

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

PONENCIAS IMP.

- UNA METODOLOGIA PARA DETERMINAR ESPESORES DE PARED EN TUBOS METALICOS.
- SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL NUCLEONICO.
- DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LOS MATERIALES POR MEDIO DEL COEFICIENTE DE ABSORCION DE LA RADIACION GAMMA.
- DETERMINACION DE LA EROSION DEL SUELO UTILIZANDO LA CONCENTRACION DEL Cs-137 EN EL PERFIL DEL SUELO, EN UN ECOSISTEMA TROPICAL ESTACIONAL DE MEXICO.

PONENCIAS ININ.

- UBICACION DE FUGAS EN LA RED PRIMARIA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DEL ININ.
- PROTOTIPO DE ACELERADOR DE ELECTRONES INDUSTRIAL.
- FLUOR 18 EN MATERIALES CERAMICOS GENERADORES DE TRITIO.

CONCLUSIONES.

INTRODUCCION

Con el propósito de continuar con el intercambio de experiencias e impulsar el desarrollo de especialidades comunes entre el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se celebró el "VI Seminario IIE-IMP-ININ Sobre Especialidades Tecnológicas", el 15 de julio de 1992, en las instalaciones del ININ en Salazar, Estado de México. Se contó con la asistencia de 182 investigadores de las tres instituciones, así como de 32 representantes del sector educativo y energético.

El objetivo del Seminario fue relacionar a los investigadores de una misma especialidad, con la idea de que los especialistas intercambien experiencias y establezcan vías de cooperación. La presencia de los representantes de los sectores educativo y energético en el Seminario tuvo por objeto recoger información para orientar sus acciones en relación con el desarrollo de las especialidades analizadas. Para ello, el evento se organizó en 15 mesas de trabajo, correspondientes a 15 especialidades tecnológicas, en las que se presentaron 131 ponencias, de las cuales 43 correspondieron al IIE; 49 al IMP y 39 al ININ.

Durante el Seminario, las 15 mesas sesionaron simultáneamente, allí se discutieron las ponencias que analizaron el desarrollo de las técnicas y metodologías utilizadas en cada una de las especialidades tecnológicas de interés para las tres instituciones. Asimismo, se discutieron posibles acciones futuras de cooperación interinstitucional, con el propósito de impulsar el desarrollo de la especialidad.

En una sesión plenaria se expusieron ante los directivos de las tres instituciones, las conclusiones a las que llegaron los especialistas en cada una de las mesas de trabajo.

PONENCIAS " IMP "

MESA N° 10: APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA RADIACION

INSTITUCION: INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

PONENCIA: UNA METODOLOGIA PARA DETERMINAR ESPESORES DE PARED EN TUBOS METALICOS

AUTOR (ES): FRANCISCO PABLO RAMIREZ GARCIA
JAIME FELICIANO

CURRICULUM VITAE:

El Maestro Ramírez García es egresado de la carrera de Físico Teórico de la Facultad de Ciencias de la UNAM y cursó la Maestría en Física Teórica en la Universidad del Estado de Nueva York. Obtuvo el Diploma en Estadística de la Universidad de Gales, Gran Bretaña. Estudios en Simulación y Optimización de Procesos Químicos del Instituto Tecnológico de Massachus. Se capacitó en Seguridad Nuclear en la North Western University, EUA.

Desde 1970 colabora en el Instituto Mexicano del Petróleo, en el Area de Matemáticas. Es el Coordinador de la Línea de Investigación de Estadística Aplicada y Diseño de Experimentos, de la actual Subdirección General de Investigación Aplicada. Se cuentan entre sus investigaciones el desarrollo de un modelo matemático para el proceso de reformación de naftas, el desarrollo de un diseño de experimentos que evalúa la tendencia en el tiempo para tratar el envejecimiento del catalizador de reformación de naftas el desarrollo de un diseño de experimentos de mezclas usado para garantizar la satisfacción de las características de calidad de la norma internacional de turbosina, la realización de estudios de control estadístico de proceso, de diversos estudios de fiabilidad de plantas industriales y el uso de modelos matemáticos para el diagnóstico industrial aplicando propiedades de partículas de alta energía, emitidas por el núcleo.

