que los tiempos de exposición son menores a los que se requieren para irradiar con gammas.

Otro experimento practicado en dicho Instituto, fue “Irradiación de azul de metileno con haces de electrones” (10). Aquí, se trató de elaborar una gráfica de calibración del mencionado azul de metileno utilizando los espectrofotómetros VARIANG34, UNICAM 8675 y el UV/V-4.

Se concluyó que, la absorbancia por dichos espectrofotómetros indicaron que la eficiencia de la degradación de compuestos orgánicos es muy buena empleando electrones de alta energía.

Asimismo, se efectuó un experimento que se corrió en dicho Instituto y fue el “III obtención de una gráfica estándar de azul de metileno por espectrofotometría” (9).

Aquí, se obtuvo el espectro del azul de metileno para comprobar la máxima absorbancia a la longitud de onda de 665 y 600 nm con 2 nm de abertura.

La inquietud que se tuvo por los resultados del azul de metileno, llevó a los investigadores M.J. Day y Gabriel Stein a correr un experimento llamado “The Action of Ionizing Radiations on Aqueous Solution of Methylene Blue” (46).

En dicho experimento, la solución acuosa del mencionado azul de metileno, se irradió con 200-kV X-rays y con radiación de 4-MeV en un acelerador lineal que da pulsos de 2- μ seg. Se investigó la reducción reversible y la oxidación irreversible del azul de metileno. Se observó que en presencia de etanol, benzonato en O₂ –libre, ocurrieron las reducciones reversibles con alta eficiencia. Esto, se atribuye a la formación de radicales orgánicos libres de los solutos añadidos y los mismos actuando como agentes reductores eficientes.

Asimismo, Sol Davison, Samuel A. Goldblith, Bernard E. Proctor, Marcus Karel, Billy Kan, y Charles J. Bates, efectuaron un experimento llamado “Dosimetry of a Kilocurie Cobalto-60 Source” (47).

Aquí, se informó que en el laboratorio se desarrolló un dosímetro para fuentes radiactivas de alta intensidad, por Goldblith, Proctor y Hammerle. También, se determinaron las dosis de radiación gamma del cobalto 60 y rayos catódicos de 3-Mev en un generador de Van de Graaff.

Asimismo, se afirma que la dosis precisa para inactivar el azul de metileno con dosímetro de radiación gamma no se ha determinado.

El intervalo efectivo del dosímetro va de 25,000 rep (a concentración de $10 \mu\text{g} / \text{cm}^3$) a 5.000,000 rep (a concentraciones de $1 \text{mg} / \text{cm}^3$).

La dosis recibida por la muestra D, es $D = D_0 \ln (n/n_0)$, donde n_0 y n son las concentraciones de azul de metileno al inicio y final de la irradiación.

También, Paul Schall, Jr., de Battelle Memorial Institute, en Columbus, Ohio., Realizó un experimento titulado “A Comparison of Dosimetry Methods”.

Aquí, se hace una tabulación de dosímetros y el azul de metileno con cierta composición se caracteriza como:

(Goldblith) 5 % más o menos de 10^4 a 10^5 en rads y por hora 2 % más de 10^4 a 10^8 rads.

Asimismo, se reportan los dosímetros de azul de metileno en forma de Gel Da₂ 50 0.001 - 0.003 % de azul de metileno en 1 % agar y al aire libre y se denomina como Da₂ 51.

También, se reporta el Benzol gel Da₂ 50 1 % agar, 1 % benzonato de sodio, 0.2 % ácido Benzoico.

Da₂ 51 0.003 % azul de metileno en agua y al aire (48).

Por otro lado, Samuel A. Goldblith, Bernard E. Proctor, and Olivia A. Hammerle del Department of Food, Technology, Massachusetts, Institute of Technology, Cambridge, Mass.

Aquí, se hizo una solución de azul de metileno. Con la concentración de la misma, se midió antes y después de la radiación con un colorímetro Lumetrón., Mod. 400 A, y con un filtro de 650 m μ . Se elaboró una curva con agua destilada.

Se encontró que, medir la radiación ionizante con sustancias que cambian de color es un método rápido (49).

OTROS ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN CON EL AZUL DE METILENO.

Las propiedades de alta sensibilidad del azul de metileno a las radiaciones ionizantes, lo han hecho muy útil como dosímetro(49).

Así, Taj Mohammad y Harry Morrison, presentan el artículo “Simultaneous Photoconjugation of Methylene Blue and cis-Rh (phen)₂ Cl₂⁺ to DNA via a Synergistic Effect”, donde establecen que, en relación a la absorción por colorantes de la irradiación de luz roja, el colorante de la irradiación de luz roja, el azul de metileno, en presencia de metales complejos como el cis-Rh (phen)₂ Cl₂⁺ (BISPHEN), produce un fotoenlace irreversible de dichos reactivos con el DNA. Además, se ha encontrado que el mencionado azul de metileno tiene una alta actividad virulenta en la sangre. También, reconocen ampliamente la fotosensibilidad del azul de metileno con el DNA en su enlace covalente (50).

Por otro lado, Lafuente, B; Goldblith, S.A. ; Proctor, B.E., presentan su artículo “Some Further studies on the Application of Methylene Blue in Aqueous solution as a Dosimeter for Intense Beams of High-Energy radiation”, donde indican que, soluciones acuosas de azul de metileno en ampoyetas selladas, se han expuesto a la radiación gamma y se almacenaron durante dos meses a diferentes temperaturas, chocando la pérdida de color. Los resultados indican que, la decoloración se registra después de la irradiación y que la velocidad de pérdida de dicha coloración depende de la temperatura en el almacenaje.

Otro experimento, se hizo irradiando con un haz de electrones y se encontró que, prácticamente no existe diferencia en la decoloración cuando las temperaturas durante el proceso de irradiación varían de 45 a 15° F (51).

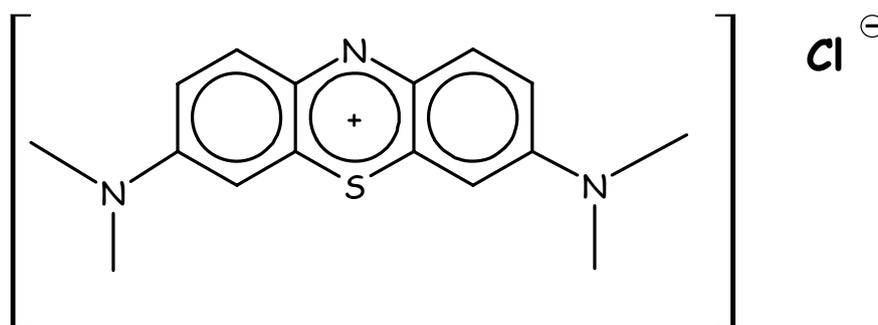
Asimismo, Mythili Ushamani, K. Sreekumar, C. Sudha Kartha, Rani Joseph, Cochin de la Univ. Of Science and Technology (India), tienen el artículo “Novel methylene-Blue-sensitized Photopolymers for holographic recording: a comparison”. Establecen que, a pesar de que el azul de metileno es sensitizador de los polímeros como los PVA, PMMA, gelatinas etcétera, el cambio que ocurre en el mencionado azul de metileno, teniendo como matriz PVC con la radiación laser, es permanente.

También, se hizo un estudio comparativo de esos polímeros como matrices y las gráficas se registraron, habiéndose hecho la irradiación con un laser de He-Ne y operando a 632.8 nm. (52).

Por otro lado, J. Ryu, W. Choi y K.-H. Choo, presentan el trabajo “A pilot-Scale Photocatalyst-membrane hybrid reactor : performance and characterization”, donde se establece que, usando radiación ultravioleta en el azul de metileno, la velocidad de decoloración era más rápida que cuando se usó rodamina B y dicha decoloración fue reversible (53).

En la siguiente lámina del Azul de Metileno, se observan los enlaces dobles donde, existe la posibilidad del rompimiento de la molécula una vez que la misma entra en

resonancia con una de tantas familias de armónicas cuya longitud de onda coincide con la de la mencionada molécula de Azul de Metileno.



Fórmula del Azul de Metileno

III.6.- GENERACIÓN DE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA EN AGUA DE-IONIZADA

La molécula de agua está constituida por dos átomos de hidrógeno unidos en forma covalente a uno de oxígeno, es altamente polar, no es lineal y crea estructuras tridimensionales debido a la hibridación de los orbitales atómicos **s** y **p** del oxígeno; los orbitales **1s** del hidrógeno comparten dos electrones con los orbitales híbridos **sp³** del oxígeno.

Los átomos que forman el agua tienen una gran diferencia de electronegatividades que se deben precisamente a que el oxígeno tiene un gran poder de atracción por los electrones de los dos hidrógenos, lo que ocasiona que éstos desarrollen una carga parcial positiva $\delta (+)$, y el átomo de oxígeno una carga parcial doble negativa $2 \delta (-)$; esto hace que se produzca un momento bipolar muy fuerte. Es decir, esta molécula no tiene una carga determinada, pero sí un dipolo eléctrico potente que le permite formar puentes de hidrógeno estables con otras moléculas iguales o diferentes, pero también de naturaleza polar.

El puente de hidrógeno es el resultado de una atracción electrostática y se produce cuando dos átomos cargados negativamente se unen mediante uno de hidrógeno, de tal manera que solamente pueden participar los elementos más electronegativos.

No es propiamente un enlace químico, sino solamente una fuerza de unión electrostática entre átomos provenientes de compuestos polares. Es muy débil sin

embargo, como todas las moléculas de agua tienen la capacidad de formar estos enlaces simultáneamente, en conjunto representan una gran fuerza. Cabe mencionar que a 37°C , el agua establece de **35 a 47 %** de puentes de hidrógeno.

Además, tiene otras características peculiares como su elevado calor específico que es de $4.184 \text{ kJ/ kg }^{\circ}\text{K}$ o $1.0 \text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$, a 20°C .

Las moléculas de agua por su carácter polar, no se mantienen separadas ya que, para bajar su energía, se unen unas a otras a través de enlace de los puentes de hidrógeno (54). (Fig. III.1.).

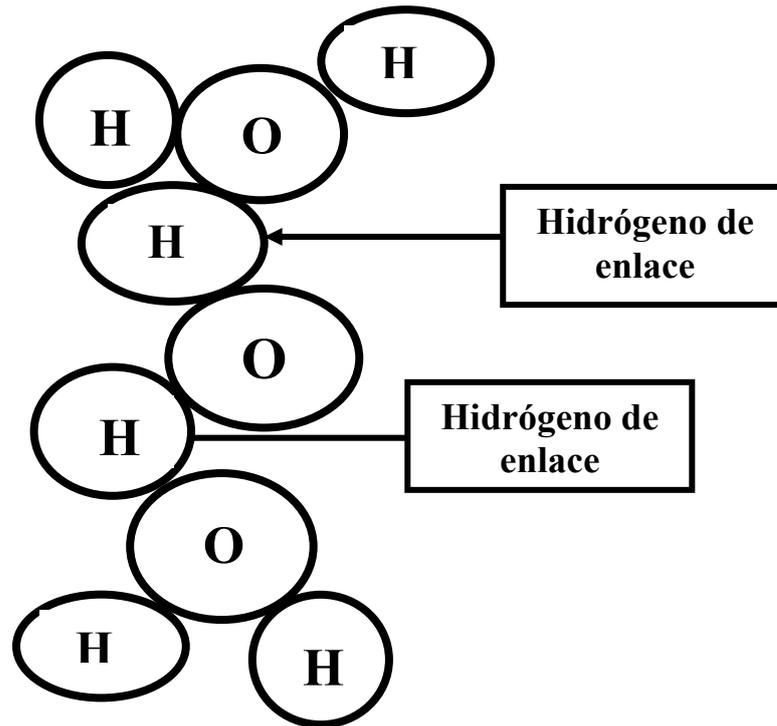


Fig. III.1.- Enlace de moléculas de agua con hidrógeno para bajar su energía

Según Paul R. Frey, sólo una molécula de agua se disocia de cada 500 millones de las mismas(55).

