

CAJA 3 I.E. 12

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

INSTRUMENTAL
Dr. Luis A. Boschi

Apuntes tomados de clase

Departamento de Metalurgia
Buenos Aires - Marzo 1967

INTRODUCCION

MEDICION DE LONGITUD

Metrología

Su aplicación se extiende a todas las magnitudes susceptibles de medición.

En ningún proceso de mecanizado es posible conseguir una dimensión exacta; por lo tanto se hace necesario conocer la magnitud del defecto que pueda admitirse en dicha dimensión.

Precisión

Es la repetibilidad que se puede lograr bajo las mismas condiciones en una serie de mediciones.

Sensibilidad

Son las características de amplificación que posee un instrumento, o sea la capacidad que tiene para permitir apreciar una variación de la dimensión en ensayo.

Error Sistemático

Es originado por fallas del método de medición empleado o por defectos del observador. Son por naturaleza regulares, que se producen siempre en un mismo sentido y a menudo con igual valor.

Error accidental

Es el debido a causas fortuitas o accidentales y variables, cuyos valores están dentro de la aproximación de los instrumentos. A ellos se aplica la teoría de Errores.

Magnitud

Es todo ente abstracto susceptible de ser medido o para el cual se puede definir la igualdad y la suma. Ejemplo: longitudes, áreas, volúmenes, pesos, cargas eléctricas, etc.

Calibre

Podemos clasificarlos en dos grupos:

- a) Calibres de límites: sirven únicamente para determinar entre qué límites, máximo y mínimo, se encuentra la magnitud de medida. Ejemplo: se necesita tener un agujero cuyo diámetro es de 40 mm., con una tolerancia admisible de + 0.025. La dimensión se puede comprobar si está entre dicho rango, haciendo "pasar" un cilindro metálico por el agujero, de 40 mm y luego hacer lo mismo con otro cilindro de 40.025; si el primero pasa y el segundo nó, estaremos seguros de que nuestra medición relativa está dentro de lo admisible.

El inconveniente de estos calibres es que el "no pasa" no permite señalar los defectos de forma.

Nunca se debe forzar un calibre, se debe hacer pasar por su propio peso.

- b) Calibres de Cursor o deslizantes: consisten en una regla rígida graduada (milímetro y/o pulgadas) provista de un tope o punta fija. Sobre esta regla se desliza un cursor graduado, con graduación distinta a la de la regla, al que va unido otro tope o punta móvil.

Las piezas a medir se toman entre las dos puntas y se efectúa la lectura. El cero del cursor indica las unidades enteras sobre la regla graduada. La graduación especial del cursor se llama NONIUS y permite leer la parte decimal de la entera leída. La inexactitud del calibre es del orde de: 0.1 a 0.3 mm.

Las divisiones que suelen encontrarse en los nonius son:

10 intervalos de 9 mm	-----	c/u = 0.1	mm
20 intervalos de 19 mm	-----	c/u = 0.05	mm
50 intervalos de 49 mm	-----	c/u = 0.02	mm

Micrómetro

Son calibres de dimensión variable, que permiten medir en lectura directa las dimensiones reales con una aproximación de 10 micras e incluso con una micra. Su nombre está justificado por esta aptitud de medir o apreciar las diferencias de magnitud del orden de la micra.

El principio en que se basa es el del sistema tornillo-tuerca. Si en una tuerca fija se hace girar un tornillo una vuelta, avanza simultáneamente una distancia igual a su paso.

Para que la lectura sea cómoda, se dispone de dos graduaciones:

- a) El número entero de vueltas "n" del tambor graduado (nonius circular) se lee en la graduación rectilínea de un manguito fijo, frente al borde del tambor que se desplaza con el dado móvil.
- b) La fracción de vuelta suplementaria del tambor se lee sobre su graduación circular giratoria frente a un trazo fijo del manguito. La carrera del dado móvil es generalmente de 25mm.

En los portátiles, que son los más corrientemente usados, la lectura con una aproximación de 0.01 mm se obtiene mediante un tornillo con paso de 0.5 mm provisto de un tambor dividido en 50 partes.

Una escala doble longitudinal sitúa la posición del tambor de 0.5 en 0.5 mm. Los aparatos fijos que dan en la lectura la aproximación de 1 micrón (1 mm de paso) tienen un gran tambor con 1.000 divisiones para lectura directa o bien un tambor más reducido con solamente 100 divisiones pero provisto de un nonius para 1/10.

Bloques Patrón

Son elementos que han sido trabajados con una gran exactitud y permiten definir una dimensión determinada. Se los confecciona de acero aleado o en acero tratado y nitrutado. Sirven como elementos de calibración de aparatos de medición.

Los más conocidos son los discos patrón. Sus diámetros respectivos están normalizados entre 10 y 100 mm con una precisión

corriente de ± 1 micrón. El valor de los bloques-patrón está definido por la distancia entre las dos superficies planas, pulidas y paralelas. Se les debe utilizar a la temperatura de tasado que es de 20°C para evitar errores por la dilatación térmica.

La calidad de los bloques puede ser:

a) De tolerancia para taller : $0.1 \text{ micrón} + \frac{2 (\text{longitud bloque})}{1.000.000}$

b) De tolerancia para laboratorio : $0.05 \text{ micrón} + \frac{1 (\text{longitud bloque})}{1.000.000}$

Comparadores

Son elementos que permiten medir la magnitud de una pieza por comparación con ellos. La dimensión de la pieza será igual a la dimensión del patrón $\pm$ diferencia. Si esta diferencia permanece dentro de la tolerancia prevista, la pieza se considerará satisfactoria y en el caso contrario se rechazará.

La comprobación o comparación de las diferencias entre pieza y patrón se aplica tanto a las dimensiones lineales como a las formas geométricas.

El más conocido es el comparador de taller: actúa ordinariamente como amplificador de engranajes, en el cual las diferencias que actúan sobre un palpador se traducen en el desplazamiento de una aguja sobre un cuadrante registrador. Cuando el palpado retrocede, la aguja gira en el sentido horario e indica una diferencia positiva (en exceso) y recíprocamente.

El cuerpo del comparador o reloj puede adaptarse a una gran variedad de montajes o soportes (fijos y móviles) para medidas exteriores, interiores o de profundidad.

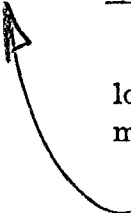
Definición del metro

Es la longitud equivalente a 1'553,164.13 veces la longitud de la onda luminosa del vapor de Cadmio; en condiciones de aire seco, a 15°C y a la presión barométrica de 760 mm la longitud de tal onda es de 0.64384696 micrones.

Patrones secundarios

Se construyen tomando como base los patrones prototipos : metro y el ángulo recto. El metro patrón prototipo es una barra de platino-iridio que se encuentra depositado en el Pavillon de Breteuil en Sevres (Seine).

Reglas geodésicas



Son patrones , pero de magnitudes relativamente grandes a los que se recurre para la confección de los secundarios para las mediciones. Por ej, : las que posee el Instituto Geográfico Militar.

MEDICIONES DE TENSION, CORRIENTE Y POTENCIA

Mediciones de tensiones y corrientes continuas

Las corrientes continuas de magnitudes habituales en los trabajos de comunicaciones, se miden con instrumentos portátiles del tipo de bobina móvil (D'Arsonval). Estos instrumentos son sólidos, estables y consumen relativamente poca potencia. Se los encuentra en el comercio en una amplia variedad de rangos, tipos y precisiones.

Los voltímetros son en esencia instrumentos indicadores de corriente, provistos de una resistencia en serie. La potencia consumida por un voltímetro depende de la sensibilidad en corriente del instrumento, y se expresa comúnmente en "ohms por volt". Así, si se requieren 2 mA para dar desviación a plena escala, la resistencia serie requerida será igual a 500 veces el valor de la tensión que se necesita para producir esa desviación a plena escala. Las sensibilidades más frecuentemente utilizadas están en el rango de 100 a 200 ohms por volt, prefiriéndose para trabajos de comunicaciones los valores mayores.

Los instrumentos destinados al servicio de laboratorio y trabajos experimentales, pueden ser protegidos contra sobrecargas accidentales por medio de fusibles de acción instantánea. A menudo resulta conveniente equiparlos con "shunts" o multiplicadores para extender sus rangos. En tales casos, deben disponerse las escalas de manera que cada división represente una, dos o cinco unidades. Por lo tanto, cuando se dispone de 50 divisiones, deben elegirse los varios rangos en el orden 1-2,5-5-10-25, etc.; cuando se dispone de 100 divisiones, el orden de los rangos debe ser 1-2-5-10-20, etc.

Voltímetros de varios rangos: Los circuitos para multiplicadores de voltímetros, están representados en la figura 1. Ambas disposiciones dan resultados igualmente satisfactorios aunque la indicada con a es un poco más económica en cuanto a la cantidad de resistencias. La llave dibujada es preferiblemente del tipo de topes, y debe poseer elementos de cortocircuito: o sea que, cuando el cursor pasa de un contacto al siguiente, debe poner momentáneamente en cortocircuito ambos

contactos en lugar de dejar abierto el circuito. Deben elegirse las resistencias en forma tal que en cada posición de la llave, la resistencia total en el circuito, incluyendo el fusible y el instrumento, posea el valor apropiado. En los instrumentos de alta precisión las resistencias multiplicadoras se construyen con alambre de coeficiente de temperatura igual a cero, tal como la manganina; y deben funcionar con una elevación de la temperatura relativamente pequeña. Sin embargo si la precisión garantizada para el instrumento es del orden de 1 a 2%, resulta prácticamente adecuada cualquier resistencia de alambre, siempre que funcione a una disipación considerablemente inferior a la nominal.

Amperímetros de varios rangos: Cuando se prepara un instrumento para la medición de corrientes con cierto número de rangos debe cuidarse de disponer el circuito de manera que las resistencias de contacto y del fusible no queden incluidas en la resistencia de derivación o "shunt". La fig. 2 representa algunos circuitos apropiados. Cada una de las disposiciones requiere una llave de dos secciones y del tipo de cortocircuito. Se observará, en ambos circuitos, que la resistencia del fusible y la resistencia del contacto de la llave S_1 quedan en el circuito de línea, y no producen efecto sobre la relación de multiplicación. El contacto de la llave S_2 queda en serie con la resistencia del instrumento, que es de valor mucho mayor, y no introduce error apreciable siempre que la llave esté en buenas condiciones. En el circuito representado en la fig. 2a, se ajusta individualmente cada derivación hasta obtener el alcance indicado. El análisis del circuito universal de derivación simplificado, dibujado en la fig. 2c, demuestra que la relación multiplicadora relativa es proporcional a R/R_1 , es independiente de la resistencia del instrumento y también de la resistencia total de derivación R . Por lo tanto si se toman puntos intermedios de la resistencia R , tales que la relación $R/R_1 = 1, 2, 5, 10$, entonces los factores relativos de multiplicación en estos mismos puntos serán 1, 2, 5 y 10 respectivamente, y son constantes cualquiera sea la resistencia del instrumento. La resistencia total R de la derivación universal debe ser de valor tal que en la posición 2 en la fig. 2b, se obtenga la desviación a plena escala. Una posible variante consiste en hacer R mayor que este valor y conectar luego en paralelo con R una derivación adicional que se ajusta hasta obtener la sensibilidad deseada. El uso de esa derivación auxiliar sobre R no afecta los factores de multiplicación relativa para las distintas derivaciones, y hace posible el uso de la misma resistencia derivadora o "shunt" con instrumentos de resistividades ligeramente diferentes.