Fué el Director de Procesamiento Estadístico, SMA, SSA.

Fué asesor del Departamento de Genética Humana del ISSSTE, de la Academia Nacional de Medicina y del Hospital de Pemex (Salamanca, Gto.). También fungió como asesor de COPLAMAR y de la SPP.

Ha sido distinguido como Co-Chairman de Sesión Técnica del X Congreso Internacional de Biometrics y Chairman del Simposio de Simulación y Modelos, en el 2° Congreso de Química de América del Norte.

Tiene experiencia en la Docencia de la Física y las Matemáticas. A nivel de Formación Profesional sobre Estadística (Facultad de Ciencias, UNAM). A nivel de Actualización Profesional sobre Estadística, Diseño de Experimentos, Optimización, Control Estadístico de Calidad y Método Científico, para profesionistas de Pemex y de otras industrias, en áreas de la ingeniería y medicina, en el País y en el extranjero, particularmente las de Ecuador.

Es autor de más de cien publicaciones. Tiene tres patentes y ---
varios derechos de autor.

Es miembro de la Sociedad Real de Estadística (Gran Bretaña), del
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, de la Academia Mexica
na de Catálisis y de Sociedad Mexicana de Física.

Fué distinguido con la designación de Investigador Nacional del -
SNI Y de Investigador Numerario del IMP.

JAIME FELICIANO HERNANDEZ

Estudios de Licenciatura y Maestría en Física en la Facultad de -
Ciencias, UNAM.

Tesis de licenciatura: Las correcciones radiactivas desde el pun-
to de vista de la electrodinámica estocastica (1987).

INVESTIGACION: Las correcciones radiactivas de un sistema estocas
tico en presencia de un espejo conjugador de fases, IFUNAM (1987).

Efectos sobre un oscilador armonico en presencia de un espejo --
conjugador de fase, IFUNAM (1988).

Investigación Educativa sobre esquemas alternativos, UAM-A (1988-
1989).

Desarrollo de una metodología para medir espesores de pared en tu
bos metálicos, IMP (1992).

Estudio de las variaciones en la densidad espectral de un campo -
electromagnético dentro de una cavidad resonante de sección trans
versal variable, IFUNAM (1992).

Estudios sobre Sistemas Dinámicos y fractables, IFUNAM (1990-1991)

RESUMEN:

El objetivo principal en el desarrollo de las actividades de tipo
industrial es realizar una tarea eficiente y productiva; esto im-
plica, necesariamente, conocer las condiciones óptimas de trabajo
del equipo e instalaciones con que se cuenta.

Las aplicaciones de las técnicas de radioisótopos tienen ya una -
larga historia como herramientas útiles en diversos campos del --
quehacer humano. Por ejemplo, en los complejos petroquímicos de -
PEMEX, por cuestiones de seguridad y para evitar al máximo las --
pérdidas, se tienen que conocer con la mayor precisión posible --
los regímenes de operación de las líneas de tubos que conducen --
los hidrocarburos, con el fin de saber cuando han de ser reempla-
zados las piezas gastadas o defectuosas.

En el IMP se está llevando a cabo un trabajo que tiene como obje-
tivo el desarrollar una metodología -basada en el uso de radioisó
topos- que permita determinar el espesor promedio de pared de tu-
bos metálicos, que tienen aislante térmico, con una precisión de
 ± 0.127 mm (± 5 milésimas de pulgada). El método está basado en el
uso de radiación emitida por fuentes de Cs-137.

En este trabajo se describe el desarrollo de la metodología así -
como los principales resultados que hemos obtenido.