Sabemos que cuando se insertan dos electrodos en una solución, es posible generar una corriente eléctrica entre ambos. Esto se debe a que en uno de los electrodos ocurre una reacción de oxidación que produce los electrones suficientes para reducir el otro electrodo, a condición de que el sistema posea los electrolitos necesarios para esta transferencia(56).

En relación a la generación de una corriente eléctrica con excitación ultrasónica en agua, la mayor contribución la ha dado S. Suslick, 1988 (7) con sus múltiples experimentos de la interacción ultrasónica con los materiales. Así por ejemplo:

Disociación de la molécula de agua, degradación de inorgánicos, orgánicos, organometálicos, polímeros y modificación del ADN.

En relación al ultrasonido, se hace notar que, el fenómeno de la “cavitación” es un evento explosivo cuando el agua se somete a la radiación ultrasónica (57).

Asimismo, Harold Aspden en su trabajo “Hydrosonic Power Generation”, indica que en el fenómeno de la sonoluminiscencia, existen unas burbujas de agua que se expanden y contraen a una frecuencia de 25 kHz., y emiten luz visible cuando se excita al agua con pulsos ultrasónicos.

También, anota que en el caso de la sonoluminiscencia en el agua, cada burbuja tiene un punto focal con altas compresiones. Establece que, el agua se disocia parcialmente en iones positivos de hidrógeno e hidrógeno negativos. Hace la aclaración que, en la sonoluminiscencia, el resultado es que el agua ionizada contiene pequeñas burbujas de aire sujetas a pulsaciones ultrasónicas y temperaturas altas que se disipan. Esto se puede aprovechar para obtener hidrógeno y oxígeno como combustible para usos industriales (58).

ESTUDIOS DE LA DISOCIACIÓN DEL AGUA CUANDO ES EXCITADA POR RADIACIÓN IONIZANTE

A pesar de que Kenneth S. Suslick (1988) ha demostrado plenamente la disociación de la molécula de agua cuando es excitada con radiación ultrasónica, aquí, se presentan algunos casos donde dicha disociación molecular se efectúa con excitación de radiación llamada ionizante.

Estos eventos son importantes en virtud de que, en un fluido de agua de-ionizada, al realizar la disociación de la molécula de agua, dicho fluido se convierte en un electrólito donde los iones, en este caso serían los oxhidrilos (OH^-) e hidrógenos (H^+). Ya con lo anterior, poniendo dos electrodos, por ejemplo uno de cobre y el otro de zinc, se establecería una corriente eléctrica.

En primer lugar, se presentan los testimonios que da John W. Keely en su trabajo “Water Radiolysis or The Dissociation of Water by X-Rays”, donde establece que, desde hace algún tiempo, los investigadores habían demostrado que el agua se descomponía en hidrógeno y oxígeno cuando algún peróxido de hidrógeno se sometía a una radiación de rayos X. Sin embargo, en la actualidad, existe una gran cantidad de información de los productos de la molécula de agua cuando la misma es sometida a irradiación ionizante.

Por otro lado, Yuri T. Didenko, William B. McNamara III, y Kenneth S. Suslick en su trabajo, “Temperature of Multibubble Sonoluminescence in Water”, estudia la sonoluminiscencia en agua preparada y establece que, este fenómeno a pesar de que durante 50 años se ha estudiado, aún no se sabe cómo se produce el mismo. También,

menciona que durante la sonólisis, la molécula de agua en sus colisiones inelásticas sufre estados electrónicos y vibracionales y si absorbe suficiente cantidad de energía, se disocia dando átomos de hidrógeno y radicales hidroxilos(59).

Asimismo, Thomas Prevenslik en su trabajo “Bubbles, bubbles, and more bubbles”, establece que, en la sonoluminiscencia se observa la luz visible y la ultravioleta también se da durante la cavitación ultrasónica en agua y durante otras excitaciones. También, menciona que en este fenómeno se producen radiaciones infrarrojas y el agua sufre una disociación en sus moléculas en iones de hidronio H_3O^+ , radicales hidroxilos OH^- y estados excitados de Ar^*OH (60).

También, David J. Flannigan and Kenneth S. Suslick en su trabajo “Plasma formation and temperature measurement during Single-Bubble Cavitation”, establecen que, durante la sonoluminiscencia, según cálculos, existe un núcleo plasmático, caliente y como consecuencia, radiación bremsstrahlung. También, mencionan que existen reportes controversiales en el sentido de que durante la cavitación acústica se han observado **neutrones desprendidos de la fusión del deuterio**. Por otro lado, David J. Flannigan y otros, establecen que, en su investigación observaron la emisión de argón atómico (Ar), (SO) molecular y (O_2^+) iónico en una solución acuosa de H_2SO_4 (61).

CAPÍTULO IV : EJECUCIÓN EXPERIMENTAL

La ejecución experimental del presente trabajo fue dividido en dos partes bien diferenciadas.

Análisis espectral del pulso ultrasónico
Interacción del pulso ultrasónico con la materia

IV.1.- ANÁLISIS ESPECTRAL

Este trabajo puede ser realizado de dos maneras:

IV.1.1.- Con equipo electrónico.-

Los trabajos rutinarios con ultrasonido que se hacen en un laboratorio, son principalmente de limpieza de piezas o disolución de sólidos. El equipo empleado es normalmente una simple cuba de ultrasonido con transductores de aproximadamente 17. kHz.

Como algo paradójico, en estas cubas de baja frecuencia, es donde se ha dado el fenómeno más desconcertante, o sea los **“hot-points”** o **“hot-spots”**. En estos eventos, como ya se ha establecido, se dan en la nucleación, crecimiento e implosión de la burbuja generada en un lugar puntual al excitar ultrasónicamente a un fluido. En este fenómeno, se han detectado altas temperaturas (5000 ° C), presiones de 500 atm., y gradientes de temperaturas de 400 ° C/s. En este mismo evento, se ha observado la sonoluminiscencia que como sabemos, en el espectro electromagnético, en la zona de luz visible, tiene frecuencias de 1×10^{15} hz.

Asimismo, algunos investigadores, al excitar ultrasónicamente a fluidos, han detectado la presencia de **neutrones** que como sabemos provienen del núcleo y que por las dimensiones de dicho núcleo (un fermi = 1×10^{-15} m) y por la radiación gamma proveniente del mencionado núcleo, en el espectro electromagnético, tiene frecuencias de 1×10^{21} hz.(16,17 ,20).

Otros investigadores, como ya se registró, están tratando de aprovechar las altas temperaturas que se dan en la cavitación para investigar la **“sonofusión”**.

En las investigaciones realizadas en el Instituto Mexicano del Petróleo, se ha encontrado que las frecuencias más efectivas para degradar el Crudo de Petróleo tipo Maya, están entre los 15 y 25 kHz.

Si consideramos la frecuencia fundamental del piezoeléctrico que en nuestro caso es de 17 khz., y la velocidad de las ondas ultrasónicas en el agua de 1500.m/s ; $\lambda = 1500 \text{ m/s} / 17,000 \text{ s}^{-1} = 0.088 \text{ m} = 8.8 \text{ cm}$.

Como podemos ver, una onda de 8.8 cm., no sería capaz de entrar en resonancia con objetos como bacterias o esporas. Luego, en alguna parte de la cuba ultrasónica se están generando armónicas muy finas y esa parte, no puede ser la pastilla piezoeléctrica por sus dimensiones. Por esto, se considera que, la fuente de esas microondas se da en el circuito oscilador de nuestro aparato ultrasónico.

Por esta razón, se procederá a hacer un análisis espectral en el pulso ultrasónico que se ubica antes y después de la pastilla piezoeléctrica.

Ante la negativa de poder encontrar un analizador de espectro que detecte hasta la última armónica que produce la sonoluminiscencia y el desprendimiento de **neutrones**, por ésto, dentro de nuestras posibilidades se hará sólo el análisis que nos indique frecuencias de kilohertz y gigahertz. De aquí, tendremos que extrapolar para localizar el lugar de origen de estas armónicas. (ver fig. IV.1). (16, 17,20).

Equipos:

- Equipo de ultrasonido Kraut Kramer Branson, Mod. USL-48, con pulso inicial de 5 MHz
- Analizador de espectro de 26.5 Gigahertz, de la marca Agilent Technology, Mod. 4407B
- Analizador de espectro de 16 Gigahertz para calibración (Agilent Technology, Mod. 8449B)
- Filtro de frecuencias *pasa altas*
- Preamplificador
- Cuba de lavado ultrasónico (SONOGEN, Mod. D-100, de 17.920 KHz)
- Analizador de Espectros (Hewlett packard Mod. 35665B, de 100 KHz)

En primer lugar, se hará un análisis espectral al pulso ultrasónico que está antes de la pastilla piezoeléctrica. Esto es, directamente en las terminales del equipo de ultrasonido de la marca Kraut Kramer Branson, modelo USL-48. El pulso original es de 5 Mhz.

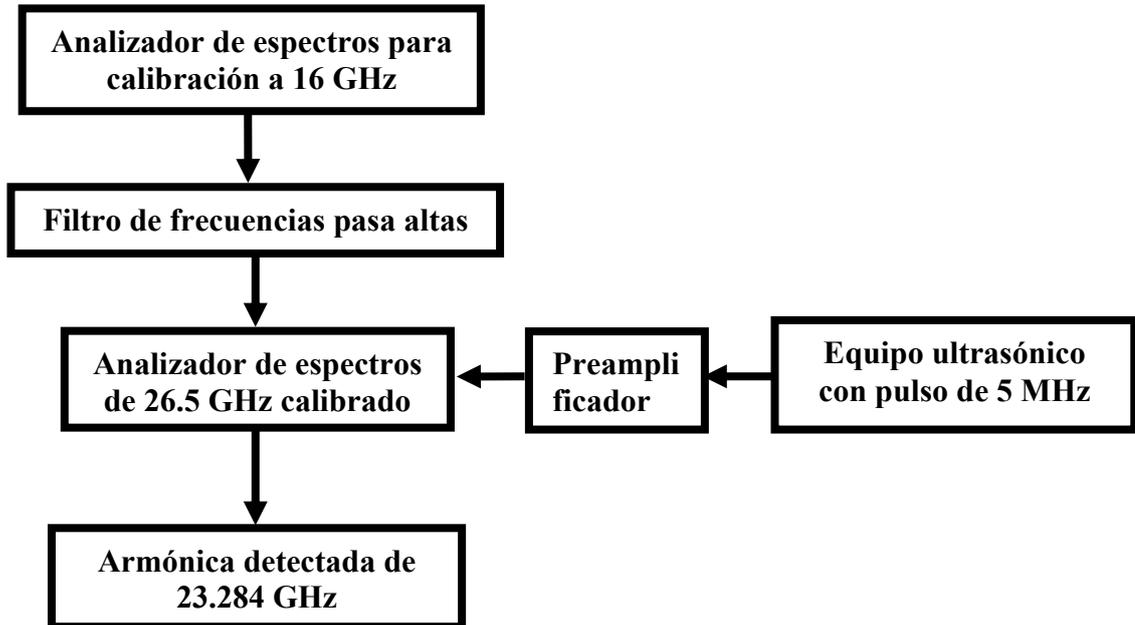


Fig. IV.1.- *Calibración y Procesamiento del Pulso Ultrasónico*

Descripción del proceso

Para efectuar el análisis espectral del pulso ultrasónico, primeramente, el analizador fundamental de 26.5 GHz fue calibrado con otro de 16 GHz montado en serie, antes de un filtro de frecuencias *pasa altas* para eliminar las bajas y suprimir de esta manera las perturbaciones en la señal procesada por el equipo fundamental. Para la detección de las armónicas superiores *antes* del piezoeléctrico, se utilizó una señal ultrasónica de origen de 5 MHz, la intensidad de esta señal fue incrementada con la ayuda de un preamplificador. De esta manera se pudo ubicar perfectamente la señal ultrasónica en estudio y detectar una armónica con frecuencia de 23.284 GHz. (La frecuencia fundamental se repitió en armónicas aproximadamente 4,657. veces). O sea $23.284 \times 10^9 / 5 \times 10^6 = 4,657$. repeticiones del pulso fundamental.