Las derivaciones del tipo representado en la fig. 2a, para rangos de corriente hasta 1 ampere, pueden construirse arrollando el alambre en pequeños carretes provistos de un agujero axil para el montaje. El "shunt" universal puede arrollarse sobre una lámina aislante. El material utilizado para su construcción es el cobre o cualquier alambre para resistencia de que se disponga (1). El único factor que debe tenerse presente es que las resistencias preparadas con "advance" "nichrome", etc. generarán, inmediatamente de haber sido sometidas a la acción del soldador, una tensión termoeléctrica suficiente para causar pequeñas desviaciones en los miliamperímetros o microamperímetros. Esto puede ocurrir también cuando están instaladas en lugares muy calientes. Para impedir la producción de este efecto, debe usarse cobre o manganina.

Métodos para la medición de tensiones y corrientes alternadas

El problema de medir corrientes alternadas en trabajos de comunicaciones, resulta complicado por el amplio rango de frecuencias que debe cubrirse y por las dificultades de calibración consiguientes. Si bien se han desarrollado muchos métodos para la medición de magnitudes de corriente alternada, los únicos medios que se usan extensamente en el ramo de comunicaciones, son los instrumentos de hierromóvil, dinamométricos, a rectificador, de alambre caliente, termocuplas y voltímetros a válvula.

Los instrumentos a hierro móvil se usan ampliamente para mediciones de tensión y de corriente, a frecuencias industriales, de 50 a 60 ciclos. Son económicos, suficientemente precisos y pueden usarse hasta frecuencias del orden de 500 ciclos por segundo, sin que se introduzcan errores indebidos. Pueden ser construïdos con sensibilidades máximas próximas a 15 mA, o sea, con resistencias específicas de unos 67 ohms por volt. Los instrumentos dinamométricos son más precisos que los de hierro móvil, pero considerablemente más costosos. Son de buena exactitud hasta frecuencias de varios centenares de ciclos a 1000 ciclos, según sea su sistema de construcción. Los instrumentos a alambre caliente, han sido muy usados tiempo atrás para la medición de corrientes en radiofrecuencia, pero en la actualidad están virtualmente abandonados. Utilizan un delgado alambre de resistencia, estirado entre dos puntos de sostén. Cuando se calienta este alambre se dilata ligeramente y desvía

una aguja ligada mecánicamente con él, que indica la magnitud de la dilatación y por lo tanto permite medir la corriente.

Los instrumentos a rectificador, a termocupla y los voltímetros a válvula, son los más importantes para el uso a frecuencias mayores de 60 ciclos, y se describen en detalle en las secciones que siguen.

El comportamiento de los instrumentos para la medición de corrientes alternadas, cuando se aplican a corrientes no sinusoidales es de particular importancia porque estos instrumentos están, prácticamente siempre, calibrados en valores eficaces de corriente sobre la base de ondas sinusoidales. Los instrumentos a hierro móvil alambre caliente y a termocupla, dan lecturas exactamente proporcionales al valor eficaz de la onda. Luego, si esta onda consiste en la suma de varios componentes de diferentes frecuencias, cuyas magnitudes son I_1 , I_2 , I_3 , etc. estos instrumentos darán la misma deflexión que correspondería a una onda sinusoidal de valor eficaz

$$I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots$$

La substitución en esta fórmula, demuestra que la presencia de 20% de segunda armónica, aumenta la lectura en 2%. La lectura no depende de la fase relativa de las varias armónicas.

Con instrumentos a rectificador y con voltímetros a válvula, la situación es un tanto diferente. El instrumento a rectificador da una desviación proporcional al valor medio de la onda rectificada, y las armónicas afectan este valor medio en una magnitud que depende no solamente de sus amplitudes, sino también de sus fases relativas. Con los voltímetros a válvula, el comportamiento depende del ajuste y es posible hacer que las indicaciones sean proporcionales al valor eficaz de la onda, al valor medio del semiciclo positivo de la onda, al valor medio del semiciclo positivo o al valor de cresta o amplitud.

REGISTRADOR GALVANOMETRICO DE REALIMENTACION

El registrador galvanométrico (fig. 3) representa al más antiguo y básico de los registradores de escritura directa. Este tipo de registrador utiliza una pluma adherida a la bobina móvil de un instrumento imán (tipo d'arsonval). La señal eléctrica a registrar es aplicada a la bobina, la cual

rota sobre su eje en la presencia de un campo magnético. El rotor móvil lleva la pluma a través de la carta en movimiento, produciendo un trazo. El registrador de escritura directa de tipo galvanométrico puede utilizarse ya sea con una pluma fuente, un punzón aguzado sobre una película de carbón o un punzón especial sobre papel sensible al calor o a la electricidad.

La configuración en la fig. 3 produce un trazo curvilíneo en el medio registrador debido al arco descrito por la pluma al ser llevada por el rotor giratorio. Variadas técnicas son utilizadas para traducir este movimiento giratorio en uno rectilíneo para facilitar su interpretación y la correlación de los datos. Dispositivos mecánicos son también utilizados para traducir el movimiento curvilíneo a registro rectilíneo.

Como el movimiento de la bobina móvil debe conducir la pluma y brazo registrador, la frecuencia de respuesta en registradores de este tipo está limitada a menos de 100 cps.

En el registrador galvanométrico de haz luminoso, un pequeño espejo unido a la bobina móvil refleja la luz proveniente de una fuente fija hacia un medio registrador fotosensible. Dado el tamaño extremadamente pequeño del espejo, comparado con una pluma registradora, este tipo de registrador es capaz de "escribir" velocidades de hasta 10 kc. La presentación es inherentemente rectilínea, pero la desventaja básica de este tipo de registrador es la demora en la observación del trazo debido a la necesidad de revelar el papel registrador. Modernos sistemas de revelado rápido permiten tener el registro en alrededor de 1 segundo; sistemas de impresión requieren 1 minuto.

Los registradores potenciométricos utilizan principios de servomecanismos (realimentación) para obtener alta sensibilidad y alta precisión. Básicamente, el registrador potenciométrico compara la señal a ser registrada con un patrón interno. La señal de diferencia resultante (error) controla un servomotor que guía la pluma hasta que el error es cero.

La presentación es inherentemente rectilínea, pero el registrador potenciométrico es esencialmente un aparato de baja frecuencia a causa de: la inercia del potenciómetro de alambre accionado mecánicamente, etc. Por lo tanto este tipo de registrador está limitado a un límite de respuesta de alta frecuencia de 1 ó 2 cps.

Registadores Galvanométricos de realimentación de alta velocidad

Una "nueva generación" de registradores de escritura directa de alto rendimiento ha aparecido recientemente y tiene algunas innovaciones de interés.

La Fig. 4 ilustra sobre los componentes del sistema Mark 200. El sistema de alimentación de tinta a presión responsable de los trazos de alta precisión requiere presión considerablemente más alta que la normal para asegurar una descarga controlada; ésta en cambio necesita un movimiento de pluma más poderoso para superar la incrementada fuerza de fricción o inercia. Las exigencias del motor pluma son cumplidos por una realimentación positiva y un sistema de humedecido que permite un preciso control ($\pm 0,25\%$) del recorrido de la pluma hasta una frecuencia de 200 cps.

La Fig. 5 muestra como el movimiento curvilíneo de la pluma es convertido en rectilíneo. Cuando el eje del rotor del motor de la pluma gira, el ensamble proporcionado por la banda de metal flexible hace que el eje en la parte más alejada de la articulación, gire en sentido opuesto, como se muestra en la fig. 5.

Al mismo tiempo, el mismo eje oscila en un arco sobre el centro del eje del rotor del motor de la pluma debido a un brazo de articulación rígido que conecta el eje del rotor con el punto de giro.

La acción resultante produce una respuesta rectilínea.

Por medio de la correcta elección del diámetro del núcleo fijo (a_2) y el eje rotatorio en el extremo opuesto de la articulación (a_1), la desviación de la línea recta puede ser mantenida en menos de 0.1% del total de la amplitud de la banda registradora, y el alineamiento de la carta puede mantenerse dentro de los 0.25% de la escala.

Transductor de realimentación para el motor pluma

El transductor METRISITE es el corazón del control de la posición del realimentador. Al contrario del registrador potenciométrico convencional que utiliza un alambre de contacto corredizo u otros aparatos operados mecánicamente, el Metrisite no tiene contactos corredizos sujetos

a desgaste u operando irregularmente o en etapas. Esto permite un control continuo y parejo, resolución eléctrica infinita, completa liberación de arrastre mecánico o fricción, respuesta a 200 cps y una precisión de $\pm 0.25\%$ de la escala.

El transductor (Fig. 6) consiste de una unidad de núcleo magnético conteniendo tres ramas. Las dos bobinas enrolladas en el circuito trasero del núcleo están conectadas en serie opuestas a la entrada de un demodulador de fase. Un oscilador de 20 kc está conectado a la tercera rama.

El rotor movable está conectado al eje de la bobina impulsora y por lo tanto gira con éste. Cuando este rotor está alineado con el eje del circuito del núcleo central, el flujo inducido en el circuito central por el oscilador de 20 kc (que está conectado a la rama en el circuito central) se divide por igual entre los dos circuitos laterales. Esto induce voltajes iguales y opuestos en las dos ramas laterales no produciendo voltaje de salida desde el transductor de posición.

Cuando el rotor del transductor es desplazado de su posición central, el flujo se divide desigualmente entre los circuitos finales del núcleo del transductor. La amplitud de este voltaje resultante varía linealmente con el desplazamiento de la bobina impulsora. El voltaje del transductor es comparable con el voltaje del oscilador de 20 kc en el demodulador para determinar la polaridad del "voltaje posicional".

El voltaje del demodulador (proporcional a la posición de la pluma) está aplicada a la entrada de un amplificador diferencial (fig. 4). La señal a ser registrada es aplicada al otro terminal del amplificador diferencial. La señal de error resultante es amplificada y usada para posicionar el motor-pluma.

SISTEMAS OPTICOS DE OSCILOGRAFOS

La oscilografía por haz luminoso se ha convertido en una importante herramienta en la investigación e ingeniería. Con la conveniente adición de papel registrador que no necesita procesamiento químico, esta técnica de registrador va ganando mayor aceptación cada vez. Para utilizar plenamente la precisión inherente a este tipo de registrador es necesario conocer los principios de operación, incluidos los factores que ejecutan el funcio-

namiento dinámico primordial de un sistema y producen un registro con la combinación de una buena resolución, alta velocidad de escritura y excelente contraste de trazo. El corazón del oscilógrafo multicanal es el galvanómetro. Una pequeña bobina es mantenida en un campo magnético uniforme por una fina cinta de suspensión. Una corriente constante a través de la bobina producirá una fuerza de torsión que está relacionada con la corriente, el campo magnético, el número de vueltas de la espiral, la geometría de la espiral y su posición con relación al campo magnético. El pequeño tamaño de la espiral y el leve ángulo a través del cual gira permite considerar el campo magnético uniforme y normal en todo lugar a un plano conteniendo el eje del galvanómetro. La desviación angular resultante δ debido a una corriente I está dado por:

$$\delta = kIB \cos (\theta + \delta) \quad (1)$$

El ángulo entre el plano de la espiral y el campo magnético, donde no fluye corriente, es llamado θ . Adosando un pequeño espejo a la suspensión del galvanómetro, un haz luminoso se refleja desde el espejo a un material fotosensible. La geometría de este sistema determinará hasta donde será obtenida una verdadera linealidad y simetría de desviación.

Sistema Optico de Registro

El sistema expuesto en la Fig. 7, utiliza lentes cilíndricos y puede ser considerado como compuesto por dos sistemas independientes. Un sistema enfoca en el plano vertical y otro en el horizontal.

En el plano vertical, el primer lente, a menudo denominado lente colector forma una imagen alargada del arco de la lámpara en el espejo de galvanómetro. Este lente compensa por el limitado tamaño vertical de todas las lámparas de arco de alta presión. El uso de un lente colector cilíndrico hace que el espejo galvanométrico se transforme en la fuente aparente de luz para el lente final en el plano vertical. La fuente agrandada en este plano da una imagen con suficiente alta luminosidad, sin la necesidad de una lente final correctora.