METODOLOGIA PARA MEDIR ESPESORES DE PARED EN TUBOS METALICOS

Jaime Feliciano Hernández y Fco. Pablo Ramírez García

*Instituto Mexicano del Petróleo,
Eje Central Lazaro Cárdenas 152, CP 07730 México, D.F.*

En este trabajo se reporta el avance en el desarrollo de la metodología para medir el espesor de pared en tubos metálicos en base al uso de radioisótopos, que lleva a cabo el grupo de Investigación en Estadística Aplicada y Diseño de Experimentos en el Instituto Mexicano del Petróleo. Se discuten las dificultades técnicas y se plantean mejoras al diseño original. El intervalo de confianza que se tiene actualmente es del orden de ± 0.127 mm.

1. Introducción.

Es bien sabido que la aplicación de los radioisótopos en la industria juega cada vez un papel más importante. En muchos casos los "métodos de radioisótopos" son preferidos o por lo menos considerados como formas alternativas de aplicación real.

Los criterios más importantes que se usan para seleccionar un equipo particular de medición son: el rendimiento y el costo, así como las ventajas técnicas que ofrece. Entre las ventajas que ofrece el uso de radioisótopos se encuentra la posibilidad de medir propiedades en los materiales a prueba, sin que se deba dar el contacto.

La naturaleza penetrante de la radiación γ , por ejemplo, permite hacer mediciones de objetos con espesores bastante grandes. Comparados con los aparatos de rayos X, las fuentes de radioisótopos son relativamente baratas y compactas, por lo tanto resultan de fácil manipulación.

En el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) estamos interesados en desarrollar una metodología, basada en el uso de los radioisótopos, que

nos permita determinar el espesor de pared en tubos metálicos instalados, en plantas petroquímicas en uso, de Petroleos Mexicanos (PEMEX). En dichas plantas, con frecuencia se tiene que detener la producción en virtud de que se desconoce el estado en el que se encuentran ciertas secciones de tubería, que transportan fluidos (algunos altamente corrosivos) que desgastan sus paredes internas. Por este motivo es importante contar con una metodología, que se pueda aplicar en lo cotidiano y que permita determinar los tiempos de reemplazo de dichos tubos a fin de evitar gastos innecesarios, o bien de prevenir accidentes. Es por esto que la medición del espesor en las paredes tubulares, así como una detección oportuna de posibles fallas constituye un problema prioritario para la seguridad de los complejos petroquímicos.

El objetivo primario en este trabajo es obtener un rango de precisión en el espesor de ± 0.125 mm (± 5 milésimas de pulgada). Este valor es considerado aceptable por el personal de PEMEX para trabajar dentro de sus límites de seguridad, ahora bien, debido a las dificultades técnicas, intrínsecas al desarrollo de la metodología, no nos ha sido posible aún alcanzar este intervalo de confianza, pues tenemos una alta incertidumbre en el coeficiente de atenuación de los metales. Actualmente, la precisión que podemos obtener es del orden de ± 0.127 mm¹.

Nuestra principal fuente de error proviene de la determinación del valor del coeficiente de atenuación de los diferentes metales que hemos empleado. Este método de medición es extremadamente sensible a las condiciones experimentales, por lo que una pequeña variación en alguno

¹ Actualmente hemos podido reducir la incertidumbre en el espesor, gracias a que determinamos con muy alta precisión el coeficiente de atenuación μ .

de los parámetros involucrados modifica substancialmente el resultado final. En lo que sigue vamos a discutir someramente los pasos seguidos por el grupo de investigación del IMP, en cuanto al desarrollo, y el estado actual de esta metodología.

II. INTERACCION RADIACION-MATERIA.

Para un haz de partículas que incide en un medio material de espesor x , la intensidad que logra atravesar se determina mediante la relación:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

el coeficiente de atenuación μ es característico del material y la energía de radiación por lo que se puede considerar como constante siempre que el material sea homogéneo. Entonces una medición de las intensidades I e I_0 y del coeficiente de atenuación μ nos dará una estimación del espesor x .