Además de esta armónica principal, las armónicas superiores se seguían sucediendo unas a otras pero, cada vez con menor intensidad. El analizador ya no tuvo la suficiente sensibilidad para ir detectando estas armónicas superiores por que el ruido de fondo las cubría completamente. Ésto se puede ver en la gráfica No. IV.1.

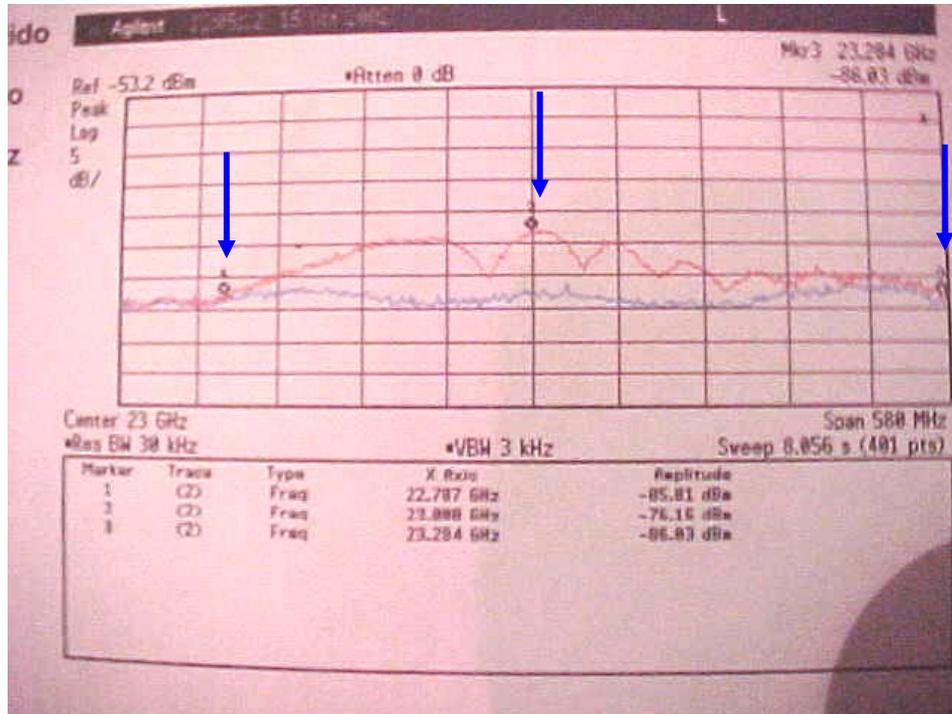
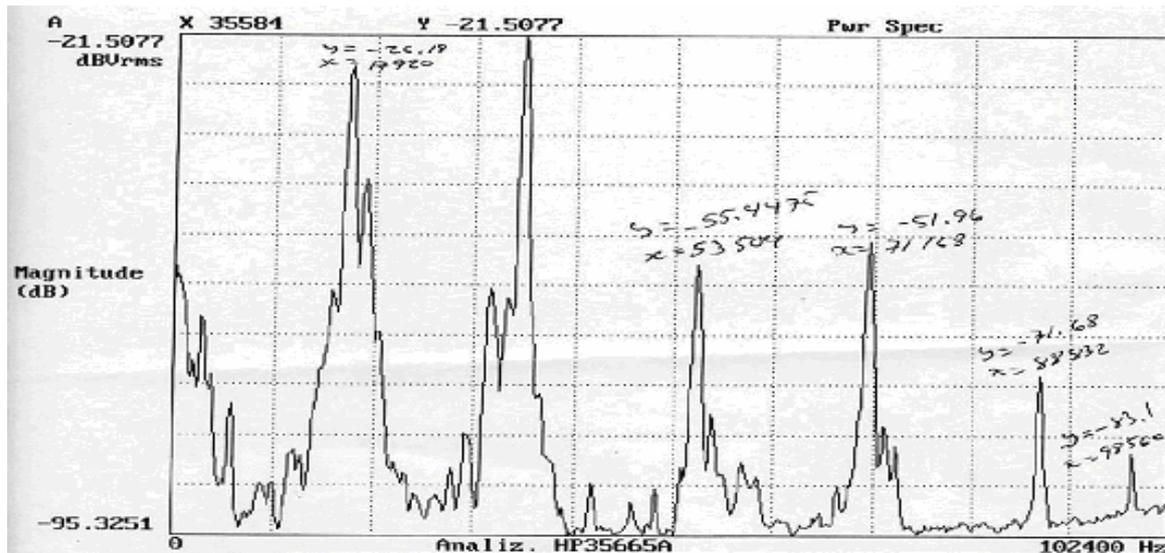


Gráfico IV.1.- Procesamiento del pulso ultrasónico de 5 MHz, presentando la armónica de 23.284 GHz

En segundo lugar, para definir dónde se producen las armónicas muy finas de orden superior, con un analizador de espectros de la marca Hewlett Packard, modelo 35665B, de hasta 100. kHz., se hizo un estudio a un pulso ultrasónico de 17.920 kHz., a la salida de una cuba de lavado ultrasónico de la marca Sonogen. Dicho pulso analizado, se ubica después de la pastilla piezoeléctrica o del transductor. O sea que, la señal se detecta directamente en la tina del mencionado equipo ultrasónico. Los resultados, se pueden ver en la gráfica No. IV.2.



Gráfica No IV.2 Espectro de frecuencia de la cuba de lavado ultrasónico Sonogen, la fundamental y las siguientes cuatro armónicas.

IV.1.2. - Con procedimientos computacionales

Tomando en cuenta que la señal de la radiación ultrasónica es analógica; para poder hacer un análisis espectral con computadora, es necesario una interfase analógico-digital. Por otra parte, para poder obtener resultados que pongan en evidencia las interacciones del ultrasonido con la materia, es necesario hacer un muestreo muy fino con intervalos de tiempo hasta del orden de 10^{-16} s. De esta manera se pueden obtener los datos suficientes para alimentar un programa de cálculo que trabaje sobre la base de las Transformadas de Fourier.

Atendiendo al Teorema de Nyckest (62), para hacer el muestreo de una señal, tenemos la siguiente relación:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot v_{\max}} \text{ [seg.]}$$

Donde:

Δt es el intervalo de tiempo para hacer el muestreo.

v_{\max} es la frecuencia máxima de la armónica que se pretende detectar

Por ejemplo, para excitar los asfaltenos, cuyas dimensiones son aproximadamente 4 nm, se requiere una frecuencia de aproximadamente 600 Gigahertz, lo que quiere decir que la rapidez de muestreo será:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot 600 \cdot 10^9}$$

$$\Delta t = \frac{1}{12} \cdot 10^{-11}$$

$$\Delta t = 8.3 \cdot 10^{-13} \text{ [seg.]}$$

Por otra parte, si deseamos desprender un electrón de dichos asfaltenos, suponiendo un factor de trabajo de 4 eV. La frecuencia requerida sería de aproximadamente 967,400.GHz y en tal caso, la rapidez de muestreo sería:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot 967,400 \cdot 10^9}$$

$$\Delta t = \frac{1}{1.9} \cdot 10^{-15}$$

$$\Delta t = 5.3 \cdot 10^{-16} \text{ [seg.]}$$

Como se puede observar, la rapidez de muestreo es tan elevada que dificulta su procesamiento en computadoras convencionales.

IV.2.- INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRASÓNICA CON LA MATERIA

Durante esta parte del trabajo se estudiaron los mecanismos de interacción de la radiación ultrasónica con la materia en dos diferentes estados que son sólido y líquido. Para poder realizar este trabajo se empleó una cuba de baño ultrasónico comercial con una radiación fundamental de aproximadamente 17 KHz; efectivamente, se tiene información bibliográfica sobre el hecho que incluso estos equipos son capaces de generar radiaciones de alta energía. (7, 12, 13, 14,15, 16,17,18, 19,20).

IV.2.1.- Partículas sólidas

Con la excitación ultrasónica de partículas sólidas, se pretende ver el efecto de las armónicas superiores, generadas a partir de un pulso fundamental, sobre los materiales sólidos corrientes. Al parecer dichas armónicas tienen una intensidad suficiente como para poder entrar en resonancia con partículas cada vez más pequeñas, fracturar sus enlaces intermoleculares y promover así su volatilización.

Dada la magnitud de los fenómenos a medir, los experimentos fueron realizados tomando en cuenta los detalles constructivos que permitan minimizar la influencia de otros factores experimentales como son la humedad, la hermeticidad y la geometría del sistema de experimentación. De esta manera, se asegura una buena reproducibilidad y resultados con mayor credibilidad.

IV.2.1.1.- Excitación ultrasónica de Hematita

El equipo empleado fue el siguiente:

Cuba de lavado ultrasónico, marca Cole-Parmer, Mod. 8845-40
Proyector de perfiles opacos, marca Nikon, Mod. V-12

Primer paso

Para evaluar la incidencia de los haces ultrasónicos sobre el material de Hematita se procedió según el diagrama de flujo siguiente (Fig. IV.2). En el primer paso, la trituration del mineral de Hematita se hizo en mortero y teniendo cuidado de no producir granos demasiado finos.

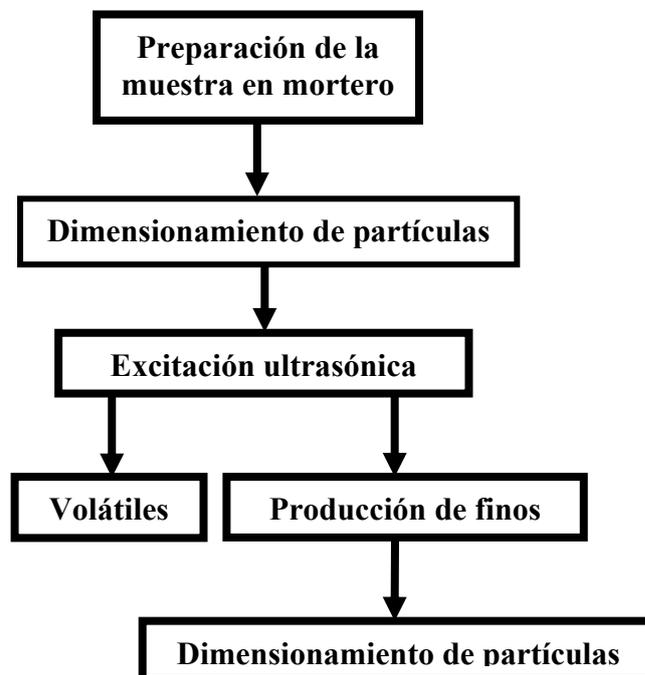


Fig. IV.2.- Excitación Ultrasónica de Partículas de Hematita

Antes de la excitación ultrasónica, sobre un papel, se pusieron las partículas y se dimensionaron las más uniformes en tamaño usando un proyector de perfiles opacos.(Tabla IV-I).

TABLA IV-1 : Dimensiones originales de las partículas de estudio

Porción	Dimensiones [μm] ²
1°	39 x 46
2°	61 x 84
3°	37 x 45
4°	105 x 78
5°	82 x 73

Segundo paso

En la cuba de ultrasonido (Fig.IV.4), se delimitó una superficie cuadrada de 1.59 cm², donde se colocó cierta cantidad de polvo de Hematita (200 mg) y se puso a trabajar la mencionada cuba de lavado ultrasónico. Después de 15 minutos, el experimento fue suspendido, ya que se podía constatar que las partículas sólidas eran disgregadas y progresivamente volatilizadas.