La luz reflejada del espejo galvanométrico cae en el lente cilíndrico final y forma una estrecha imagen en el papel registrador. En el plano vertical el lente galvanométrico no tiene poder de enfoque. Sin embargo, en el plano horizontal este lente forma una imagen del ancho de la fuente de arco en el material registrador.

NUEVOS METODOS DE ESCRITURA CON TINTA PARA REGISTRADORES GRAFICOS

Tanto el papel como la tinta deben ser cuidadosamente seleccionados a efectos de un buen registro. Es una ventaja utilizar tinta sólida-

Uno de los métodos más antiguos para producir una línea en una carta móvil es el de lapicera capilar. Esta construcción era simple pero tenía la molesta tendencia de "arrojar" tinta. Este problema fue resuelto por medio de la escritura eléctrica o térmica. Sin embargo, el papel sensible a la electricidad o térmico es caro y susceptible de dar datos incorrectos. Asimismo, los trazos no son tan legibles.

Estos problemas fueron minimizados con el desarrollo de dos nuevos métodos: 1) escritura con tinta viscosa compacta y 2) escritura con cera capilar caliente o tinta sólida.

La precisión depende tanto de la calidad del papel de la carta y la tinta como del sistema amplificador del motor-pluma. Mayor claridad sobre un mayor rango de velocidad de escritura se obtiene cuando la tinta, pluma escritora, motor pluma y el papel son todos compatibles.

Escritura con tinta viscosa compacta

La pluma consiste en un tubo hueco cuya punta se presiona contra la carta con una fuerza determinada por la viscosidad y compactación de la tinta.

La viscosidad de la tinta es tal que la capilaridad por sí sola no alcanza a alimentar con la tinta a la velocidad requerida por la escritura muy rápida. Por lo tanto, la tinta viscosa debe ser comprimida. La mejor punta de pluma es un tubo de acero inoxidable (0.018" OD y 0.010"-0.012" ID). La presión de la punta es de 25 gr. lo cual forma un tapón contra la presión del fluido (15 a 20 psi). Los sistemas hidrostáticos de este tipo son completamente independientes de la posición y escriben satisfactoriamente aún cuando se incline o en un ambiente de alto G.

Tinta Viscosa

Las tintas viscosas contine más del 50% de colorante, y el volumen de tinta requerido para producir una línea opaca en el papel es considerablemente menor que para una tinta líquida convencional (que contiene alrededor de 2% de colorante). Por ejemplo, una onza de tinta viscosa puede escribir una línea de 100 millas de largo (pero si el papel es muy absorbente, esta ventaja se anula).

Seleccionando el papel

Tres propiedades importantes que debe tener el papel son: absorción superficial, acabado y estabilidad dimensional.

Las velocidades de escritura de los registradores a pluma varían de 0.05 mm/seg a 4500 mm/seg (0.002 a 180 ips). La absorción de la superficie del papel debe ser suficiente como para absorber tinta a las más altas velocidades, pero al mismo tiempo no ser tan poroso como para causar "chorreado" en las velocidades bajas. La variable principal para efectuar buenas reproducciones (Ozalid o Xerox) de las cartas es la diferencia en la transmisión ultravioleta entre el papel y el trazo de tinta. Papel de carta especial es utilizado para que el trazo alcance la opacidad UV a todas las velocidades de escritura, sin tener que sacrificar la definición de la línea ni la exactitud.

El mejor tipo de papel para ser utilizado con tintas compactadas es el revestido (fibra de pulpa combinada con un revestimiento mineral

aplicado en caliente). Esto permite una alta absorción y la suavidad necesaria para reducir la fricción de la punta de la pluma.

El papel con un revestimiento muy denso no permite la suficiente absorción necesaria para un trazo claro y a prueba de borrones. A la inversa, la mayor porosidad permite ampliar el trazo y no permite apoyar la punta lo suficiente como para que la tinta se desparrame a altas velocidades de escritura o que se endurezca dentro de la punta cuando no se utilice el registrador. Un mal papel transtorna el balance del delicado sistema hidrostático.

Verdadera absorción no es esencial, materiales plásticos con un conveniente acabado mate (Mylar, acetato y polisterene) tienen una efectiva absorción que acepta satisfactoriamente tinta viscosa.

Escritura

La punta de la pluma se apoya en la superficie absorbente de la carta. Como se produce un movimiento entre la punta y el papel, la tinta viscosa penetra en la superficie de absorción del papel. La tinta en la superficie del papel es "cortada", por así decir, por las paredes de la pluma, dando lugar a un trazo que es seco y a prueba de borrones ya que no hay película superficial de tinta. Una sola pasada de la pluma llena los poros del papel revestido, para evitar la futura absorción. Dado que la presión hidrostática de la tinta está sobrecompensada por la fuerza de la punta, la tinta no puede derramarse ni formar charcos. Esto significa una ventaja cuando la pluma se mueve tan rápidamente que vuelve sobre su trazo repetidas veces en una fracción de segundo. Debido al fino trazo producido por los sistemas hidrostáticos, y al hecho de que la tinta adicional no se deposita cuando la línea se vuelve a trazar, la misma cantidad de tinta registrará muchas veces más que en el sistema de tinta líquida, en el cual se depositan grandes cantidades de tinta en el papel cuando la línea se vuelve a trazar.

Cuando la tinta viscosa es "cortada" por la punta de la pluma, la misma lubrica la punta. Y, como la punta no toca el papel, esto resulta en la mayor duración de la pluma.

El papel entintado "sella" la punta como si fuera un tapón cuando el sistema no se usa, por lo tanto la tinta no se puede secar dentro de la punta de la pluma. No hay obstrucción cuando el sistema está casi parado porque tanto la base de glicol de la tinta y la tintura disuelta penetran en la cobertura del papel en la misma proporción impidiendo la concentración de tintura.

Escritura con tinta en estado sólido

El método de escritura con tinta en estado sólido, recientemente desarrollado, (utilizado en registradores potenciómetricos de baja velocidad y carta amplia), ofrece una inherente precisión y un inmejorable mantenimiento aún bajo condiciones adversas.

Varillas sólidas de cera especial teñida son colocadas en un tanque calentado. Cuando se derrite, la cera fluye libremente de un pequeño tubo sobre la superficie del papel. Una válvula de aguja controla la densidad del trazo para que convenga a su aplicación. El trazo se seca rápidamente, es claro y permanente.

Cuando no se usa, la cera permanece sólida y no se evapora o deteriora. Incluso cuando el registrador es utilizado ocasionalmente, la tinta derretida fluye libremente de la pluma después de un breve recalentado. Se evita el flujo excesivo porque el trazo de la tinta se ca instantáneamente en contacto con el papel. La línea de cera sólida colocada por la punta de la pluma penetra en las fibras del papel y los trazos son fácilmente reproducibles en Ozalid o Xerox.

Trazos consistentes son producidos a cualquier velocidad de escritura desde los 0.01 ips a 40 ips (0,25 a 1000 mm/seg). La masa de tinta (que acompaña en su recorrido a la punta de la pluma) limita la velocidad de registro a 2 cps en 10 pulgadas "pico a pico", o 10 cps a 1 pulgada "pico a pico". El circuito de control para mantener una temperatura de pluma constante evita la obstrucción por "cerradura por vapor", la congelación y la obstrucción a bajas temperaturas. Después que el voltaje de la pluma es ajustado (10-11 V) no se precisan ajustes posteriores dado que el elemento calentador del tanque controla la temperatura. El sistema está capacitado para producir trazos consistentes en la temperatura ambiente desde 0 hasta 150°F.

La tinta en estado sólida es térmicamente estable, no deja residuos, no forma gomosidad, y no mancha. Una varilla sumergida indica el nivel de la tinta. Una barra de tinta, del tamaño de un lápiz, de 1 pulgada de largo, provee de suficiente tinta como para registrar un rollo de carta de 120 pies, y el recipiente tiene capacidad para cuatro barras. Toda vez que se requiera un registro bajo severas condiciones de trabajo, o para operaciones que se efectúen solas, o donde una máxima seguridad es esencial, es preferible la tinta en estado sólido. El papel necesario para este tipo de tinta es el usado comúnmente. No necesita ser recubierto pero el acabado debe ser duro y estable dimensionalmente porque el registro potenciométrico a menudo requiere sistemas muy exactos, de aproximación 0.1%.

Conclusión

Desde el desarrollo de estas nuevas técnicas de escritura y de motores pluma con control a realimentación, el desempeño de los sistemas de registro en la actualidad es a menudo superior a muchos tipos de transductores, salida de computadores analógicos o telemétricos. Estos recientes descubrimientos han hecho del registro gráfico un implemento más útil en todos los campos de la ciencia y la industria.

CALIBRACION DE PIROMETROS OPTICOS

Los pirómetros ópticos son utilizados para medir la temperatura de objetos incandescentes, para efectuar la Escala Práctica Internacional de Temperatura por sobre los 1063°C . El National Bureau of Standards calibra pirómetros ópticos para la ciencia y la industria por sobre temperaturas del orden de $800-4200^{\circ}\text{C}$. El margen de error de la calibración varía desde alrededor de 3° (a 1063°C) hasta 40° (a 4200°C). El Bureau también calibra Lámparas de filamento de tungsteno para ser utilizadas como fuentes conocidas de temperatura de luminosidad por sobre el orden de $800-2300^{\circ}\text{C}$. En general, un pirómetro óptico consiste de un sistema óptico a través del cual es observado el objeto cuya temperatura está siendo medida, y un abastecedor de corriente es utilizado para aplicar una corriente variable a un fino filamento de tungsteno dentro del sistema

óptico. La corriente es ajustada hasta que el filamento desaparece contra el fondo del objeto observado, y al mismo tiempo se puede leer en el dial controlador de corriente, la temperatura, el voltaje o la corriente. Un filtro rojo es colocado frente al ocular para asegurar que un rango limitado de longitudes de onda pueda ser observado. Como el máximo de temperatura alcanzado con el filamento de tungsteno es de alrededor de 1350°C , filtros absorbentes son colocados en el sistema óptico (ya sea enfrente del objetivo delantero o entre el objetivo y la lámpara de filamento) Para permitir la medición de temperaturas más altas. El filtro atenúa la luz transmitida al ojo por el objeto observado, extendiendo así el rango del instrumento.

Pirómetro NBS

Al pirómetro NBS, con el cual muchos otros pirómetros son comparados se le dió una calibración primaria. Esto fué efectuado realizando gran número de observaciones (por diferentes observadores) de una cavidad cuerpo negro rodeado de oro en el punto de fusión cuya temperatura está definida como de 1063°C en la International Practical Temperature Scale. En adición a esta determinación de un punto, la calibración fué extendida a más altas y más bajas temperaturas, siendo determinadas las temperaturas por el apareamiento de la iluminosidad de la lámpara (vista a través de discos rotatorios en secciones, con transmisión conocida) con la del cuerpo negro (1063°C). La corriente de la lámpara pirométrica correspondiente a las diversas temperaturas fué determinada con un potenciómetro. El mismo tipo de circuito es utilizado para medir las corrientes en los filamentos de los pirómetros probadores durante la calibración.

Procedimiento de calibración

Los instrumentos sometidos a la calibración son comparados con el pirómetro NBS mientras se observa una lámpara de banda de tungsteno que es utilizada con una temperatura de luminosidad de hasta 2400°C y, si se desea mayores temperaturas se utilizan arcos de carbón o zirconio. La temperatura de luminosidad de un arco de zirconio es de alrededor de 2800°C y la del crater positivo del arco de carbón es de alrededor de 3530°C .