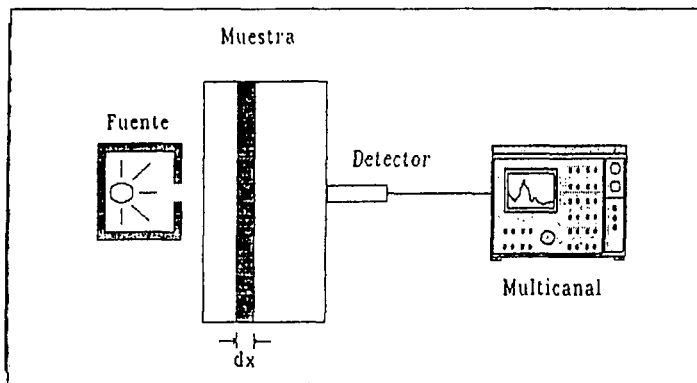


figura 1

Por supuesto que es importante tomar en cuenta las fuentes de incertidumbre que existen durante el proceso de medición y con esto se

introduce la necesidad de hacer un análisis estadístico que nos permita confiar en nuestros resultados. Es importante señalar que el coeficiente de atenuación depende de la energía de las partículas y como el proceso de emisión es estocástico, entonces se puede esperar que haya variaciones estadísticas en μ , que se traducen en las correspondientes variaciones en la variable x .

En nuestro caso estamos interesados en la expresión (1) en la que se miden directamente I e I_0 , pero x y μ se determinan de manera indirecta; así que el error que se debe asignar, por ejemplo a μ es:

$$\sigma(\mu) = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{1}{x^2} \left(\text{Ln} (I_0 / I) \right)^2 (\sigma(x))^2 + \frac{1}{I_0} + \frac{1}{I}} \quad (2)$$

y para x :

$$\sigma(x) = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{1}{\mu^2} \left(\text{Ln} (I_0 / I) \right)^2 (\sigma(\mu))^2 + \frac{1}{I_0} + \frac{1}{I}} \quad (3)$$

En los procesos de emisión radiactiva se sigue una distribución de Poisson cuya desviación "estandar" es la raíz cuadrada de la variable. Tomando una anchura de 2σ , estamos asegurando que por lo menos un 95 % de los datos caen dentro del intervalo de confianza.

III. Metodología.

El primer paso en el desarrollo de la técnica fue evaluar de cerca el problema y conocer las características de las líneas de tubo que se tienen que estudiar. Se radiaron tubos cubiertos con aislante térmico, el cual consiste de un forro protector de lámina de aluminio y una cama de fibra de vidrio. En la figura 2 se muestra el diagrama del arreglo experimental.

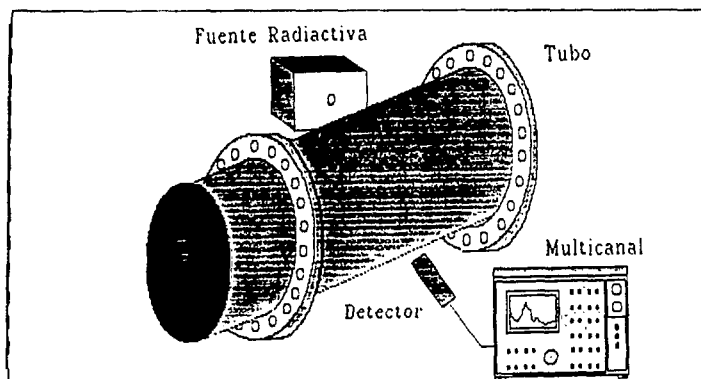


figura 2

Para determinar el espesor de algún material, es necesario conocer su coeficiente de atenuación μ (este coeficiente nos da una medida de la capacidad de absorción de la radiación), por lo que se estudiaron muestras de los metales con los que se fabrican los tubos, a fin de realizar pruebas que nos permitan conocerlos. También se analizaron muestras del aislante térmico con el que están cubiertos los tubos.

Con objeto de hacer más eficiente la adquisición de datos, se hizo el diseño de una estructura que soportara al colimador con el detector, por un lado, y por el otro a la fuente. En la figura 3 se muestra el arreglo².