Finalmente, las partículas restantes de la excitación fueron recuperadas empleando una cinta adhesiva del tipo “Masking Tape” y luego fueron también dimensionadas (Tabla IV-II).

TABLA IV-2 : Dimensiones finales de las partículas de estudio

Porción	Dimensiones [μm] ²
1°	31 x 36
2°	41 x 35
3°	38 x 45
4°	34 x 42
5°	21 x 25

IV.2.1.2.- Excitación ultrasónica de Galena y estudio con la resonancia paramagnética electrónica (R.P.E.).

Para poder explicar y racionalizar estos fenómenos de desagregación de las partículas sólidas, se procedió al análisis por RPE con el objeto de rastrear la presencia de

electrones no apareados en la superficie del sólido, como consecuencia del aporte de energía mecánica por medio de la excitación ultrasónica.

Para este efecto, el material sólido de *Galena* fue procesado de la misma manera que en las pruebas anteriores, pero seleccionando en dos porciones de granulometría diferente (-100, +200 mesh) y (-200 mesh). 0.3 g de cada una de estas porciones fue estudiada por RPE con un equipo Varian, mod. E- 101 (Fig. IV.3). Dicho equipo no detectó señal alguna.

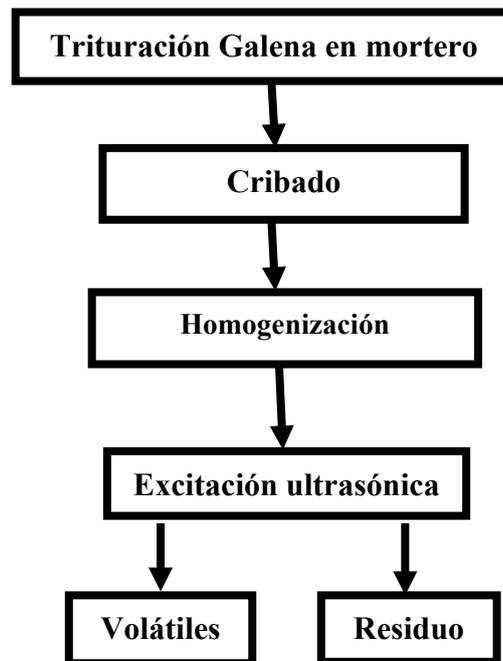


Fig. IV. 3.- Excitación Ultrasónica de Partículas de Galena

En una segunda prueba, el material sólido procesado fue sometido al tratamiento ultrasónico; primeramente en las mismas condiciones que con la *Hematita* y posteriormente colocando el sólido de *Galena* en un tubo de vidrio en forma de U para poder recuperar las partículas volatilizadas durante el tratamiento ultrasónico (Fig. IV.4).

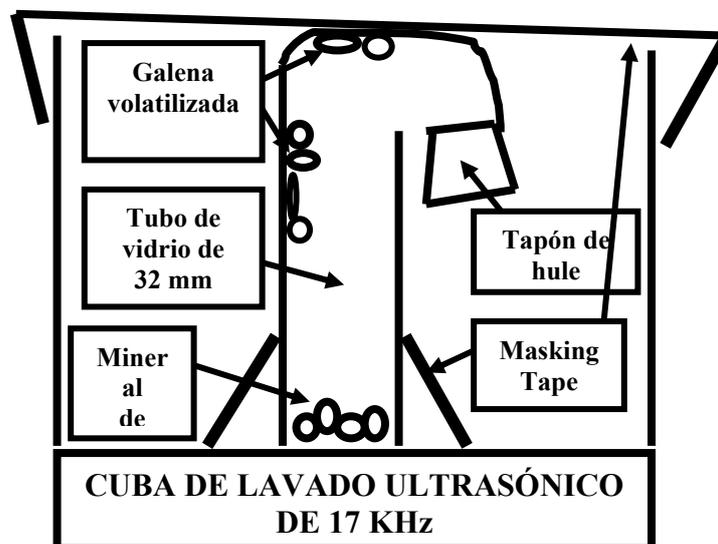


Fig. IV.4.- Arreglo experimental para la excitación

Sobre la cuba de lavado ultrasónico, se pusieron 2.0 gramos de una de las porciones del polvo de *Galena* [$- 100 (< 150 \mu\text{m})$; $+ 200 (> 74 \mu\text{m})$]. Después de una hora de tratamiento quedaban solo 1.8 gramos. Al constatar esta aparente pérdida de masa, se procedió al mismo tratamiento ultrasónico pero con el dispositivo de vidrio en *U* donde se observó la deposición ligeramente perceptible de un polvo amarillento.

Ante la posibilidad de que la aparente pérdida de masa se deba al secado del material por evaporación de su humedad inicial, se procedió a una determinación de humedad del producto de partida, a $120 \text{ }^\circ\text{C}$ a masa constante y se constató que esta humedad era sólo del 0.03 %. Lo que nos indica que la pérdida inicial de masa no puede ser debido al secado.

Entonces, el residuo sólido, después del tratamiento ultrasónico, fue nuevamente tamizado por malla 200 ($> 74 \mu\text{m}$) y se pudo constatar el paso de otros 0.2 g de sólidos; indicando nuevamente que hubo desagregación debido a la excitación ultrasónica.

IV.2.1.3.- Excitación ultrasónica del Aluminio

Para observar hasta donde podía ir esta acción desagregante de las ondas ultrasónicas se estudió su incidencia sobre el Aluminio. Para este efecto se cortaron seis tiras de hoja de Aluminio de 1 X 5 cm., de la marca Reynolds Wrap. Dos de estas tiras fueron guardadas en un recipiente cerrado y tomadas como muestras de referencia; las otras cuatro fueron introducidas en un vaso de precipitados de 250 ml y cubiertas completamente con 100 ml., de agua de-ionizada. El vaso es introducido en la cubeta de un baño de ultrasonido marca Branson, Mod. B-72 para ser irradiado en dos condiciones (Fig.IV. 5):

- 1.- en cubeta seca
- 2.- en cubeta con agua

Después de 2 h. de exposición al ultrasonido, las cuatro tiras son retiradas del agua con ayuda de una pinza para no contaminar las muestras. Luego son enjuagadas con acetona y secadas con una corriente de aire caliente. Después de este tratamiento, las láminas son observadas al microscopio electrónico adaptado a una computadora y comparadas con las muestras que no fueron sometidas a la acción del ultrasonido (Fig.IV. 6).

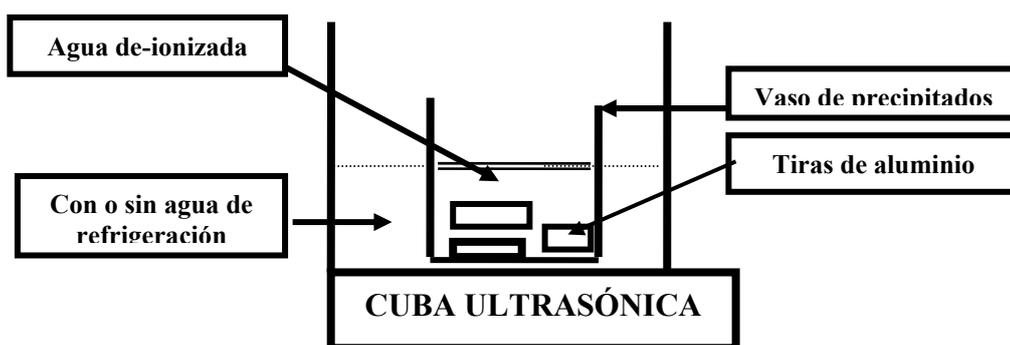


Fig.IV.5.- Excitación ultrasónica del aluminio

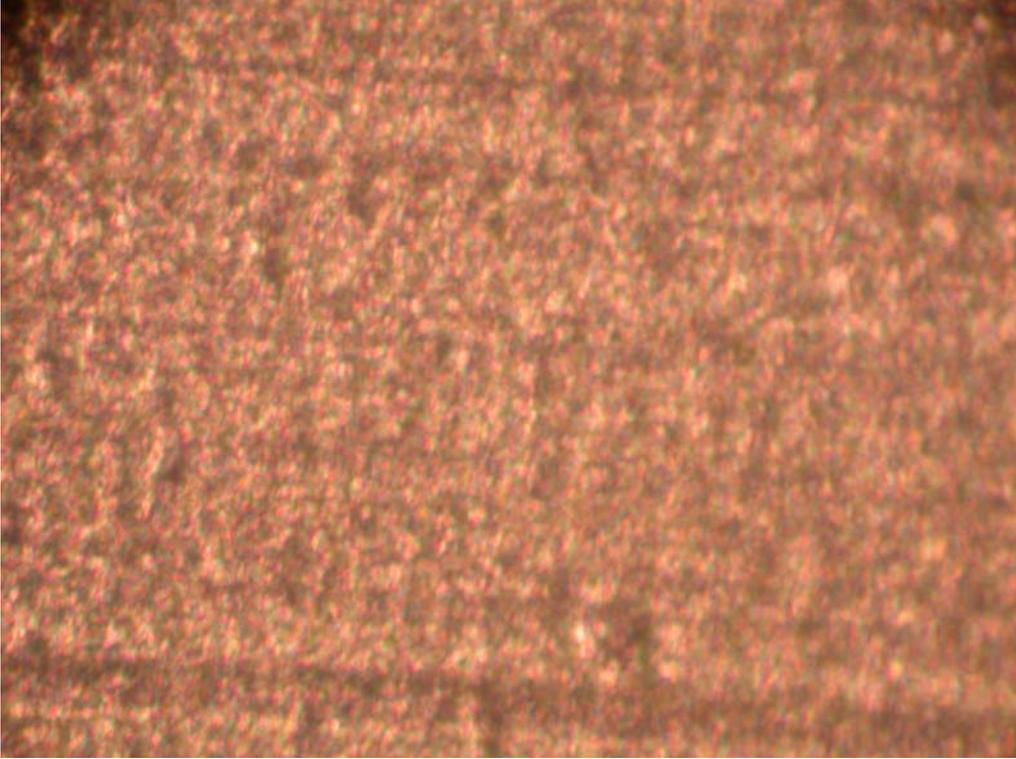


Fig.IV.6 (a) *Microscopio electrónico con computadora: Aluminio sin excitación ultrasónica*

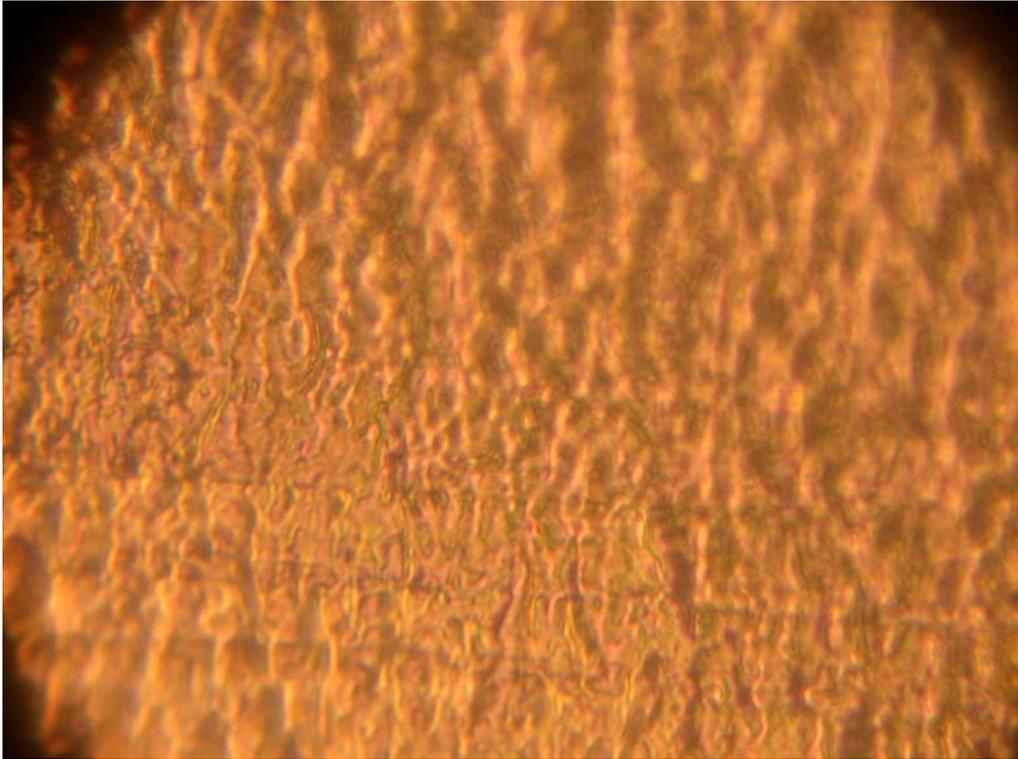


Fig. IV.6 (b) *Microscopio electrónico con computadora: Aluminio con excitación ultrasónica*

La evaluación visual de ambas muestras nos permite ver que las láminas de Aluminio irradiadas muestran una superficie totalmente irregular y deteriorada, por lo menos comparada con el producto que no fue sometido al ultrasonido.