Al poner a punto los pirómetros para una calibración comparada, los ejes ópticos de los pirómetros de prueba y el NBS son colocados paralelos. La fuente es montada en un banco de torno y es transportada mecánicamente a posiciones alternadas enfrente de los dos pirómetros. La fuente es ajustada para que la imagen de su campo visual coincida con el área visual de la lámpara de filamento en cada pirómetro. Antes de comenzar las observaciones, la fuente es estabilizada; esto toma algunos minutos a los arcos, pero una hora es necesaria para estabilizar la lámpara. Luego, en una habitación oscura, se coloca la fuente en frente del pirómetro NBS. Dos observaciones son efectuadas y luego la fuente es trasladada a su posición frente al pirómetro probador. Cuatro observaciones son realizadas con el pirómetro probador y luego dos más con el standard. Esta serie es repetida con un segundo observador. Las mediciones son efectuadas desde ambos lados de la desaparición, comenzando con el filamento que sea al mismo tiempo más luminoso y oscuro que la fuente.

Cuando una lámpara de filamento es usada como fuente, la continuidad de la luminosidad es asegurada a través de la comparación analizando la corriente de la lámpara. También cuando se realizan series de lectura con una lámpara de filamento, la lámpara es llevada primeramente hasta su temperatura más alta y luego disminuida, dado que de esta manera se consiguen los menores tiempos de estabilización entre puestas a puntos.

Los resultados de la calibración son comunicados directamente al usuario o por medio de un certificado de NBS. Generalmente se enlista la lectura de escala del pirómetro probador correspondiente a la temperatura del cuerpo negro. De todos modos, se informa en caso de ser solicitado la temperatura versus el voltaje o la corriente.

Calibración de la lámpara

Las lámparas, que consisten de un filamento de tungsteno contenido en un envoltorio lleno de gas, son calibradas por medio de determinaciones de la temperatura de iluminosidad, efectuadas con el pirómetro NBS.

La lámpara y el pirómetro son alineadas como en el caso de la calibración del pirómetro y, después de un período de calentamiento, la corriente de la lámpara de filamento es determinada al mismo tiempo que se efectúa la observación del pirómetro. Cuatro observaciones son realizadas por dos observadores en cada punto de la calibración. La corriente de la lámpara versus temperatura de iluminosidad (según es determinada con el pirómetro NBS) es comunicada al usuario.

Pirómetro fotoeléctrico

Un pirómetro fotoeléctrico que funciona con un tubo fotomultiplicador en vez del ojo humano para efectuar enlaces de iluminosidad entre las fuentes de interés y la lámpara pirométrica ha sido desarrollado en NBS. Después del correspondiente probado y calibrado, este aparato será utilizado para la calibración de pirómetros y lámparas. Eliminará en las calibraciones la variabilidad debida a la falta de precisión del observador.

TERMOCUPLAS W/W-25 Re PARA ALTAS TEMPERATURAS

A efectos de medir altas temperaturas en atmósferas de carbón, donde los métodos ópticos no pueden ser empleados, dos técnicas se han utilizado en los reactores Kiwi-A. La primera técnica fué recientemente publicada por Nadler y Kemptner y comprende la utilización de temperatura mínima de sólido (eutécticas) en diversos sistemas metal-carbono. El segundo método utiliza las termocuplas de tungsteno/tungsteno-renio, ya sea solas o convenientemente aisladas y envainadas. La utilización de termocuplas incluidas las de W/W-25 Rh, en atmósferas de carbono, ha sido publicado por los mismos autores. La presente discusión trata, con mayor envergadura, de la exitosa utilización de las termocuplas W/W-25 Rh, en las atmósferas carbono-hidrógeno de los reactores Kiwi-A y Kiwi-A3 del programa de incremento nuclear Rover.

Química y Metalurgia

El tungsteno y el renio, con puntos de fusión de 3410°C y 3180°C respectivamente, son los dos metales más refractarios, y por lo tanto, los más lógicamente elegidos para los sistemas de termocuplas para altas temperaturas. El diagrama de fase para el sistema tungsteno-renio, según fué publicado por Dickinson y Richardson, muestra que, al 25% de peso de renio, la primera aparición de líquido (p. ej. temperatura de sólido) ocurre a levemente pasados los 3100°C . Una aleación conteniendo 25% de su peso en renio, fué seleccionada primeramente para su evaluación como termoelemento en la esperanza de obtener una máxima fuerza electromotiva contra el tungsteno, sin precipitación de fase. (Fig. 8).

Aunque el tungsteno tiene el punto de fusión más alto y la menor expansión térmica de todos los metales, desafortunadamente muestra, a altas temperaturas, un rápido crecimiento de grano con la consecuente fragilidad al enfriarse a bajas temperaturas. Este crecimiento de grano puede evitarse adicionando pequeños porcentajes de inhibidores de límites de grano, como el dióxido de torio. Aunque la investigación está en desarrollo en este sentido, estos materiales han servido para impedir, pero no prevenir, la fragilidad durante la recristalización.

Dado que las aleaciones W-Re, conteniendo menos que 26% de su peso de Re, tienen más ductilidad a temperatura ambiente que el tungsteno puro, una probable aproximación fué la termocupla W-5Re/W-25Re, por ejemplo, donde se puede todavía tener una útil curva emf y dos ramas dúctiles. Esto ha sido tratado por Lachman y McGurty (descrito en su reciente publicación titulada "El uso de metales refractarios para termocuplas para temperaturas ultra altas"). Infortunadamente, ellos descubrieron "que un exceso del 10% de renio se requiere para aumentar la ductilidad a temperatura ambiente del tungsteno después de calentarlo por encima del punto de recristalización. Después discutiremos como hemos evitado la fractura de la rama del tungsteno por medio de un conveniente diseño.

Una ventaja de las termocuplas de W/W-Re es que pueden ser utilizadas en una atmósfera de hidrógeno (así como en vacío o en atmósferas de gases inertes) en todas las temperaturas, sin ningún problema de reacción. En su reciente artículo "Mediciones de temperatura en el

núcleo de un reactor" Shinault y McGrath establecen que "... a elevadas temperaturas, el tungsteno en contacto con el hidrógeno formará hidruro de tungsteno" bajo bombardeo continuo de rayos gamma y neutrones. Este efecto no ha sido observado en ninguno de los reactores Kiwi-A. Sin embargo, es esencial que la atmósfera esté libre de oxígeno y nitrógeno porque los óxidos del tungsteno y del renio son volátiles, y el tungsteno forma nitruros bastante refractarios. La existencia de nitruros de renio está pobremente definida en la literatura, pero parece que el renio no reacciona con el nitrógeno a elevadas temperaturas.

En la presencia del carbono, sin embargo, hay ciertas limitaciones para el uso de termocuplas W/W-Re desenvainadas. La investigación más corriente del diagrama de fase del tungsteno-carbono, ha sido efectuada por Sara et al, quienes están de acuerdo con la mínima temperatura eutéctica del sólido (W-W₂C) publicada por Nadler y Kemptner: $-2732 \pm 22^{\circ}\text{C}$. Los últimos investigadores obtuvieron $2720 \pm 20^{\circ}\text{C}$ para el punto de fusión del WC. Así, en la presencia de carbono, se puede observar la aparición de líquido en rama del tungsteno a temperaturas algo mayores que 2700°C . El diagrama de fase ternario del C-Re-W no ha sido publicado, por lo que no se puede predecir exactamente la temperatura mínima a la cual puede aparecer el líquido en la rama W-Re. (Fig. 9).

El diagrama de fase para el sistema Re-C ha sido publicado por Hughes, quien encontró que el renio y el carbono forman un sistema eutéctico simple, ocurriendo el punto eutéctico a 16.9% atómico del carbono y a 2480°C . Esto está muy de acuerdo con el valor de $2486 \pm 18^{\circ}\text{C}$ publicado por Nadler y Kemptner. Así, para una termocupla de W/Re o de Re/W-Re en la presencia de carbono, se puede observar la aparición de líquido en la rama del renio a ligeramente por debajo de los 2500°C .

Si se utiliza alambres de termocupla de diámetro suficientemente la unidad puede sostenerse a sí misma sin que sea necesario el aislamiento (excepto de espacio). Otro método, que fuera utilizado exitosamente en los reactores Kiwi-A para termocuplas W/Mo, con-

siste en un tubo taponado firmemente en un extremo con un cilindro del mismo material termoelectrico dentro del cual se encaja una varilla axialmente alineada del segundo termoelemento. Aislación tubular puede ser utilizada para separar la varilla del tubo en el extremo frío pero, nuevamente el espacio libre es utilizado como aislación en la junta caliente. Este método tiene la ventaja (para algunas aplicaciones) que solo uno de los elementos está expuesto.

Envainado

En aquellas aplicaciones donde se requiera aislación eléctrica sólida una vaina protectora es asimismo requerida. Por ejemplo, en presencia del carbono, todos los óxidos de metales refractarios, incluyendo los dos más estables - óxido de berilio y dióxido de torio- reaccionan a temperaturas por debajo de los 2000°C.

En la fabricación de termocuplas de W/W-Re (y otros metales y aleaciones de los grupos V, VI y VII) que incorporan material aislante refractario, debe estar libre de aire, sino los termoelementos y frecuentemente la vaina serán rápidamente atacadas a altas temperaturas. Es recomendable que dichos aisladores se desgasen al vacío y su fabricación se lleve a cabo al vacío o en atmósferas de gas inerte anhidro.

Con respecto a los posibles materiales de envainado de metal, una manera conveniente de medir la temperatura a la cual puede ocurrir la fractura de la vaina en una atmósfera de carbono, es midiendo la temperatura del sistema metal-carbono. De los metales de transición del grupo IV al VIII, el tantalio es el de mayor de sólido. Considerando los siete metales (Ta, Nb, W, Mo, Re, Os y Ir), que tienen temperaturas de sólido por encima de los 2200°C, se puede circunscribir la selección en base a diversos criterios, como se ve en la Tabla I. El osmio y el iridio son, en la actualidad, metales muy caros, y en cuanto al osmio no se ha podido aún fabricarlo con ninguna forma. El renio se puede obtener en forma de hojas, láminas, alambre y varillas pero, hasta el momento, no se lo puede fabricar en forma de tubo.

El tungsteno se consigue comercialmente en forma de tubos con costura pero no se hace como tubos sin costura. El tántalo, niobio y molibdeno se pueden conseguir como tubos.

TABLA I. Propiedades de algunos metales refractarios

<u>Metal</u>	<u>Punto-fusión del eutéctico M-C</u>	<u>Absorción Neutrones Barns</u>	<u>Densidad g/cc</u>	<u>Precio U\$S por pulgada cúbica</u>
Tantalio	2902	21	16.32	21
Osmio	2732	15.3	22.5	942
Tungsteno	2732	19.2	19.3	2.44
Renio	2486	86	21.02	594
Niobio	2328	1.15	8.57	11.13
Iridio	2296	440	22.42	881
Molibdeno	2210	2.7	10.22	2.95

Es lamentable que los dos más "fabricables" de estos metales, tantalio y niobio, se fragilicen demasiado por reacción con el hidrógeno a 350-650°C aproximadamente. Sin embargo, el tungsteno y molibdeno no reaccionan con el hidrógeno aún en sus puntos de fusión. En los reactores térmicos no es recomendable el iridio, pero el niobio y el molibdeno tienen secciones de captura de neutrones térmicos bastante pequeñas. Son también interesantes aleaciones como W-Mo, W-Re y Mo-Re. En base a todas estas consideraciones, se eligió al molibdeno como el mejor material para envainado para los reactores Kiwi-A.

Afortunadamente, los efectos de la radiación nuclear sobre las termocuplas en las altas temperaturas de operación de los reactores Kiwi A son bien controladas por medio de recocidos térmicos. Aunque la investigación en los efectos de la radiación está claramente indicada, se puede esperar que la radiación pueda influenciar las cantidades de las reacciones químicas conocidas y puedan producir cantidades mínimas de nuevos elementos que no causan ningún problema al funcionamiento de la termocupla.