² Este equipo resultó ser muy inestable por lo que se diseñó otra estructura que se muestra más adelante.

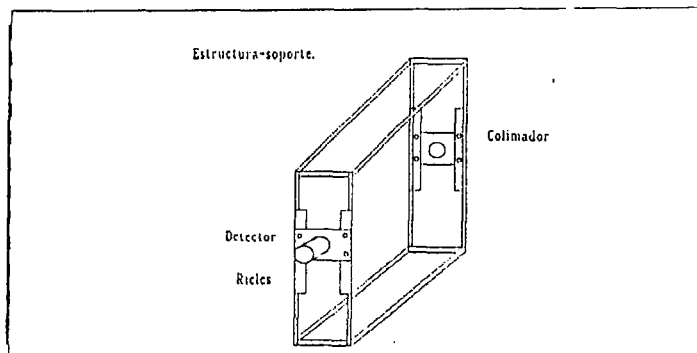


figura 3

La siguiente tarea fue determinar con la mayor precisión posible, los coeficientes de atenuación de los metales y del aislante. Con estos datos para la calibración se realizó una visita a un complejo petroquímico. El objetivo era probar las hipótesis y encontrar mejoras al equipo y al propio método. Se usó una fuente de Cs-137.

En las tablas 1 y 2 se muestran los valores del coeficiente μ para el aislante y algunas muestras de metal, que se radiaron con una fuente de 37 kBq (1 μ Ci).

TABLA 1 .

Muestra	Espesor ($\pm 1/40$ mm.)	Atenuación (l/mm)
Referencia	32 mm.*	0
Aluminio	0.4 mm.	0.337
Fibra de vidrio	32 mm.	8.75×10^{-4}

* Distancia de la fuente al borde del detector.
Fuente: Cs-137; Tiempo: 300 seg.

TABLA 2.

Muestra	Espesor *	μ (1/in.)	$\Delta\mu$ **	Δx ***
Titanio	0.07700	1.2925	0.030	0.0098
Inox. 321	0.10999	1.6637	0.027	0.0079
A-335; P-22	0.81802	1.4119	0.025	0.0191
HK-40	0.37900	3.0668	0.027	0.0066
A-335; P-5	0.25069	4.2266	0.027	0.0043
Monel	0.10999	7.8818	0.031	0.0020
A-335; P-11	0.13500	6.0278	0.030	0.0026
Inox. T-316L	0.13121	1.7314	0.026	0.0077
SS-304	0.12399	1.6102	0.026	0.0082
Acero al C.	0.23599	1.5193	0.023	0.0095
Hastelloy-B	0.14999	1.8659	0.025	0.0073

$I_0 = 13448$;
 Canales: 90-160
 Voltaje: 783 volts.
 * ($\pm 1/2000$ in.)
 ** (1/in.)
 *** (in.)

Se puede comparar la última columna, que da la incertidumbre en el espesor, que se ha estimado con el método de radiación. En las siguientes gráficas se muestran los espectros de atenuación para las diferentes muestras de metal, con respecto a la referencia (i. e., sin obstáculos).

Sin embargo no fue satisfactorio el orden de magnitud en la incertidumbre. El error en el espesor, Δx , seguía siendo alto. Para tratar de mejorar la medición, se radiaron nuevamente las muestras, con Cs-137, pero ahora durante 1500 segundos. Los resultados se muestran en la tabla 3.

TABLA 3.

Muestra	Espesor*	μ (1/in.)	$\Delta\mu$ **	Δx ***
Titanio	0.07699	0.7855	0.04998	0.0091
Inox. 321	0.11000	1.3295	0.03610	0.0019
A-335; P-22	0.81795	1.3428	0.00657	0.0063
HK-40	0.37899	1.4232	0.01174	0.0093
A-335; P-5	0.27500	1.4224	0.01548	0.0020
Monel	0.11000	1.5045	0.03643	0.0073
A-335; P-11	0.13485	1.1881	0.02944	0.0070
Inox.T-316L	0.13501	1.1916	0.02945	0.0069
SS-304	0.12401	1.0649	0.03175	0.0020
Acero al C.	0.23600	1.2113	0.01745	0.0085
Hastelloy-B	0.14273	1.4826	0.02710	0.0084

$I_0 = 140723$;
 Canales: 352-452.
 Voltaje: 786 volts.
 * ($\pm 1/2000$ in.)
 ** (1/in.)
 *** (in.)