IV.2.1.4. - Otros Sólidos

Con el fin de corroborar los resultados obtenidos durante la radiación ultrasónica de la Galena (**Párraf. IV.2.1.2**), se tomaron otros metales para someterlos al mismo tipo de radiación. El objetivo es siempre el de detectar alguna manifestación de corrientes eléctricas hacia un ánodo de Cu, en un sistema hermético al vacío (**Fig. IV-7 y IV.8**).

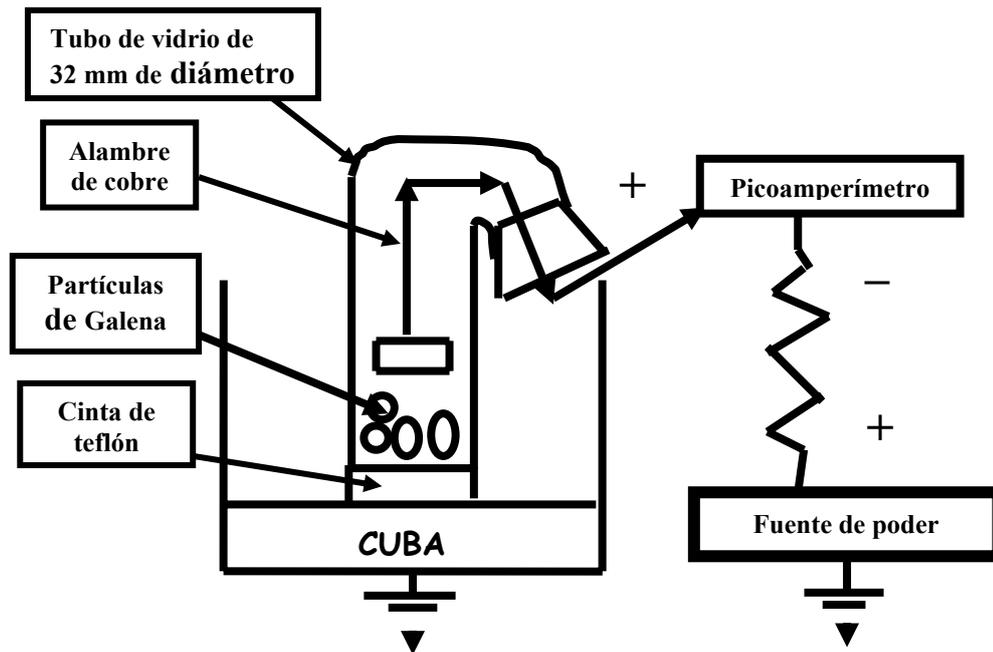


Fig. IV.7.- Esquema del intento de generación de corriente eléctrica excitando Galena

Los materiales empleados en este experimento fueron:

- Acero inoxidable
- Estaño
- Zinc
- mercurio
- Sulfoantimonuro de Cesio
- Película Kodak de Nitrato de Celulosa LR115
- Un gramo de Galena tamizado -100 +200 mallas

El equipo empleado fue:

- Una cuba de lavado ultrasónico marca Branson, Mod. B220
- Una fuente de poder de la marca Ortec, Mod. 446
- Un electrómetro de la marca Keithley Instruments, Mod. 610 C
- Una resistencia equivalente a 90 MΩ
- Un tubo de vidrio en forma de U de 32 mm de diámetro con un tapón de hule.
- Una ampollita de vidrio con un diámetro de 7 cm.

Después de irradiar ultrasónicamente durante 1 h aplicando una tensión de 700 V, se detectaron algunas trazas residuales de corriente, muy inestables, del orden de 2.3×10^{-11} A.; dada la sensibilidad del electrómetro (picoamperímetro), es muy probable que lo único detectado fueron corrientes parásitas inducidas por el entorno, por lo que no se puede afirmar la generación de electrones libres en la superficie de los sólidos.

Este comportamiento puede ser explicado en el montaje experimental utilizado indicando que las condiciones de vacío alcanzadas no fueron suficientes como para permitir el flujo de estas corrientes que, si se generan, deben ser demasiado pequeñas como para ser detectadas y medidas en condiciones normales de operación. Efectivamente, el vacío alcanzado (aún calentando la ampollita con un sistema de aire caliente) fue sólo del orden de 1×10^{-4} atm cuando lo mínimo requerido, tal como lo reportan en la bibliografía, debería ser del orden de 1×10^{-9} atm.

IV.3.- FOCALIZACIÓN DE ONDAS

Ante las evidencias de una interacción significativa entre la radiación ultrasónica y la materia, se planteó la posibilidad de focalizar la radiación ultrasónica incidente para incrementar más aún su energía. Para lograr este objetivo se usaron diferentes fuentes de vibración como son:

Transductores de cubas de lavado ultrasónico
Zumbadores Peltronic
Vibrador para masaje, otros ...

El montaje experimental fue realizado con láminas de Acrílico, que fueron dispuestas como cuñas con ángulos de 45 y 90° (**Fig. IV.8**).

Los resultados obtenidos no muestran diferencia significativa con los logrados en condiciones de radiación normal, razón por la que no podemos concluir que con este dispositivo se pueda afinar una focalización de radiación e incrementar de esta manera la energía.

IV.2.2.- Líquidos

Después de haber estudiado la interacción de la radiación ultrasónica con los materiales sólidos, también tratamos de evaluar esta interacción con los sistemas líquidos. El criterio de selección de los sustratos sería el de usar compuestos cuyas estructuras moleculares sean capaces de absorber fácilmente cualquier tipo de energía incidente.

IV.2.2.1.- Decoloración del azul de metileno en agua.

Sabemos que cuando una especie química es sometida a la radiación γ , es capaz de absorber parte de esta energía generando una excitación electrónica, dependiendo de la intensidad y del tiempo de exposición de la radiación. Esta absorción de energía puede originar el atrapamiento de uno o más electrones del medio ambiente provocando un cambio de tonalidad; este punto de atrapamiento se le llama “**centro de color**”. Tal centro existe en un estado excitado de la materia y su energía es la del fotón visible (63, 64).

De una manera general; la radiación con longitudes de onda muy pequeñas, que es capaz de alterar los centros de color acompañada por una fotoconductividad (24), tiene aplicaciones muy interesantes como por ejemplo, en la modificación de las tonalidades

de color de los diamantes (65), la decoloración de las pinturas (66), el blanqueo de materiales y otros.

Con estas evidencias podemos postular el hecho de que cuando un paquete de ondas ultrasónicas incide en este tipo de estructuras, una de tantas armónicas podría entrar en resonancia con uno o varios átomos de la molécula, modificando la estructura electrónica fundamental o incluso la electroneutralidad del sistema.

Es bien conocido que el azul de metileno es utilizado como fotosensibilizador ya que, es sensible a las radiaciones ultravioleta, infrarroja y otras(8). En la industria nuclear es también utilizado como indicador de las propiedades ionizantes de una radiación. Éste es siempre confirmado con la actividad de una radiación gamma que decolora al azul de metileno.

El equipo utilizado para este experimento fue:

- Un vaso de precipitado de 500 ml
- Una cuba de lavado ultrasónico Bransonic, Mod. B220
- Azul de metileno
- Agua de-ionizada con una resistencia de 678 Ω .

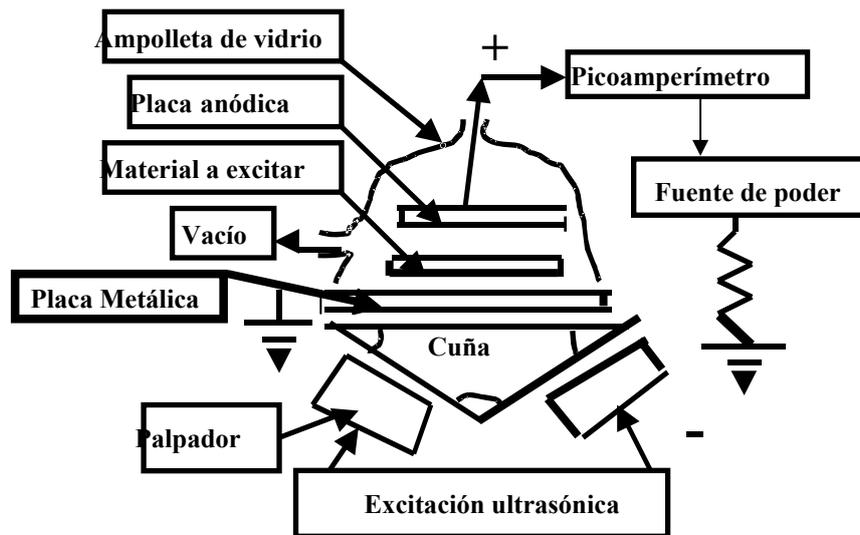


Fig.IV. 8.- Esquema de excitación ultrasónica con cuña

Procedimiento.-

En un vaso de precipitados, se pusieron 200 ml de agua de-ionizada y una punta de espátula de azul de metileno. Inicialmente, el color azul intenso y característico de la solución era evidente; después de iniciar el tratamiento ultrasónico, la solución se fue decolorando poco a poco. Al final de una hora, se suspendió la radiación y la decoloración era notable. Después de 15 minutos la solución retomó su color inicial.

Este experimento, se corrió con la cuba ultrasónica sin refrigerante, ocasionando con esto el deterioro de cinco cubas ultrasónicas. Aunque la prueba tuvo éxito, no se pudo capturar el resultado ante la reversibilidad del proceso.

Para subsanar lo anterior, se diseñó otra prueba, empleando en dicha cuba como refrigerante agua. Para tal efecto, una solución de azul de metileno en agua de-ionizada se dividió en dos vasos; uno como solución muestra patrón mientras que el otro vaso, se sometió a excitación ultrasónica durante tres horas para poder detectar visualmente la decoloración. Dicha decoloración, se captó con una cámara digital. En la siguiente lámina, se muestran los dos vasos, uno de ellos que es el de la derecha con la solución decolorada y a la izquierda se puede ver la solución patrón original.



Lámina mostrando los dos vasos con solución de azul de metileno, el de la izquierda sin excitación ultrasónica y el de la derecha irradiado ultrasónicamente.