Construcción

Las termocuplas de tungsteno/tungsteno-25% renio fueron utilizadas para medir la temperatura de salida del gas de los reactores Kiwi-A previamente probados. Dos diferentes diseños de termocuplas fueron utilizados.

En el proyecto de diseño envainado, alambres de 20 mil milésimas de pulgada de tungsteno y tungsteno-25% renio son comprimidos dentro de un lingote de molibdeno y protegido por un forjado leve. Bolas de óxido de berilio con dos agujeritos en los extremos son ensartadas en los alambres en un largo de 14", lo cual comprende la "zona caliente" de la termocupla. El conjunto se inserta entonces dentro de un 3/8" O.D. tubo de molibdeno de pared de 30-mil y el bloque "moly" se inserta dentro del tubo para completar la unidad. La termocupla es instalada a través de la celda de presión dentro de la región de desagote del reactor y asegurado y sellado por medio de un ajuste de compresión. Este diseño funcionó bien durante las pruebas.

En el diseño de termocupla no envainada, alambres de termocuplas de 60-mil (tungsteno y tungsteno-25% renio) son ajustados a presión y forjados dentro de un bloque de tungsteno. Los alambres son pasados a través de un aislante de nitruro de boro, un sello de presión y aislantes de MgO, todos los cuales están contenidos en un cuello de termocupla; Conax modificada. Los alambres se extienden seis pulgadas dentro de la salida del reactor y están orientados de manera tal que ambos alambres están en un plano vertical a efectos de alcanzar el máximo de resistencia para soportar las fuerzas aerodinámicas de la corriente de gas. Una pieza de transición, hecha de micarta, proporciona conexión a alambres de 20-mil del mismo material. Los alambres de 20-mil con envainados en acero inoxidable y son terminados en la soldadura fría.

En este diseño de termocupla solamente los alambres desnudos y el bloque de soldadura fría están en la región caliente; son eliminados así los problemas de aislación eléctrica y sellado a alta temperatura.

Los alambres de termocuplas de tungsteno y tungsteno-renio se pueden conseguir en el mercado en los siguientes proveedores:

Hoskins Manufacturing Co.
Engelhard Industries
Chase Brass and Copper Company

Respuesta

Al ser usada para medir temperaturas de gas en los reactores Kiwi-A, la radiación y la capacidad de calor provocan que la temperatura de la termocupla T_t difiera de la temperatura del gas T_g . La ecuación de balance calórico es

$$hA (T_g - T_t) = Mc \frac{dT_t}{dt} + \epsilon A (T_t^4 - \alpha T_s^4)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor; A , el área de la termocupla; Mc , la capacidad calórica; ϵ , la irradiación del bloque de tungsteno y α , los alrededores de la termocupla cuya temperatura efectiva es T_s . De esta ecuación, la temperatura de la termocupla fué estimada en aproximadamente 100°C más baja que la temperatura en las series Kiwi-A. La temperatura de la termocupla retardará una temperatura variable de gas por una constante de tiempo $= (Mc/hA)/(1 + 4 T_t^3/h)$ segundos.

Se han efectuado experimentos en Los Alamos para medir esta constante de tiempo de los alambres de la termocupla a diversos grados de flujo de hidrógeno en el rango de los 1500°K . La termocupla fué colocada dentro de un tubo de grafito de $3/4''$ I.D. en una corriente de gas caliente. Un chorro de helio frío fué inyectado en ángulo recto en el flujo de hidrógeno dentro de la termocupla. Después de enfriar la termocupla, el chorro de helio fué desviado, al volver a tomar temperatura fué registrado en la constante de tiempo computada. Después de efectuar correcciones de la radiación, el coeficiente de transferencia de calor fué también computado.

La fig.10 muestra las constantes de tiempo medidas y los coeficientes h de transferencia de calor, diagramado como una función del número de Reynolds, N_{Re} (donde la longitud Reynolds fué tomada como 0.25 pulgadas la longitud del bloque de soldadura). El coeficiente de transferencia de temperatura aparentemente varía como $N_{Re}^{0.33}$ para N_{Re} menor que 2500, y como $N_{Re}^{0.68}$ para N_{Re} mayor que 2500.

La termocupla resistió los tests del Kiwi-A y es aparentemente digna de confianza. Las termocuplas sin envainar pueden ser utilizadas para pruebas subsiguientes en un loop de control automático de temperatura del gas.

ESPECIFICACIONES PARA POTENCIOMETROS

Hay un número de compañías que ha fabricado Potenciómetros de Precisión para Laboratorios con los cuales mediciones de gran exactitud son posibles. De éstos, el autor está familiarizado con los instrumentos fabricados por las siguientes firmas:

The Eppley Laboratory Inc, de Newport, R.I.
Leeds & Northrup Co, de Filadelfia, Penna.
Rubicon Division, Honeywell Inc., de Denver, Col.
Guildline Instruments Ltd, de Canada
Otto Wolff, de Berlín, Alemania.

L.M. Ericsson (o Cewe) de Suecia
Cambridge Instrument Co. Ltd., de Inglaterra
Croydon Precision Instrument Co. de Inglaterra

W.G. Pye & Co. Ltd. de Inglaterra
H. Tinsley & Co. Ltd. de Inglaterra
Julie Research Laboratory of New York, N. Y.
Gray Instrument Div. James G. Biddle Co. de Penna.

Además de adecuadas facilidades para su fabricación, alta calidad de los materiales y Know-how, dos importantes ingredientes son necesarios en la fabricación de instrumentos de alta precisión como éstos: obreros calificados y de gran experiencia y el más alto grado de integridad técnica. Dado la gran calidad de sus productos, es evidente que todos estos problemas han sido resueltos.

Todas las compañías mencionadas han fabricado los llamados "potenciómetros 0,001%". Sin embargo, si se leen las especificaciones, catálogos, u otra literatura facilitada por los distintos fabricantes y sus representantes, es difícil determinar como se pueden comparar los diferentes potenciómetros o cuál es más adecuado a las diferentes necesidades. También puede ser difícil entender que es lo que se quiere decir con "exactitud 0,001%", "precisión", "límite de error" y otras especificaciones. Aparentemente, no hay sistema uniforme o standard de escribir especificaciones técnicas o de actuación para los potenciómetros de laboratorio.

Algunos de estos fabricantes no pretenden hacer instrumentos 0,001%. Sin embargo, se sabe que los instrumentos que ellos fabrican están dentro del mil por ciento de exactitud. Otros fabricantes dicen que sus instrumentos son 0,001% pero sus especificaciones o descripciones de trabajo son tan variadas, incompletas y vagas que es dificultoso, si no imposible, hacer una comparación entre ellos sin realmente haber probado y usado cada instrumento. Esto es probable que sea dificultoso y, económicamente, desastroso. (Adquirir un buen instrumento de cada uno de estos fabricantes significaría una erogación de aproximadamente U\$S 30.000). Un resultado de la rápida expansión de la tecnología durante los últimos años es la necesidad de mediciones más precisas. A muchas personas de experiencia moderada se les ha asignado una parte en este programa. Este trabajo a menudo requiere instrumentos de gran exactitud. Si su necesidad es de un potenciómetro de alta calidad y no se puede conseguir uno de inmediato, debe comprarse uno?

A causa de las condiciones mencionadas, ni una cuidadosa lectura de la literatura ni una serie de sesiones con los agentes vendedores de las compañías, será de mucha ayuda para seleccionar el instrumento adecuado. Durante los últimos treinta y pico de años, el que escribe ha tenido la responsabilidad de poner a punto, equipar y poner en marcha media docena de laboratorios de standards de variados tipos, tamaños, capacidad, y costos. Esto fué realizado a veces como empleado, a veces como consultor. Muchas veces se ha tenido que enfrentar con situaciones como la descripta, no solamente con respecto a potenciómetros sino a otros instrumentos también. En numerosas ocasiones se ha solicitado su consejo por personas que tenían el mismo problema.

En ocasiones, cuando no se podía conseguir comercialmente el instrumento adecuado para cierto tipo de mediciones, se solicitó al que escribe que diseñara y construyera potenciómetros especiales para los distintos propósitos. Algunos de estos instrumentos eran de una exactitud del 0,001%. Dada su experiencia está bien capacitado para apreciar y juzgar los excelentes instrumentos que se pueden conseguir comercialmente en la actualidad.

Por lo tanto, es su opinión que la gente que fabrica estos magníficos instrumentos puede y debe proporcionar un tipo uniforme de especificaciones que sean completamente descriptivas y razonablemente entendibles por el usuario. Algunas veces se ha llamado la atención a los fabricantes sobre esta condición, y se han sugerido maneras de remediar este problema.

Escasos resultados se han obtenido hasta la fecha, probablemente porque los grupos no se han puesto de acuerdo sobre las especificaciones.

En vista de esta situación, es evidente que algo debería ser hecho para preparar un método standard para establecer las especificaciones técnicas de potenciómetros de precisión para laboratorios. Serán mencionados aquí algunos ejemplos y se propondrán especificaciones.

Primeramente una nota histórica, potenciómetros de gran exactitud de la clase de mil por ciento no son nuevos. Eppley probablemente fabricó los primeros potenciómetros de esta exactitud y precisión hace más o menos 40 años atrás, en 1924 o 1925. Estos instrumentos fueron hechos por encargo y fueron los primeros, y tal vez los únicos, potenciómetros que utilizaron bobinas a resistencia selladas herméticamente para asegurar una permanente exactitud. Tenían también control de temperatura y estaban instalados de un baño de aceite. Probablemente, el primer modelo de "producción" de instrumentos de 0,001% fué el potenciómetro Ermi que fué fabricado en Suecia en los años 30 por L. M. Ericsson. Estos son fabricados actualmente por la Cewe Mätinstrument, una afiliada de la Ericsson. Más recientemente, primero en Inglaterra y Alemania, y más tarde en los EE.UU., muchas compañías han producido potenciómetros de este calibre, aunque, como se ha expresado anteriormente, no todas de tan alta exactitud (el NBS tiene potenciómetros de origen norteamericano que ha estado usando por varios años y cuya exactitud está dentro de los 0,001%)

Catálogo de especificaciones

Un examen de los catálogos y listas de ventas de las compañías que fabrican y venden potenciómetros de precisión, muestran una cantidad de interesantes informes.

A continuación hay una lista de diez y nueve diferentes especificaciones extraídos de la literatura, con el propósito de dar información respecto a la exactitud o límite de error de los potenciómetros, que fueron facilitados por las compañías antes mencionadas.

Límite de error .0005%
Exactitud de medición .003%
Límites de error garantidos $\pm .005\% + .1\mu V$
Exactitud de ajuste $\pm .002\%$ de lectura
Exactitud de calibrado .002% + $.1\mu V$
Exactitud: bobinas ajustadas a $\pm .001\%$
Exactitud mejor que $\pm .001\%$ en el punto más alto del dial
Exactitud inter-rango .001%
Exactitud del potencial de división es $\pm .001\%$
Exactitud dentro $\pm .0003\%$ de valor $\pm 1\mu V$
Absoluta exactitud de medición .002%
Exactitud $\pm .001\%$ de lectura
La exactitud es de 1 parte en 100.000
Exactitud 0.0004 ± 1 dígito
Error no exceda de .001%
Exactitud del circuito de standarización $\pm .001\%$
Mediciones Emf con una precisión de $.01\mu V$
Límite de error .01% más $.01\mu V$
Exactitud $\pm .0015\%$ de lectura + $.1\mu V$
La información referente a resolución no es más satisfactoria.
En vez de 19 había solamente 6 especificaciones, todas diferentes, como sigue:
Resolución 1 ppm
Resolución de 1 parte en 20 millones
Incrementos de $1\mu V$
Incrementos de $.1\mu V$
Pasos de $.01\mu V$
Discriminación: una parte en 2×10^7

Los otros no incluyeron una especificación para resolución.