A las muestras anteriores se agregaron algunas más que presentaban muchos defectos superficiales por lo que una medición de referencia hecha con el vernier no fue confiable. No obstante se tienen los valores siguientes

Tabla 4.

Muestra	Espesor*	μ (1/in.)	$\Delta\mu$ **
Cédula 80; A-53 , 2"	0.330	0.8442	0.14340
Cédula 40; A-53 , 4"	0.250	1.2930	0.37530
Cédula 120; A-53	0.473	1.2394	0.10093
Cédula XXS Strong;A-53	0.509	1.4442	0.10118

Canales: 352-452

$I_0 = 139232$

Voltaje: 783 volts.

Tiempo: 1500 seg.

* ($\pm 1/56$ in.)

** (1/in.)

De la revisión de los datos de las tablas anteriores se puede ver que aún existen fluctuaciones "muy grandes", por lo que fue necesario hacer un análisis estadístico que permitiera discernir entre los distintos datos de las incertidumbres involucradas. Para esto, se radiaron una vez más las muestras de metal, con la fuente de 740 MBq (20 mCi) (ver tabla 5) pero ahora en dos puntos localizados. Uno para determinar μ y otro para determinar x . Una conclusión inmediata fue la de tomar un intervalo de confianza del 95%, o sea 2 desviaciones "estandar" de ancho para la incertidumbre del número de cuentas.

Finalmente, podemos comparar con el método usual que se sigue en la planta petroquímica, es decir, usando ultrasonido. En la tabla 5 se comparan estos métodos.

Tabla 5.

Muestra	Ultrasonido*	Radiaciones**	Vernier*
Titanio	0.106	0.0769	0.077
Inox. 321	0.125	0.1100	0.110
A-335; P-22	0.835	0.8179	0.818
HK-40	0.416	0.3789	0.379
A-335; P-5	0.313	0.2750	0.275
Monel	0.110	0.1100	0.110
A-335; P-11	0.133	0.1348	0.135
Inox. T-316L	0.150	0.1350	0.135
SS-304	0.131	0.1240	0.124
Acero al Carbón	0.152	0.2360	0.236
Hastelloy-B	0.145	0.1427	0.150
Cédula 80; A-53 , 2"	0.222	0.2220	0.330
Cédula 40; A-53 , 4"	0.244	0.4310	0.250
Cédula 120; A-53	0.438	0.4380	0.473
Cédula XXS Strong; A-53	0.431	0.2440	0.508

* (± 0.001 in).

** Ver incertidumbre en la tabla 4.

Fuente: 740 kBq (20 mCi) de Cs-137.

Tiempo: 9 seg.

Voltaje: 3 volts.

Es importante hacer un comentario sobre la tabla 5. Dado que no contamos con patrones de calibración para los distintos metales, la calibración para el método de ultrasonido se hizo en base a una tabla de velocidades (ver referencias), que contenía solo algunos de los materiales que se usan en la fabricación de tubos. Por ejemplo, no tenemos la velocidad del sonido en el Hastelloy-B, así que usamos el promedio de la del Hastelloy-C y Hastelloy-X que son similares entre

si. Para los aceros inoxidables se usó también un valor promedio de velocidades. Lo mismo ocurre con el aluminio y el polímero del aislante térmico. Definitivamente, esto crea una fuente importante de incertidumbre en los datos. La calibración del método de radiación se hizo en base a las mediciones más "precisas" del vernier; a esto se debe la coincidencia de los datos de la segunda y tercera columnas. Es importante notar la coincidencia de los tres métodos para la muestra de Monel. No debe sorprender pues sí se contaba con la velocidad del sonido en ese metal. El conjunto de las últimas cuatro muestras se calibró en base al vernier y al ultrasonido pero, dado el estado en que se encuentran (sumamente oxidadas) no se puede asegurar con certeza la reproducibilidad de los datos.