IV.2.2.2. - Electrólisis

Generación de una corriente eléctrica en agua

Cuando un paquete de ondas ultrasónicas incide sobre una molécula de agua, la energía vibracional de dicha molécula aumenta produciendo una elongación de sus enlaces y modificando así su polaridad. En tales condiciones, las fuerzas de Van der Waals, que pueden ser atractivas o repulsivas y las fuerzas de dispersión de London (que sólo son atractivas), pueden ser anuladas ultrasónicamente y llegar en casos extremos hasta la ruptura del enlace y el desprendimiento de iones (67,7). Para ilustrar la magnitud de las fuerzas de dispersión de London, presentamos el siguiente ejemplo:

Para el cálculo de la magnitud de las fuerzas de dispersión de London (67), se emplea la constante de Hamaker ($A_h = 10^{-12}$ erg.). Por ejemplo, para dos superficies planas a una distancia de 4 femtómetros (que es la adecuada para las reacciones nucleares); la fuerza específica por unidad de área entre un protón y un electrón según London es:

$$f = A_h / 6 \pi d^3$$

donde A_h es la constante de Hamaker = 10^{-12} erg

$$f = 10^{-12} \text{ erg.} / 6 \times 3.1416 (4 \times 10^{-15} \text{ m})^3 = 10^{-12} \text{ erg} / 18.85 \times 64 \times 10^{-45} \text{ m}^3$$

Como 1 Joule = 10^7 erg.

$$f = 10^{-12} \text{ j} / 10^7 \times 18.85 \times 64 \times 10^{-45} \text{ m}^3$$

Como joule = Nxm

$$f = (10^{-12} \text{ Nxm} \times 10^{45} \times 10^{-7}) / (1206.4 \text{ m}^3)$$

$$f = 8.289 \times 10^{22} \text{ N/m}^2$$

Con esta relación podemos determinar que la magnitud de la interacción entre dos cargas opuestas (un protón y un electrón) es del orden de $8.289 \times 10^{22} \text{ N} / \text{m}^2$.

Estas fuerzas tan intensas que se dan entre las cargas de los diferentes átomos en una solución, pueden ser superadas por la excitación ultrasónica. Al entrar en acción las múltiples armónicas del ultrasonido sobre el agua, una de ellas puede estar en resonancia con la molécula de agua. Dicha resonancia es tan intensa que, con la agitación puede romper los enlaces y liberar a los iones de OH^- e H^+ . Lo anterior, se logra en parte por la promoción del ultrasonido como catalizador al acelerar las colisiones entre moléculas. En relación a la disociación de dicha molécula de agua, se debe al efecto aditivo de una familia de ondas en un momento dado.

Electrólisis en agua de-ionizada a pH de 6, excitada con ultrasonido.

Para este experimento se usó el siguiente material;

- ❖ Cuba de lavado ultrasónico marca Branson, Mod. B220
- ❖ Un litro de agua de-ionizada.
- ❖ Un electrómetro de la marca Keithley Instruments, Mod. 619 C.
- ❖ Un electrodo de zinc (recipiente de pila eléctrica)
- ❖ Un electrodo de cobre (alambre con diámetro de 2.8mm)

Dispuesto en el siguiente esquema del arreglo experimental.

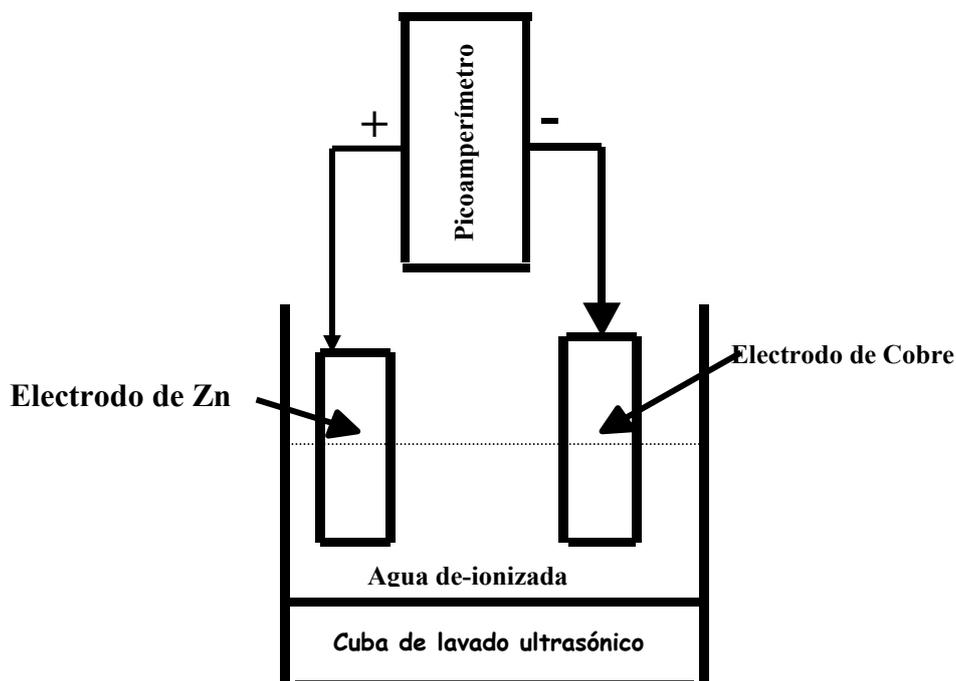


Fig.- IV.9.- Generación de Corriente Eléctrica por radiación Ultrasónica

Los resultados fueron los siguientes:

Registro del cero electrónico (4mA.)

t = 0 al aplicar el ultrasonido la corriente bajó a 3.7 mA

t = 2 min = 3.8 mA

t = 7 min se puso nuevamente en cero en 4mA.

Al aplicar el ultrasonido, la lectura fue de 0.3mA.

Ésto quiere decir que, se ha generado una corriente de electrones que va del Zinc al Cobre. Al suspender el ultrasonido, la corriente se va disipando hasta que el amperímetro llega a cero, momento en el cual se invierte su sentido.

- t= 11 min = 0.2 mA.
- t = 12 min =0.15mA.
- t = 15 min.= 0.1 mA.
- t = 17 min = 0.05mA.
- t = 21 min= 0.00
- t = 40 min, se apagó el ultrasonido y la aguja se movió a la derecha llegando a 0.2 mA.
- t = 49 min. cero.

Determinación del electrodo oxidante y del reductor en la electrólisis

Para saber qué electrodo fungió como oxidante y qué otro como reductor, se hizo un análisis por absorción atómica en un equipo de espectrometría de absorción atómica Perkin Elmer, Mod. 5000.

Los resultados fueron los siguientes:

Agua original:

Zinc = 0.04 ppm
Cobre = < 0.1 ppm

Agua tratada ultrasónicamente.

Zinc = 2.39 ppm
Cobre = < 0.1 ppm

Para comprobar los resultados anteriores, se efectuaron otras pruebas con un multímetro YF-3700 y una cuba ultrasónica Ultramet II, obteniéndose una corriente de 0.162 mA a los 20 minutos de haberse iniciado dicha prueba. Luego, los resultados sí son correctos.

Otros experimentos con ultrasonido en fluidos ayudados con agitación mecánica de una celda de flotación:

Precipitación de sólidos disueltos en un refresco de cola

Aquí, se obtuvo un fluido turbio y un precipitado de color negro.

- Precipitación del crudo de la Refinería Miguel Hidalgo en una emulsión de agua

El resultado fue que, el crudo adquirió mayor densidad que el agua y se precipitó al fondo de la cuba de lavado ultrasónico.

- Volatilización del tolueno

Aquí, al final de 20 minutos el tolueno se volatilizó completamente, dejando sólo algunos restos de agua condensada.

Asimismo, se excitó ultrasónicamente a los siguientes fluidos:

Jugo de zanahoria con viscosidad original de 32.966 centistokes y a los 60 minutos de excitación 33.305

Coca-Cola con viscosidad original de 32.932 centistokes y al final de 60 minutos de excitación 33.475

Cerveza con viscosidad original de 34.830 centistokes y al final de 60 minutos de excitación 33.950

Miel de abeja con viscosidad original de 40.231 centistokes y al final de 60 minutos de excitación 39.247

También, se excitaron ultrasónicamente a orgánicos sólidos con resultados notables. Los mismos fueron: Mantequilla de cacahuete, margarina y salchicha.

CAPÍTULO V : DISCUSIÓN DE RESULTADOS

V.1.- ANÁLISIS ESPECTRAL

Con equipo

Como sabemos, el equipo electrónico llamado analizador de espectro, trabaja en función de la transformada de Fourier y lo podemos considerar como con aditamentos tipo filtro. Se trata de procesar una señal analógica para poder separar y presentar las múltiples familias de armónicas que contiene la mencionada señal analógica.

Como ya quedó asentado, el objetivo de este análisis es determinar el lugar donde nacen las armónicas. Ahora bien, en virtud de que dichas armónicas se detectaron adelante y atrás de la pastilla piezoeléctrica, es fácil concluir que, tales armónicas se están produciendo desde el módulo o circuito llamado oscilador.

Por los espectros obtenidos, se puede deducir que las armónicas se continúan hasta frecuencias muy altas que pueden llegar y sobrepasar la región de los terahertz. Lo anterior, es porque al vibrar un electrón genera una onda muy fina y otras de orden superior por vibrar también a otras armónicas.

Ahora en primer lugar, la señal ultrasónica procesada en el analizador de espectros, presenta aspectos muy interesantes debido a que, un pulso fundamental de 5 MHz ($1 \text{ MHz} = 1 \times 10^6 \text{ Hz}$) se pudo desdoblar hasta 23.284 GHz, representan aproximadamente 4,600 armónicas. ($1 \text{ GHz} = 1 \times 10^9 \text{ Hz}$). En dicho analizador se pudieron observar señales que podrían corresponder a frecuencias mayores pero, al confundirse con el ruido de fondo, no se podía afirmar la existencia de armónicas mayores a la detectada ya que, el mencionado analizador sólo tenía capacidad hasta 26.5 GHz. En virtud de que este análisis se hizo antes de la pastilla piezoeléctrica, podemos pensar que las armónicas superiores vienen desde el módulo emisor del equipo.

Por los resultados obtenidos al procesar la señal ultrasónica, se puede suponer que, la secuencia de las armónicas continúa en forma infinita, sólo que los diferentes medios que registran en su recorrido ocasionan la atenuación de las mismas.

En segundo lugar, se efectuó otro análisis espectral a un pulso ultrasónico de 17.920 kHz., después de la pastilla piezoeléctrica y, se obtuvieron armónicas hasta de 88.800 kHz., con lo que, se demuestra que las armónicas finas no vienen de dicha pastilla piezoeléctrica y sí proceden del circuito oscilador del equipo de ultrasonido. Esto es, porque las armónicas de orden superior aparecen antes y después de dicha pastilla piezoeléctrica.

V.2.- FRACTURAMIENTO Y VOLATILIZACIÓN DE PARTICULAS SÓLIDAS

V.2.1. Excitación ultrasónica de la Hematita

Las bondades del ultrasonido, radican en que, como son múltiples las familias de armónicas que van en el paquete, en un momento dado, un grupo de ondas, puede entrar en fase o sea que coinciden en todas sus propiedades tales como longitud de onda, frecuencia, periodo y ángulo de fase en grados y con ésto, se da el efecto aditivo o sea que, la suma de sus amplitudes se ve incrementada. Como sabemos, la intensidad de una onda es directamente proporcional al cuadrado de la amplitud, y con más detalle:

$$I = (\text{Ampl.})^2 / 2 \text{ Densidad del medio } \times \text{ velocidad de onda}$$

En el caso de la hematita, la primera constatación experimental fue que la masa inicial de la muestra irradiada disminuía significativamente, lo que sólo podía ser el resultado de dos fenómenos: o una pérdida de la humedad inicial de la muestra o una volatilización del material sólido. La evaporación de agua fue corregida determinando el contenido inicial de agua de las muestras sólidas, que de hecho era mucho menor (0.03 %) que las cantidades de material perdido por radiación de las muestras (20 %); entonces quedaba como causa principal de la pérdida de peso, la volatilización de las partículas sólidas.