Había también solamente seis especificaciones para fuerza electromotriz térmica. Se mencionan más abajo y son nuevamente, todas diferentes:

Fuerza electromotriz térmica son menos que $.1 \mu V$
 Fuerza electromotriz térmica $.025 \mu V$ para $1^\circ C$
 Total parásitico de fuerza electromotriz térmica menor que $.01 \mu V$
 Fuerza electromotriz térmica residual menor que $.01 \mu V$
 Total fuerza electromotriz térmica menor que $0.1 \mu V$
 Algunas otras especificaciones se dan en los diversos catálogos, bo-
 letines y otras literatura, pero no son tampoco de mucha utilidad.

Incremento de la exactitud

En adición a los standards de exactitud, según lo expresado en
 sus catálogos, algunos fabricantes de instrumentos están ofreciendo
 potenciómetros con una aumentada especificación de exactitud. Esto
 se puede verificar por varios métodos. Uno de ellos utilizado por al-
 gunos fabricantes es garantizar algunos de sus potenciómetros. Se
 provee un certificado a cada uno de estos potenciómetros el cual da
 una información de exactitud específica sobre cada potenciómetro en
 particular. Otro método es proveer información para calibración in-
 dividua. Esta técnica es seguida cada vez que se va a utilizar el po-
 tenciómetro para mediciones muy precisas y así se obtiene por estos
 medios un determinado incremento de la exactitud.

La mejora en las especificaciones de exactitud que es obtenida
 por estos métodos se puede indicar por medio de los siguientes ejem-
 plos:

Límite de error $\pm (.0003\% + .5 \mu V)$ con garantía
 Exactitud (con calibración propia) $.0002\% + .5 \mu V$

Este tipo de especificación no debe ser considerada de modo que;
 signifique que el usuario alcanzará estas exactitudes cuando efectúe
 mediciones.

Como se indicará más tarde en este trabajo se deben tomar algu-
 nas precauciones y observar algunas condiciones. Es necesario tam-
 bién que se emplee una correcta técnica de medición cuando se efec-
 tuen mediciones de alta precisión. Algunos fabricantes indican que
 incluyen un "factor de seguridad" no mencionado en sus especificacio-
 nes y así tienden a mostrar que sus instrumentos son mejores que
 lo que dicen. Esta condición puede proveer a su departamento de ven-
 tas con un grado de flexibilidad o puede sustituir su incapacidad de

de medir exactamente los diversos factores que son incluidos en la especificación. Sin embargo, desde el punto de vista del usuario, esto no es necesariamente una práctica conveniente. A menudo los usuarios necesitan saber la verdadera exactitud de un instrumento, sin estar forzados a obtenerla por garantía.

Durante muchos años, fabricantes de instrumentos de alta precisión han valuado sus potenciómetros conservativamente. Recientemente, en la moderna "carrera por flap precisión", algunas de las especificaciones de exactitud parecen ser alarmantes para los "anticuados". Esta condición puede indicar que algunos de los conservatismos en la escritura de especificaciones, ha sido abandonada o tal vez que el "factor de seguridad" se ha desvanecido. Un fabricante de instrumentos de Inglaterra hace certificar cada uno de sus potenciómetros de alto grado por el National Physical Laboratory (el equivalente inglés del NBS americano) antes de venderlos.

Probablemente no es necesario substanciar más la necesidad de una terminología standard y un uniforme sistema de especificaciones.

Aplicaciones especiales

Entre las cosas que deben ser consideradas al adquirir un potenciómetro de alta precisión (también cuando se escriben sus especificaciones) son las poco frecuentes o poco usuales aplicaciones que se pueda necesitar del mismo. Por ejemplo, un potenciómetro bien diseñado cuya exactitud sea realmente de 0,001% puede ser utilizado para comparar dos resistencias o dos celdas standard en una parte por millón (1 ppm). Sin embargo, las bobinas a resistencia de los diales bajos (los diales de fuerza electromotriz baja) deben por lo tanto, ser ajustados con una exactitud casi tan alta como la de los diales altos. En la práctica, esto no siempre se ha hecho. Este método de resistencias para mediciones muy precisas es probablemente más útil cuando tienen que ser medidas o comparadas resistencias de valores desiguales, o cuando no hay un standard.

Otra aplicación bastante frecuente, es cuando tiene que medirse un potencial muy bajo. Probablemente, solamente los dos diales bajos en un potenciómetro cuatro diales, o los tres diales de abajo en un instrumento de seis, sean utilizados.

Bajo estas condiciones es necesario que las resistencias en los diales de atrás sean ajustados cuidadosamente si se desea una alta exactitud y es también muy importante que se mantengan bajos la fuerza electromotriz térmica y otros errores residuales.

Por supuesto, un potenciómetro especial de bajo rango y baja temperatura puede ser utilizado con estos propósitos. Sin embargo, no todos los laboratorios pueden costear este instrumento extra. Tanto un potenciómetro de seis diales multi rango como uno de cuatro diales y siete lugares pueden servir si están contruídos y diseñados convenientemente.

Principales especificaciones

Tres especificaciones para los potenciómetros de precisión pueden considerarse de mayor importancia: 1) Rango; 2) Resolución (a veces llamada discriminación) y 3) Exactitud o Límite de Error. Cuando se utiliza un potenciómetro, la exactitud de la medición puede ser descripta mejor estableciendo el límite de error.

El Rango (o rangos, si hay más de uno) puede ser especificado en volts milivolts o microvolts..

La Resolución (para cada rango, si hay más que uno) puede ser especificada ya sea en partes por millón (ppm) o en microvolts, sin embargo, debería adoptarse una especificación uniforme.

La resolución puede definirse como la variación más pequeña que puede indicarse y se determina por el número de incrementos precisos a los cuales pueden fijarse los diales de un potenciómetro. La precisión de las mediciones es una función de resolución y la sensibilidad del aparato indicador de cero. La precisión es la característica que expresa la diferencia entre las sucesivas mediciones de pequeños cambios de potencial hechas a potencial "constante". Es siempre, en cifras, mayor que la Resolución y menor que el Límite de Error.

El Límite de Error puede ser definido como el máximo que puede obtenerse en una medición cuando se utilizan una o más divi-

siones del dial alto. Esta condición se aplicará a cada rango, si es que hay más de uno. La especificación de Límite de Error deberá incluir:

la exactitud de la división de potencial

la exactitud del circuito standarizador

la exactitud del sistema divisorio, si es que hay uno

la exactitud de ajuste de las resistencias

y cada exactitud o contribución de error debe ser establecida separadamente. Algunos factores que contribuyen a este error son los items a, b, c, d, e, f, g, h. Cada factor debe ser especificado y su contribución al Límite de Error establecido como una proporción o una cantidad definida.

Para una condición a cualquier rango en el cual el dial superior (o deales) no se utilizan cuando se efectúa una medición, puede aplicarse un diferente Límite de Error y las especificaciones deben proveer estas condiciones. El Límite de Error para cada rango o condición puede ser expresado como el por ciento de la lectura más una unidad fijada, que debe incluir los siguientes factores:

- a) Estabilidad: la magnitud de cambio con el tiempo (de la resistencia, de la aislación, etc.)
- b) Linealidad
- c) Fuerzas electromotrices térmicas: sus magnitudes; más allá de qué rango de temperatura; más allá de qué grado de cambio de temperatura, etc.
- d) errores residuales; error de cero, si hay alguno, ruido eléctrico; fuga, si no está bien protegido, etc.
- e) resistencia de contacto del interruptor - por paso, por interruptor, total
- f) coeficiente de temperatura
- g) reproductibilidad - confirmación de datos, variación de resistencia de la llave de contacto, etc.
- h) otros errores, si hay alguno

Una especificación de exactitud o límite de error debe ser explícita y debe incluir no solamente un por ciento sino también una explicación de lo que ese por ciento significa. Entre los variados términos que se han utilizado el "por ciento de lectura" es probablemente el más exacto.

La "unidad fija" es el error mínimo constante y se especifica en microvolts. Es determinado por la cantidad de error inevitable que aún el más cuidadoso diseño no puede eliminar. Las especificaciones deben describir el error en la composición. La contribución de error de la unidad fija ha sido reducido a más o menos debajo de 0.01% en ciertos potenciómetros. Para otros tipos de diseño será muy difícil alcanzar esta cantidad.

Información necesaria

Otras especificaciones o informaciones que pueden ser útiles o necesarias deben incluir:

La resistencia interna que el potenciómetro presenta a la fuente electromotriz desconocida.

Voltaje, capacidad de vataje (potencia en vatios) e información corriente del potenciómetro.

El rango y resolución del ajuste de la celda standard, ya sea manual o automático.

Posible provisión para celdas standard, internas, externas o múltiples; ya sea saturada o no saturada.

Provisión y/o técnica para un preciso ajuste de la corriente del potenciómetro.

Información sobre protección electrostática, si es que hay.

Información sobre control de temperatura, protección térmica u otra aislación de los efectos del medio ambiente.

Información sobre cualquier método o facilidades para revisión o calibración propia.

Indicador de cero y otros accesorios que se requieran.

Información que tenderá a predecir el comportamiento del instrumento por un período de tiempo. Por ejemplo, la precaución que se han tomado para asegurar la constancia de la resistencia, de la relación, de exactitud, etc.; el control o eliminación de aquellas variables como ser resistencia del interruptor, fuerza electromotriz de contacto o térmicos, gradientes de temperatura y otros efectos que puedan aparecer o puedan ser inconvenientes con el tiempo.

A menos que el potenciómetro tenga protección y control de temperatura hay otra consideración que es necesario tomar en cuenta para una máxima precisión de medición. Es una especificación para que el ambiente (temperatura y humedad) en el cual va a ser utilizado el potenciómetro o donde se aplica la exactitud establecida.

Respuestas necesarias

También hay otras respuestas que necesitan ser contestadas, son las siguientes:

Puede obtenerse un cero absoluto o verdadero?

Es posible verificar un verdadero cero?

Hay medios de separar y verificar definitivamente las fuerzas electromotrices térmicas incluidas?

Puede verificarse o eliminarse los efectos de fuerzas electromotrices espurios en el circuito del galvanómetro?

Para obtener la exactitud especificada al efectuar mediciones, se puede leer directamente el potenciómetro o debe consultarse una carta de calibración y aplicarse las correcciones?

Se puede conseguir un libro de instrucciones adecuados? Y éste, especifica claramente y completamente las condiciones necesarias para obtener la exactitud calculada?

El libro de instrucciones incluye información acerca de importantes fuentes externas de error como son las condiciones ambientales, habilidad del operador, características del detector de cero, señales de error o ruidos, transferencia de standards nacionales, etc?

Establece mediciones de corrección?

Han sido cada una de las variadas especificaciones publicadas obtenidas de mediciones reales o lo han sido a partir de cálculos?

Por cuánto tiempo se garantiza la exactitud del instrumento?

Puede un potencial fluctuante ser fácilmente seguido, o puede ser medido un potencial variable que fluctúa alrededor de cero? Algunos circuitos de potenciómetros permiten este tipo de uso. Con otros tipos de diseño es dificultoso o imposible.

Qué método de standarización se provee?

Se standariza el potenciómetro directamente en el circuito de medición o en un circuito auxiliar? Por qué?

Pueden utilizarse tanto las celdas saturadas y no saturadas?

Una ventaja considerable sería la inclusión de facilidades para utilizar el método preciso para standarizar por medición directa, tal como es utilizado en los National Standards Laboratories y Bureaus. Esta ventaja podría obtenerse con un dial de celda standard calibrado y sus correspondientes posibilidades de error. Sin embargo, este tipo de standarización requiere una excelente y continua resolución para ajustar la resistencia en el circuito de la celda standard.