En general se tiene una muy buena aproximación al valor real del espesor, aunque es necesario contar con los valores precisos de las velocidades del sonido en los materiales.

VI. Conclusiones.

Hasta aquí se han presentado una serie de resultados experimentales que nos han permitido llegar al nivel de precisión necesario para dar una respuesta satisfactoria al personal de PEMEX. Pero para poder reducir el error es necesario determinar con la mayor precisión los coeficientes de atenuación de los metales. Esto lo haremos mediante un conjunto de "estándares" de calibración que se han fabricado *ex profeso*. En suma, estamos ya en posición de ofrecer resultados útiles, pero podemos mejorarlos todavía más. Con objeto de mejorar el sistema de adquisición de datos se propone un nuevo diseño en la estructura que soporta al detector y a la fuente en forma fija, asegurando la alineación del equipo, como se muestra en la siguiente figura:

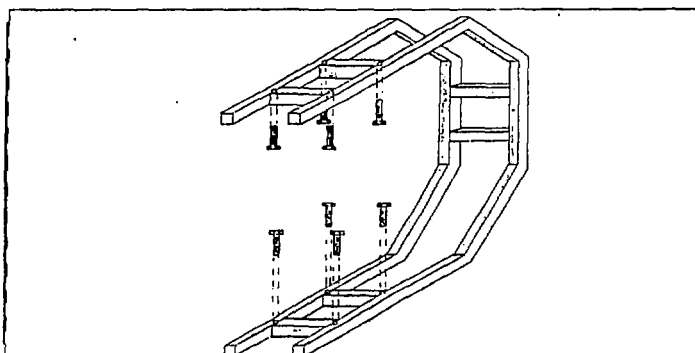


figura 4

Para mediciones posteriores, de tuberías con geometrías más complicadas, se plantea contar con un sistema computarizado en el cual el detector rote al mismo tiempo que se desplace, lo que permitirá hacer un barrido integral de la pieza. Esto además, nos dará información más detallada del estado en que se encuentra la muestra detectando grietas, hoyos o desgaste parcial. Las forma de "T", "Y", válvulas, etc., se podrán estudiar más adelante, cuando se cuente con el sistema automático.

V. Referencias.

Introduction to the theory of the error. Yardley Beer (Addison-Wesley, Pub. Co. Inc. 1957).

Se consultaron además las siguientes:

Bacon, *Am. Jour. Phys.*, 14, 84 y 198 (1946).

" " , 21, 428 (1953).

Birge, *Am. Phys. Teacher*, 7, 351 (1939).

" , *Phys. Rev.* 40, 207 (1932).

Deming, *Rev. Mod. Phys.*, 6, 119 (1934).

Hudson, *Am. Jour. Phys.*, 21, 362 (1953).

Elmor, *Nucleonics*, 6(1), 26, (1950).

Proschan, *Am. Jour. Phys.*, 21, 520 (1953).

Rainwater-Wu, *Nucleonics*, 1(2), 60 (1947); 2(1), 42 (1948).

Noz, M.E., Maguirre Jr, G.Q. *Radiation Protection in the Health Sciences* (Lea & Febiger 1985).

Overman, R.T., Clark, H.M., *Radioisotopes Techniques*. (McGraww-Hill 1958).

Cameron, J.F., Clayton, C.G., *Radioisotope Instruments*. (McGraw-Hill 1962).

Rabinowicz, E., *An introduction to Experimentation*. (Addison-Wesley Pub. Co. 1970).

Evans, R.D., *Statistical Fluctuation in Nuclear Processes*. incluido en *Nuclear Physics* (B) de la serie *Methods of Experimental Physics*, editado por L.C.L. Yuan y C-S. Wu (Academic Press N.Y. 1963) pag 761.