Dicha volatilización por radiación ultrasónica de la Hematita significa que las partículas iniciales de aproximadamente 80 μm , se van desagregando poco a poco hasta alcanzar una densidad ligeramente menor a la del aire como para poder suspenderse en él. Ésto se pudo constatar por observación y medición directa del tamaño de las partículas restantes en el recipiente irradiado, así como el de las partículas que se volatilizaron y luego se depositaron sobre las paredes del tubo en U (Fig. IV.4). Los resultados muestran una disminución evidente de tamaño en ambas muestras.

Paralelamente a esta disminución de tamaño, también podemos pensar que estas finísimas partículas excitadas por la radiación ultrasónica, aumentan su energía interna incrementando de esta manera la amplitud de la frecuencia vibracional de los enlaces interatómicos; permitiendo de esta manera la difusión en la partícula de moléculas gaseosas que progresivamente van disminuyendo su densidad de acuerdo a la relación siguiente:

$$\rho = M / V$$

Donde:

M : Masa de la partícula

V : Volumen de la partícula

Esto quiere decir que además de la reducción de tamaño, estas partículas tienen un volumen mayor al que tendrían en condiciones ambientales normales sin la excitación ultrasónica.

Los fenómenos observados nos permiten suponer que este incremento de energía estaría generado por el desdoblamiento del pulso ultrasónico original en armónicas de orden superior y cuya longitud de onda sería del orden del tamaño de las partículas irradiadas. De esta manera las partículas se fragmentan alcanzando nuevas dimensiones que entrarán en resonancia con otras armónicas superiores y así sucesivamente hasta que la energía interna de las partículas más pequeñas promueva la disminución de su densidad y la suspenda en el aire.

V.2.2. Excitación ultrasónica de la Galena

Todos los fenómenos anteriormente descritos también fueron observados al irradiar ultrasónicamente la Galena; sin embargo, en este caso y dadas las características del material, se trató de medir las posibles cargas eléctricas superficiales, generadas por una desagregación de las partículas (Fig. IV.7). Las pruebas de RPE no detectaron ninguna carga superficial, a pesar de los diferentes dispositivos armados. Ésto comprueba la hipótesis de que estos eventos, si es que están presentes, son prácticamente instantáneos e interaccionan con los componentes de su entorno; haciendo evidentemente que muchos de ellos no puedan ser medibles. Se considera que, las partículas con las cargas excedentes superficiales, rápidamente secuestran del ambiente iones o electrones y así bajan su energía.

V.2.3. Excitación ultrasónica en aluminio

Lo que se pudo observar en este caso es una erosión de la superficie metálica que incrementaba significativamente la profundidad de las estrías; lo que puede ser originado por diferentes causas, una disolución de los óxidos de superficie o una disolución del metal. El análisis del agua en el que fueron irradiadas las láminas de Aluminio nos muestra efectivamente que a los 30 min de radiación ya tenemos 1.8 ppm de Al en solución, mientras que después de dos horas de radiación se llega a 15.0 ppm. Esto significa que, la frecuencia de vibración de las armónicas superiores tiene una longitud de onda que coincide con el diámetro de las partículas de aluminio y le transmite la energía suficiente como para poder desprenderlas de su matriz original.

Algo muy significativo que se pudo observar es el hecho que independientemente del medio de difusión de las ondas ultrasónicas (aire o agua), la interacción de la radiación ultrasónica con el Aluminio es siempre la misma mientras que las muestras se mantengan en medio acuoso.

V.3.- IRRADIACIÓN ULTRASÓNICA DE SISTEMAS LÍQUIDOS

V.3.1. Decoloración del azul de metileno en agua

Los resultados experimentales obtenidos nos permiten postular que las armónicas superiores del ultrasonido, pudieron interactuar con este tipo de compuestos poli-insaturados hasta modificar temporalmente su estructura molecular por promoción electrónica. Fenómeno que ya fue descrito como el desprendimiento de átomos que generan los llamados “centros de color F”. De esta manera es que se observó una decoloración reversible de una solución acuosa de Azul de Metileno. En la lámina que se anexa, se puede notar el cambio de color en dicha solución.

En la excitación ultrasónica de la solución de azul de metileno, hay la posibilidad de que en un momento dado, se de el efecto aditivo con lo que se incrementa la amplitud y por lo mismo la intensidad ya que, como se ha dicho, la misma es

$$I = (\text{Amplitud})^2 / 2 \text{ densidad del medio} \times \text{velocidad de las ondas en el mismo}$$

Con dicho incremento, al entrar en resonancia la armónica correspondiente cuya longitud de onda es la misma de la mencionada molécula de azul de metileno, la excita de tal forma que, termina por romper los enlaces dobles de su estructura.

V.3.2. Electrólisis del agua

Cuando se excita con ultrasonido a un sistema formado por un electrodo de cobre y otro de zinc en agua de-ionizada, se observa una corriente eléctrica de 0.3×10^{-3} amperes. Esto pudiera indicarnos que el paquete de ondas ultrasónicas interacciona con el sistema, de dos maneras posibles: por una parte incrementando directamente la energía interna de los electrodos metálicos, con la consiguiente desagregación del material y por otra parte polarizando las moléculas de agua de acuerdo a lo postulado anteriormente. Evidentemente, debido a su potencial de óxido-reducción, es el electrodo de Zinc el que comienza a desagregarse, pasando en solución y generando la corriente medida.

V.4.- IRRADIACIÓN DE OTROS FLUIDOS Y SÓLIDOS

Sobre la base de todos los resultados iniciales, se ha tratado de poner en evidencia la magnitud y el alcance de esta interacción ultrasónica con diferentes tipos de sistemas líquidos como son:

Precipitación de sólidos en la bebida gaseosa CocaCola

Precipitación de un crudo de petróleo de la refinería Miguel Hidalgo a partir de una emulsión con agua.

Volatilización rápida de tolueno.

La modificación de la viscosidad a los fluidos; cerveza, coca cola, miel de abeja y jugo de zanahoria a los que les modificó la viscosidad, así como a los sólidos orgánicos; salchicha, margarina y crema de cacahuete a los que en parte los disgregó, lo confirma varios artículos donde se habla de las altas cualidades de la excitación ultrasónica (De la 68 a la 72).

CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES

VI.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De lo antes expuesto se concluye que, el ultrasonido a pesar de ser una vibración que produce efectos mecánicos, puede llegar a interactuar con la materia transfiriéndole puntualmente tal cantidad de energía que es capaz de desagregarla y en algunos casos provocar una excitación electrónica que puede llegar al desprendimiento de electrones.

Tomando en cuenta estas constataciones experimentales podemos afirmar que las radiaciones ultrasónicas deben ser usadas bajo el estricto control de personal altamente capacitado; ya que, por ejemplo, la incidencia puntual de tales magnitudes de energía sobre los sistemas vivos, lleva una gran probabilidad de alterar la estructura de las macromoléculas bioorgánicas responsables de la información genética.

Por otra parte, en el caso de mujeres embarazadas, el peligro de una mutagénesis es aún mayor, ya que el embrión está en pleno desarrollo. Efectivamente, algunos autores reportan el nacimiento de niños muy pequeños o que tardan más tiempo en hablar y en caminar; atribuyendo o relacionando estas patologías con las inspecciones ultrasónicas antes del parto, que pudieren haber provocado diferentes tipos de daños neuronales(83).

El ultrasonido, por darse en la onda cuadrada del circuito oscilador, involucra frecuencias muy altas. Por otro lado, como sabemos, todos los cuerpos no sólo vibran a la frecuencia fundamental sino que también lo hacen en sus armónicas, por esta razón, al final en las pastillas piezoeléctricas, tenemos armónicas capaces de entrar en resonancia con los **neutrones** como lo reportan investigadores (18, 17, 20). Además, como ya se mencionó, el ultrasonido adquiere una gran energía por el efecto aditivo y el aumento de amplitud que se da en los llamados eventos transientes o sea la cavitación.

Se considera que, en el evento de la cavitación, las armónicas del ultrasonido en un momento dado, excitan a los electrones de un átomo elevándolos de nivel y al regresar la onda a su punto neutral de energía cero, caen dichos electrones a su nivel basal desprendiendo grandes cantidades de energía, que pudiera ser la cavitación con el desprendimiento de los llamados “**hot-points**” o “**hot-spots**”.

VI.2.- SUGERENCIAS EXPERIMENTALES

El campo del ultrasonido es muy promisorio por todas las aplicaciones. En este trabajo se sugieren dos líneas interesantes, tanto desde el punto de vista científico como económico y son:

La rectificación controlada de las ondas de altas frecuencias
La preservación de las propelas de los barcos

Los criterios para orientar estas investigaciones podrían ser los siguientes:

a).- Rectificación de onda ultrasónica de alta frecuencia

Se ha reportado que los efectos más notables del ultrasonido se verifican a frecuencias del orden de un millón de Gigahertz, donde los autores constataron la emisión de electrones y en algunos casos hasta la presencia de **neutrones**, en los llamados “Hot points” (13,15,16,17,18,20).

El gran problema técnico surge en la rectificación de la onda, ya que para estas frecuencias no es fácil diseñar ni construir lo requerido. En la UNAM (México), existen diseños de dichos diodos de las dimensiones de un fullereno que puede operar a frecuencias de medio millón de Gigahertz pero, la meta en este estudio es de un millón de Gigahertz.

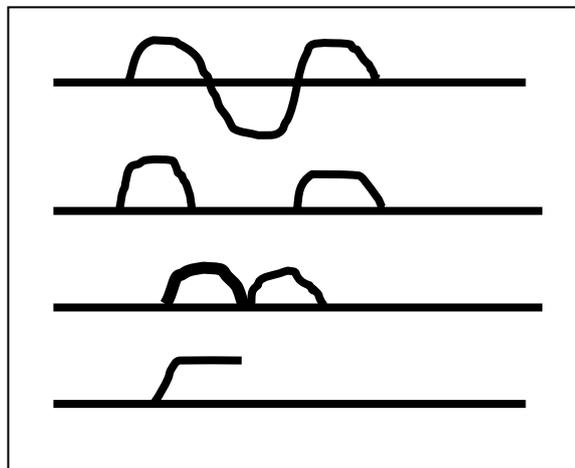


Fig. VI.1. Rectificación esquemática de una onda de alta frecuencia

b).-Preservación de propelas en los barcos

El ultrasonido, al ser un fenómeno ondulatorio, no escapa a esos casos raros que se dan en física donde se manifiestan los llamados “números mágicos” sin una buena explicación técnico-científica aparente donde las frecuencias efectivas para degradar el Crudo Maya van de 15 a 25 kHz. Entre éstos tenemos:

En la tabla periódica, los elementos del grupo VIIIA, tienen todos 8 electrones en su capa externa.

La fractura de materiales sólidos por impacto, produce casi siempre un número determinado de fragmentos (74).

En el caso de la radiación ultrasónica como ya se dijo, hay un intervalo de frecuencias en el que presentan su mayor capacidad de excitación de los materiales (15 a 25 kHz.).

Considerando que un problema técnico de incidencias económicas muy significativas para la marina mercante es el de destrucción de las propelas de sus barcos, debido a la cavitación.

Entonces pensamos que sería de gran beneficio una investigación aplicada que permita aprovechar los efectos aditivos y destructivos de las ondas. Se podría montar un sistema de emisión de ondas, a una frecuencia semejante a las naturales de las propelas pero desfasadas de 180 grados, de tal manera que se pueda amortiguarlas hasta minimizar los fenómenos de cavitación que producen.