Definiciones y conceptos

Para describir adecuadamente o discutir un instrumento preciso un lenguaje y terminología precisa son un requisito necesario pero no siempre utilizado. Muchas palabras y frases son utilizadas indefinidamente y no hay definiciones satisfactorias. Por ejemplo, las frases "térmico parásito", "térmicos totales" y "térmico residual" son utilizadas sin definición pero posiblemente se intenta describir con ellas idénticas condiciones. También, sin ser definidas, se utilizan en la literatura las frases "exactitud calibrada", "exactitud utilizable", "exactitud garantizada". Qué relación tienen entre ellos? Otros ejemplos son numerosos. Contrariamente a lo que se cree, los térmicos "calibración propia" y "verificación propia", no son sinónimos. Tal como se utilizan en el presente, se aplican a técnicas completamente diferentes y también a diversas variaciones de técnica.

MEDICIONES DE MICROVOLTS DE CORRIENTE CONTINUA

Las mediciones de voltajes de corriente continua (C.C.) por encima de los 10 mv no ofrecen, en general, mayores problemas dado la amplia variedad de instrumentos que existen en el presente. Sin embargo, debajo de este nivel, especialmente en las regiones de los microvolt y sub-microvolt, fenómenos como ruido de resistencia térmica, voltajes de campo electrostático, voltajes termoeléctricos y otros, pueden tener significativos efectos en la señal. A efectos de amplificar voltajes en las regiones de microvolt y sub-microvolt, el amplificador debe ser diseñado de manera tal que tenga poco ruido y desviación. En este amplificador el modulador convierte una señal de "error" CC en una CA eliminando así los efectos de la desviación CC en las primeras etapas del amplificador (en un amplificador CC, esta desviación es típicamente microvolts y puede ser millivolts). Mientras muchas técnicas de modulación trabajan en la región microvolt, incluyendo capacitores vibratorios, moduladores magnéticos, moduladores diódicos, moduladores fotoconductivos y moduladores mecánicos, un buen modulador de contacto mecánico tiene el ruido más bajo permitiendo la más alta sensibilidad. Por ejemplo, el Modelo Keithley 149, utilizando un modulador interruptor mecánico tiene un ruido específico de $0.003 \mu V$ pico a pico.

Ruido y sensibilidad

Una consideración importante a ser tomada en cuenta al efectuarse mediciones de microvolt es la sensibilidad fundamental requerida. La sensibilidad fundamental de cualquier sistema es limitado tanto por el ruido que se desarrolla en la fuente de voltaje como por el ruido añadido por el amplificador.

El ruido térmico desarrollado en cualquier resistencia ideal puede ser determinado por la ecuación de ruido de Johnson.

$$E^2 = 4kTRF$$

donde:

E es el ruido de voltaje desarrollado a través de una resistencia.

T es la temperatura (en escala Kelvin).

R es el valor de la resistencia.

F es el ancho de banda del amplificador en ciclos por segundo.

k es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} joules/ $^{\circ}$ K).

Aplicando esta ecuación a un sistema de medición, utilizando temperatura ambiente T de 300° K, F = 1 cps, y R = a la suma de la resistencia R_s de la fuente de voltaje (el equivalente Thenevin de la resistencia del generador) y del ruido de la resistencia (R_e), obtenemos:

$$E = 1.29 \times 10^{-10} \sqrt{R_s + R_e} \text{ RMS volts}$$

Para determinar el voltaje de ruido pico a pico, la aproximación que el valor pico a pico de ruido fortuitos es cinco veces su valor RMS, puede ser empleado:

$$E_{p-p} = 6.45 \times 10^{-10} \sqrt{R_s + R_e}$$

Si el voltaje de ruido del amplificador, más aún que el equivalente resistencia del ruido, es especificado, el ruido de la fuente y del amplificador puede ser añadido utilizando la ecuación:

$$E^2 = E_s^2 + E_a^2$$

/

donde E_s es el voltaje de ruido desarrollado en la fuente (como ha sido descubierto de mediciones o de ecuación 1 utilizando el ancho de banda del amplificador) y E_a es el voltaje de ruido del voltaje RMS del amplificador.

El voltaje RMS puede ser también convertido en un valor pico a pico utilizando el valor aproximado de cinco.

El ruido de la fuente y el amplificador determina la sensibilidad fundamental del sistema de medición. Por ejemplo, considerando un sistema con una resistencia de la fuente de 100K, y un amplificador con 100 ohms de resistencia de ruido equivalente y ancho de banda de 1 cps. De la ecuación 3 el ruido térmico desarrollado por este sistema es 0.21 microvolt pico a pico. Esto oscurecería completamente una señal de 0.1 microvolt. Sustituyendo $R_s =$ cero en la ecuación 3, el ruido añadido por el amplificador, encontramos que es solamente 0.0065 microvolt pico a pico. Este valor es independiente de la resistencia de la fuente e indica las sensibilidades mucho mayores que se pueden conseguir cuando se utilizan muy bajas resistencias de fuente y amplificadores de poco ruido.

Se ha encontrado que el ruido debido a la resistencia de la fuente es demasiado alto para la sensibilidad deseada (como en el ejemplo anterior, si una sensibilidad de 0.1 microvolt fuese requerida), hay 3 posibilidades para reducir el ruido térmico:

1. Reducir la resistencia de la fuente: Esta puede ser la mejor solución pero no es siempre fácil o siquiera posible.
2. Angostar el ancho de banda del amplificador: Por supuesto, esto sacrificará velocidad de respuesta, y la desviación por la fuerza electromotriz térmica puede tener más efecto en las lecturas debido a constantes de mayor tiempo.
3. Enfriar la fuente criogenicamente: Esto puede ser caro e inconveniente, pero puede ser también la mejor solución si la resistencia de la fuente o ancho de banda no puede ser disminuída.

La ecuación 1 indica que estas alternativas disminuirán el ruido térmico en proporción a la raíz cuadrada de la resistencia, ancho de banda o relación de temperatura.

Señales AC exteriores

El amplificador por portadora alternada es, de alguna manera, insensible a los voltajes AC superimpuestos sobre una señal CC en las terminales de entrada. Esto es debido al amplificador de banda angosta AC y demodulación sincrónica. Sin embargo, los voltajes AC que son altos comparados con la señal, conducirán al amplificador AC a la saturación, produciendo erróneamente una energía CC en el demodulador. Por lo tanto es aconsejable utilizar una protección alrededor del circuito de entrada de energía, particularmente cuando se hacen mediciones de bajo nivel, o mediciones en el campo AC fuerte. El blindaje es preferible al filtrado porque los filtros a capacidad aumentan el ruido térmico, y los filtros inductivos pueden crear inestabilidades de acoplamiento dentro del microvoltímetro.

Al blindar el circuito de energía, debe recordarse que el microvoltímetro es particularmente sensible a corriente Alternada de la misma frecuencia que la portadora. Tanto el circuito como el microvoltímetro deben ser mantenidos lejos de toda fuente de esta frecuencia. Los lazos en el circuito deben ser minimizadas porque voltajes proporcionales al área incluida en ellos serán producidos debido a campos magnéticos. A sensibilidades por debajo de $1 \mu V$ de la escala completa, blindaje magnético, en adición al electrostático, puede ser necesario.

Corrimiento en C.C.

Al diseñar la instalación y el circuito para un sistema de medición de microvolt, debe recordarse que juntar dos metales disímiles formará una termocupla y desarrollará voltaje si hay diferencia de temperatura entre dos o más juntas en el circuito de entrada de energía. Este efecto puede ser fácilmente observado soplando una junta del circuito y observando las indicaciones del microvoltímetro.

Para minimizar la desviación, aquellos metales que tengan igual o similares poderes termoelectrónicos deben ser utilizados en

el circuito de entrada de energía. Soldaduras de bajo valor térmico (cadmio - estaño) son recomendadas para utilizar en las juntas en razón de su bajo poder termoelectrónico, comparado con el cobre. El oro y la plata tienen un poder termoelectrónico de $\pm 0,25 \mu V/^{\circ}C$ del cobre. Esto significa que un desequilibrio de temperatura de $1^{\circ}C$ en un circuito construido con estos metales generaría una fuerza electromotriz térmica de alrededor de $0,25 \mu V$. En el otro extremo, el germanio tiene un poder termoelectrónico (comparado con el cobre) de alrededor de $320 \mu V/^{\circ}C$, y el silicio desarrollará alrededor de $420 \mu V/^{\circ}C$ contra el cobre. Tablas del poder termoelectrónico de los materiales pueden ser halladas en cualquier manual de física. Si la temperatura ambiente de diversas partes del circuito de entrada fluctúa severamente, o si se utiliza una combinación de materiales que produce alta fuerza electromotriz térmica, será necesario un control de la temperatura.

Muchos microvoltímetros están equipados con circuitos supresores del cero. Estos circuitos permiten al usuario cancelar cualquier fuerza electromotriz térmica que sea constante.

Punto de conexión

Cuando se efectúan mediciones de voltaje de un circuito en la región del microvolt, es importante tener en cuenta el hecho de que el punto físico de conexión puede tener un efecto significativo sobre el voltaje que está siendo medido. Por ejemplo, consideremos un conductor de 15 cm de largo AWG No. 20. Este alambre tiene una resistencia de alrededor de 5 milliohms, si es que se utiliza cobre. Si la señal a ser medida es de $0,5 \mu V$ respecto al conductor y el conductor lleva corriente CC de 10 ma., un error de 50 microvolt (100 veces la señal) puede ser introducida conectando el microvoltímetro al extremo equivocado del conductor. Conexiones con cuatro terminales son, a menudo, útiles para evitar estas dificultades.

Hoy en día se pueden conseguir en el mercado microvoltímetros muy sensibles que agregarán muy poco ruido y desviación a una señal CC infinitesimalmente pequeña, pero al construir o usar estos microvoltímetros deben ser considerados los siguientes principios básicos que permitirán conocer completamente sus potencialidades:

1. Resistencia baja de la fuente a medir.

2. Reducción de señales AC superimpuestas por medio de un adecuado blindaje.
3. El uso de materiales que generan baja fuerza electromotriz térmica.
4. El punto de conexión apropiado dentro del circuito.

COMO MEDIR EL VACIO

La tecnología del alto vacío ha sido a menudo definida como el arte de manipular y contar moléculas, porque la presión es directamente proporcional al número de moléculas en un volumen dado. \

Cuando queremos medir una presión en una cámara de altitud correspondiente a una altitud desde la Tierra de 500.000 pies (1.5×10^{-6} mm Hg), estamos significando medir un volumen conteniendo 1.2×10^{15} moléculas por 22,4 litros ($22,400 \text{ cm}^3$) o 9.6 pies³. Sin embargo, la medición no imitará exactamente las condiciones a 500.000' porque las temperaturas son diferentes.

La variación de presión con altitudes hasta 1.800.000 pies se expresa en fig. 2 (datos tomados de una tabla determinada por el Cambridge Air Research Development Center en 1956 en su Estudio de modelo atmosférico ARDC). Superpuesto contra la presión en fig. 2 hay rangos de operación de diversos tipos de medidores de vacío.

Los medidores McLeod y de diafragma son generalmente clasificados, conjuntamente con el medidor Bourdon, como medidores de presión hidrostática, Medidores de conductividad térmicos son los medidores Pirani y termocuplas. Los medidores de ionización (donde la lectura del vacío depende la medición de la corriente de iones producida en un gas rarificado) incluyen los medidores de ionización y descarga.

Medidor McLeod

El medidor McLeod es un manómetro de mercurio, el cual es bastante exacto en el rango de 10 mm a 1×10^{-6} como para ser

considerado como un standard primario de laboratorio para controlar la calibración de otros tipos de instrumentos de medición de vacío. En los medidores típicos un volumen conocido (V_1) de gas rarificado a presión P_1 es comprimido dentro de un volumen conocido (V_2) a una presión P_2 , lo cual es una cantidad suficiente como para ser medida hidrostáticamente.