CAPÍTULO VII : BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Instituto Mexicano de Control de Calidad, A.C., Cursos de Ultrasonido, 1988
- 2.- B. Brown, "Ultrasonic Techniques in Biology and Medicine", Charles C. Thomas Publisher, 1967.
- 3.- Boylestad Nashelsky, "Electrónica Teoría de Circuitos", Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1988.
- 4.- Hwei P. Hsu, "Análisis de Fourier", Addison-Wesley Iberoamericana, 1973.
- 5.- George Y. Onoda, Jr, "Ceramic Processing Before Firing", John Wiley and Sons, 1978.
- 6.- Leobardo Castellanos Sosa, "Curso de Microondas" INDETELEC, Julio de 1987.
- 7.- Kenneth S. Suslick, "Ultrasound Its Chemical, Physical, and Biological Effects", Kenneth S. Suslick, 1988.
- 8.- Hector Carrasco Ábrego y otros
"Efecto de electrones con baja energía sobre el azul de metileno en solución acuosa", Informe Técnico CA-DFR-97-04, Marzo-1997, ININ.
- 9.- Dante E. Gonzáles Vanderhagen,
"III Obtención de una gráfica estandar de azul de metileno por espectrofotometría", Informe Técnico CA-DFR-97-sept., 1997, ININ.
- 10.- Diego López García
"Irradiación de azul de metileno con haces de electrones", Informe Técnico IT-G.C.AMB/dfr-002, Dic., 2000, ININ.
- 11.- Shinya Inoué, "Polarized Light Microscopy, Introduction to Biological Polarization Microscopy"
Marine Biological Laboratory, 7 MBL Street, Woods Hole, Massachusetts 02543.
- 12.- Curso "Pruebas no destructivas- Ultrasonido, Ingeniería Industrial (UPIICSA-IPN)
- 13.- "Tecnología de Ultrasonido aplicada al mejoramiento de Crudo Maya. Avances en el IMP, XXI Encuentro Nacional (23-26 de mayo del 2000), Guanajuato, Gto., México.
- 14.- Herbert Hommer, "La aplicación del ultrasonido en Química", Revista Educación Química, Volumen 9, No. 2, Marzo-Abril de 1998, UNAM.
- 15.- Patente en trámite a nivel nacional y a nivel internacional aprobada,

”Proceso para separar metales pesados en residuos industriales empleando flotación y eucalipto como secuestrante
José Ábrego López, registrada el 19 de febrero de 1997 en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

- 16.- Jocelyn Kaiser, “Inferno in a Bubble, Turning Sound into light poses a tantalizing Puzzle” Science News Online, April 29, 1995.
http://www.sciencenews.org/sn_arch/4_29_95/note1.asp
- 17.- “Sonofusion: Energy of the future?”
History of Sonofusion. Patents & Commercial Efforts. Sonofusion Calculations. University of Rochester. Flynn passed away in 1997.
- 18.- H. Frenzel y H. Shultes, “El fenómeno de Sonoluminiscencia”,
<http://eureka.ya.com/abmartin/fenomeno.htm>
- 19.- Thomas D. Rossing, “Light and Sound: Neglected Subjects in Physics Education”
Physics Department, Northern Illinois University, DeKalb, IL 60115.
- 20.- Drs. Richard T. Lahey Y Rusi P., « The Sun in a bubble »
March 03, 2004. Fried Man
- 21.- Dr. Rusi Taleyarkhan, “NRI makes Sun in a Jar”,
CHIDANAND RAJGHATA
TIMES NEWS NETWORK (Wednesday, March 03, 2004)
- 22.- Marcelo Alonso, “Física, Volumen II, Campos y Ondas”,
Fondo Educativo Interamericano, S.A., 1976.
- 23.- R.E.D. Bishop, “Vibration”, Cambridge at the University Press, 1965.
- 24.- “Piezoelectric Phenomena”
Science, 18 April 1997.
- 25.- “The Interpretation of Headphone Square Wave Response”
HeadRoom Corporation Web
Copyright 1995-2002 HeadRoom Corp.
- 26.- “Square Wave”
Square Wave-Wikipedia, the free encyclopedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Square_wave
- 27.- The Electrical Engineering HANBOOK,
Editor-in- Chief RICHARD C. DORF
CRC PRESS, 1993.
- 28.- “The Fast Fourier Transform Demystified”
[URL:http://www.ghz.cc/charles/fft.html](http://www.ghz.cc/charles/fft.html)
Sun Jul 23, EDT 2000.

- 29.- Forrest Hoffman, "An Introduction to Fourier Theory"
Physics 641-Instrument Design and Signal Enhancement/Forrest Hoffman
- 30.- Astro-Med; Inc, TEST & MEASUREMENT PRODUCT GROUP,
"Fourier Analysis FFT"
Wednesday, December 1, 2004
2004 Astro-Med, Inc.
- 31.- "Weigh the Alternatives for Spectral Analysis"
Test & MA02458-1630,USA
Phone: 617-558-4671
Fax: 617-558-4470
E-mail : tmw@reedbusiness.com
- 32.- « The CPI Technical Focus »
Critical Power Info
Capitol Power, Inc. (CPI)
Article 4; October, 2002
- 33.- "Harmonics vs. Transients"
Lightningmike.dot.com
POC: Mike Helms mike@lightningmike.com
- 34.- "Solution To Harmonics, True or False"
LEHMAN, ENGINEERING
"Information is Power"
- 35.- "Harmonics-Identification, Diagnosis and Solution"
Electroline, Electronics Online
Feature articles 2002, 12/12/2003
- 36.- "Dark Sonus.com Online Musician's Community"
DARK SONUS
Dark Synthpop with influences ranging from Depeche
Made and Gary Numan to Front 242 and Project Pitchfonk.
www.subliminalself.com
- 37.- "Subharmonics and roughness (gia_BERLIN)"
gia_BERLIN <gia (at) SNAFU.DE>
Tue, 25 Sep 2001 16:58:57 +0200
<http://www.auditory.org/postings/2001/>
- 38.- « Subharmonic »
Dennis Webber
Download preset : Subharmonic, bwg
05-Feb-2001
- 39.- Artículo "Fortean Times-Sonic Weapons"
From FT 153 December 2001
Copyright Fortean Times.

- 40.- “Harmonic Imaging”
 Ultrasound Technology
 GE Medical Systems
<http://www.ge.com.medical/ultrasound>
- 41.- “Harmonics: Their nature, problems from them and correction techniques”
 Powerlite, Power for Australians since 66
www.powerlite.com.au
 Powerlite 2004
- 42.- “What is Nonlinear Distortion?”
 Sound Card Performance Technical Benchmarks
 TechTalk, PC AV Tech web pages to Arny Krueger
 Arnold B. Krueger. All rights reserved.
- 43.- Alan Friedman, “Introducción a los Sistemas Lineales y no Lineales y su Relación con las Fallas en Maquinaria”
 DLI ENGINEERING CORPORATION
- 44.- Rama-Cho Rubens Beltrán, “Tratamiento de Aguas residuales”,
 Edit. Reverte, 1991.
- 45.- Tesis, “Estudio de Zeolitas de hierro”, Junio 24 de 1999.
 Clasificación QE391.Z5, ININ.
- 46.- M. J. Day y Gabriel Stein, “The Action of Ionizing Radiations on Aqueous Solution of Methylene Blue”, Radiation REsearch 666-679 (1957).
- 47.- Sol Davison, Samuel A. Goldblith, Bernard E. Proctor, Marcus Karel, Billy Kan y Charles J. Bates, “Dosimetry of a Kilocurie Cobalt-60 Source”. Revista NUCLEONICS, July 1953, pp 22-26.
- 48.- Paul Schall, Jr., Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, “A Comparison of Dosimetry Methods”. Revista NUCLEONICS, October 1959, p 70
- 49.- Samuel A. Goldblith, Bernard E. Proctor, and Olivia A. Hammerle, Department of Food Technology, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. REvista Industrial and Engineering Chemistry, February 1952, pg 310.
- 50.- Jaj Mohammad and Harry Morrison, “Simultaneous Photoconjugation of Methylene Blue and cis-Rh(phen)₂ Cl⁺₂ to DNA via a Synergistic Effect”, Photochemistry and Photobiology, 2000, 71(4): 369-381.
- 51.- Lafuente, B.; Goldblith, S.A. ; Proctor, B. E. “Some Further Studies on the Application of Methylene Blue in Aqueous solution as a Dosimeter for intense Beams of High- Energy Radiation”, Int. J. Appl. Radiation and Isotopes; Vol 3, Jan 01, 1958, pp 119-24.

- 52.- Mythili Ushamani, K. Sreedkumar, C. Sudha Kartha, Rani Joseph, Cochin Univ. of Science and Technology (India), "Novel methylene-blue- Sensitized Photopolymers for holographic recording: a comparison", Practical Holography XVIII: Materials and Applications , San Jose, California; June 29, 2004; pp 352-359.
- 53.- "A pilot-Scale Photocatalyst membrane hybrid reactor: performance and Characterization".
- 54.- <http://www.sfos.uaf.edu/mslIII/notes/chem.html>
- 55.- Paul R. Frey, "Química Moderna", Montaner y Simón, S.A., 1977.
- 56.- Meter R. Birkin, "Acoustoelectrochemistry",
<http://www.ioa.org.uk/articles/acoustochem/acoustoelectrochemistry.html>,
03/12/02
- 57.- John W. Keely, "Sympathetic Vibratory Physics", Water Radiolysis on the Dissociation of Water by X-Rays, June, 1992.
- 58.- Dr. Harold Aspden, "Hydrosonic Power Generation", NEW, Vol. 4, No. 4, August 1996, pp 1-3.
- 59.- Yuri T. Didenko, William B. McNamara III, and Kenneth S. Suslick", Temperature of Multibubble Sonoluminescence in Water", J. Phys. Chem. A 1999, 103, 10783-10788.
- 60.- Thomas Prevenslik, "Bubbles, bubbles, and more bubbles"
Sonoluminescence2003@yahoo.com
- 61.- David J. Flannigan and Kenneth S. Suslick, "Plasma formation and temperature measurement during Single- bubble cavitation". Nature 434, 52-55 (03 March 2005);
- 62.- Leobardo Castellanos Sosa, "Curso de Microondas Digitales", INDETELEC (Capacitación), Ingeniería de Productos. Transmisión. Julio de 1987.
- 63.- Paul F. Hlava, "Causes of Color in Minerals and Gemstones", Sandia National Laboratories, Department 1822, Albuquerque, NM 87185-0886.
- 64.- "Why are amethyst & Smoky quartz colored? (Color centers), Amethyst, WEbExhibits
Webexhibits.org/causesofcolor
- 65.- Thomas Hainschwang, "GEMLAB", 2001 by GEMLAB Estabi., FL-9491 Ruggell
gemlab@adon.il
- 66.- Robert J. Stackow and Robert Bernstein, "The Chemistry of Visible Light", UCLA, Department of Chemistry and Biochemistry.

67.- Jan Leja, "Surface Chemistry of Froth Flotation", Edit. University of British Columbia, 1982.

68.- C. Gonzáles et al., "Intermolecular interactions in Soybean oil + different organic solvents by ultrasonic velocity measurements", Journal of Food Engineering XXX (2005) XXX-XXX, Elsevier

69.- Amos Mizrach, "Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method", Food Research International 37(2004)627-631, Elsevier.

70.- John N. Coupland, "Low Intensity ultrasound", Food Research International 37(2004)537-543, Elsevier

71.- Judith Ann Bamberger, "Non Invasive characterization of fluid foodstuffs based on ultrasonic measurements", Food Research International 37(2004)621-625, Elsevier

72.- J. Beneditus et al, "Use of ultrasonics for the Composition assessment of Olive mill Wastewater(alpechin)", 595-601, Elsevier.

73.- Dr. Joseph Mercola,"Ultrasound Scan: Cause for Concern", The No-Grain Diet, Issue 404, February 19, 2003.

74.- Ing. Saviour- Blaze Labs. "The Particle", BLAZE ELECTRONICS LAB.
<http://bel.150m.com/particle.htm>