Utilizando la ley de Boyle: $P_1V_1 = P_2V_2$, a una temperatura constante, es entonces posible calcular P_1 , la presión en el sistema de vacío. El medidor standard está provisto de una escala que indica directamente P_1 .

Medidor Pirani

El medidor Pirani depende para su operación del hecho de que la conductividad térmica de un gas a baja presión decrece linealmente con la presión.

La sensibilidad de los actuales medidos Pirani limita su operación a baja presión a 1 micron (1×10^{-3} mm Hg). Calibrando el tubo Pirani a presiones específicas de 2000 micrones y 2 micrones puede resultar en una exactitud de lecturas a las presiones de calibración que depende solamente del movimiento del instrumento ($\pm 2\%$ de la escala total) y del particular espaciado de la escala. Sin embargo, las presiones leídas durante la operación podrán resultar de una exactitud que puede variar en $\pm 10\%$.

Medidor termocupla

El elemento medidor termocupla consiste de una cinta o alambre que es calentado por una corriente continua o alternada. Una termocupla hecha de Cupron y Chromel es conectada al punto medio del calentador por soldadura de punto. La conexión es encapsulada en vidrio para asegurar la conductividad térmica. Las conexiones de la termocupla y el calentador se insertan dentro de la base de un tubo de vacío octal standard. La parte superior del tubo es dejada abierta para ser conectada dentro del sistema de vacío a través

de una conexión standard 1/8.

En operación, una corriente constante del orden de 15-20 miliamperes es pasada a través de alambre calentador, y la fuerza electromotriz térmica desarrollada a lo largo de los alambres de la termocupla es del orden de los 10-20 milivolts. Algunas válvulas de termocuplas requieren una corriente de hasta 250 ma. No todos los abastecedores de corriente de los medidores de termocupla tienen una capacidad de corriente de 250 ma y, por lo tanto los tubos de termocuplas de diferentes fabricaciones pueden no ser intercambiables.

La temperatura alcanzada por la termocupla depende de la conductividad del gas que rodea la conexión cuando conduce el calor a la cobertura del tubo. Cuanto más baja sea la presión a medir, tanto más alto es el potencial generado. La lectura en la escala es hecha en unidades presión. El rango más común de 1 mm a 1 micron Hg (300.000 pies) en escala logarítmica.

Medidor de ionización

El medidor de ionización, llamado a menudo medidor de filamento caliente, consta de un tubo sensible que contiene un filamento, rejilla y colector de iones. Su principio de operación depende de la energía cinética adquirida por el electrón al ser atraído hacia la rejilla y al pasar a través de ella. Como los electrones chocan con las moléculas de gas del sistema de vacío, producen iones positivos. Los iones positivos son luego atraídos a la chapa colectora cargada negativamente donde forman una corriente de iones.

En un voltaje de aceleración constante (en presencia de exceso de voltaje de ionización del gas que está siendo medido) y a una emisión de corriente constante, el número de iones positivos formado es proporcional a la presión, si ésta está por debajo de 1×10^{-3} mm Hg. La relación lineal de la corriente de iones y la presión es limitada por sobre 1×10^{-3} mm Hg porque el insignificante camino libre es tan corto que una molécula ionizada puede recuperar un electrón libre para transformarse nuevamente en molécula en este caso no irfa hacia el colector. Las lecturas (en presión) son indicadas en un microamperímetro.

Medidores Philips o de descarga

Los medidores Philips o de descarga han sido a menudo llamados medidores de cátodo frío porque el principio implicado utiliza la medición de una corriente de iones producido por una descarga de alto voltaje. El principio de este medidor fue primeramente enunciado por F. M. Penning en 1937. Fue fabricada primeramente por Philips.

Los electrones que emanan del cátodo frío son obligados a moverse en espiral hacia el ánodo a través de un campo magnético. La acción espiral incrementa en gran medida el camino de pasaje y así la oportunidad de chocar con moléculas de gas presentes desde la cámara de vacío. Esto, en cambio, proporciona una gran sensibilidad al medidor de descarga en comparación en el medidor de ionización de filamento caliente.

Medidor de radiación

El medidor de radiación es un tipo de medidor de cátodo frío; que opera con la ionización producida por partículas alfa. Un potencial continuo de 30-40 voltios se aplica entre la rejilla y la chapa colectora, y una pequeña corriente de ionización producida por las partículas alfa de una fuente de radio es muy amplificada para posibilitar su lectura en un microamperímetro standard. Para aire a 100 micrones (0.1 mm) la corriente de ionización es de aproximadamente 2×10^{-11} amp, y varía linealmente con la presión de hasta 25 mm Hg. La geometría del tubo es el factor primordial que le permite operar como un tubo iónico por sobre 1×10^{-3} mm, el rango habitual de presión para un tubo iónico.

Medición por sistema de vacío

Supongamos que tenemos que operar una cámara a una altitud de 500,000' (1×10^{-6} mm). Si tenemos que probar a una altitud y a una temperatura de ambientación, será necesario recalibrar los medidores para temperatura. Procedimientos:

1. Abrir la válvula de alto vacío y limpiar la cámara con una bomba mecánica. Utilizar el medidor Pirani para registrar la presión. Limpiar a través de una bomba de difusión en frío.
2. Después que 1×10^{-1} mm Hg ha sido alcanzado, ponga en marcha la bomba de difusión. Mida la presión en el medidor Pirani y, cuando alcance 1×10^{-3} mm, ponga en marcha el medidor de ionización.
3. Bombear en la cámara y leer la presión en el medidor de ionización.- Las siguientes precauciones deberán ser tomadas al utilizar medidores de ionización y Pirani para medir la altitud (presión) en las cámaras de ambientación:
 - a. Los medidores de vacío son calibrados para aire a temperatura ambiente. Para poder operarlos con otro gas que no sea aire o a otra temperatura que no sea la ambiente, se requiere una nueva calibración.
 - b. El tubo del medidor de vacío nunca debe ser colocado directamente sobre la boca de una bomba de difusión o que esté en contacto con una superficie fría.
 - c. El tubo medidor debe ser recalibrado después de ser expuesto a los vapores de hidrocarburos.
 - d. Mantener la tubulación del medidor tan corta como sea posible y de un diámetro no menor del de la conexión de vacío del tubo del medidor.
 - e. Utilizar dos medidores, colocados lado a lado en la cámara de altitud para obtener un promedio.
 - f. Si el sistema requiere un horneado para obtener baja presión, asegurarse de que el tubo puede ser horneado.

Conclusiones

No se puede esperar las mismas exactitudes de medición con medidores de vacío como es actualmente posible en el campo de la electrónica. Las cantidades medidas son extremadamente pequeñas -en el orden de los microamperes de corriente. El estado actual se desarrollará a medida que las necesidades de mediciones más precisas de presión baja, pero esto llevará tiempo y esfuerzo. Solamente 20 años atrás los primeros medidores de vacío comerciales eran contruidos por la Distillation Products Industries (una subsidiaria de Eastman Kodak Co.). Desde entonces, en el area de alto vacío

se ha incrementado con aproximadamente 22 medidores más. Muchos fabricantes de medidores están incorporando ahora llaves sensibles a la presión en los circuitos de medidores básicos. Estas llaves a presión permitirán a los medidores ser el vínculo automático para controlar circuitos adicionales externos en una cámara de altitud.

FOTOCÉLULAS DE SELENIO

RESISTENCIA INTERNA

Dado que la resistencia interna de la célula cortocircuita la carga externa tanto como la celda misma, requiere ser considerada para resistencias externas por sobre los 1000 ohms. Por añadidura, la variación inversa de la resistencia interna con la iluminación puede ser utilizada para amplificar la salida de la célula según se muestra en la figura 11, donde la célula excita un relay magnético. La curva mostrada (Fig. 12) indica la variación de la resistencia interna con la intensidad de iluminación para diversos tamaños de células. Cuando se mide con una batería de 2 volts, la resistencia en oscuridad aproximada de 1 pulgada cuadrada de área de célula activa es de 15.000 ohms.

SENSIBILIDAD ESPECTRAL

La curva de sensibilidad espectral de las células fotoeléctricas "International R.C.", como se muestra (Fig. 13), corresponde casi a la del ojo humano. La mayor sensibilidad tiene lugar en la región amarillo-verdosa a 550 milimicrones, mientras que la respuesta espectral cae hacia ambos extremos: más rápidamente hacia el infrarrojo que hacia el ultravioleta.

Relativamente alta sensibilidad se exhibe en la región ultravioleta debajo de los 400 milimicrones, haciendo así a las células fotoeléctricas "International R.C." convenientes para mediciones que requieran una fuente ultravioleta. Existen filtros especiales para corregir la respuesta espectral de la célula fotoeléctrica "International R.C." a la curva de respuesta del observador Standard.

MONTAJE

Las células fotoeléctricas "International R.C." vienen con envoltura plástica con pilares de sujeción en la parte trasera de

la caja. El aparato puede ser cubierto con una capa protectora resistente a la humedad y a la sales. Las células A10 y B10 se consiguen en montaje standard y se pueden hacer montajes especiales para todos los tamaños standard de células.

Hay células herméticamente selladas para aplicaciones especiales. Las facilidades de fabricación de "Int. R.C." están diseñadas para permitir la producción de una amplia variedad de células que requieran montajes especiales.

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Vida

Si se aplica y monta adecuadamente y se protege contra condiciones adversas como ser el calor, humedad, vapores corrosivos, excesivo voltaje, etc., las células fotoeléctricas "Int. RC", durarán indefinidamente. Las únicas causas de mal desempeño fueron por deficiencias de montaje o presiones de contacto demasiado grandes, lo que acortaba la vida de las células.

Envejecimiento y fatiga

Dado que no hay acción química involucrada ni consecuente tendencia a la descarga, las células fotoeléctricas "Int. R.C." -cuando se utilizan debidamente- no muestran indicios de envejecimiento. La continua exposición a 200 bujías pie por un período de más de 60 días realmente incrementa la sensibilidad de la corriente de 12 ensayos del 5 al 15%. No hay evidencia de fatiga irreversible incluso a intensidades de iluminación del orden de los 1.000 bujías pie.

Velocidad de respuesta

La respuesta de las células fotoeléctricas "Int. R.C." puede ser considerada instantánea dado que generalmente es más rápida que la de los relays y medidores.

Temperatura máxima

A efectos de prevenir cualquier cambio permanente en la sensibilidad las células fotoeléctricas no deben ser operadas por sobre los 70°C (158°F) excepto por períodos muy pequeños.

Frecuencia de respuesta

Debido al efecto capacitativo de la célula fotoeléctrica a altas frecuencias, su salida disminuye a medida que aumenta la frecuencia de una fuente de luz intermitente.

No se han observado dificultades en fluctuaciones de luz de 10.000 ciclos por segundo y aún más bajo. Para disminuir el efecto capacitativo deben ser utilizadas células más pequeñas a frecuencias más altas.

MEDIDORES DE PRESION EN ESPIRAL Y HELICOIDALES

Todos los instrumentos indicadores convierten un efecto físico en lectura de escala colocando una aguja, una pluma o un índice sobre una escala que generalmente mide 2" a 12". Un instrumento de lectura directa que tenga una salida de movimiento directo, sin etapas de amplificación intermedia ni conversiones auxiliares, ofrece una importante ventaja: al disminuir su complejidad aumenta su confiabilidad.

Hasta hace poco, el típico medidor de presión utilizaba engranajes de multiplicación y palancas para aumentar el movimiento del resorte o el diafragma de los elementos de medición, según se muestra en Fig. 14. Sin embargo, durante los últimos años, un exhaustivo programa de análisis de medidores de espiral de tubo oval y helicoidal, ha indicado una nueva aproximación hacia un balance óptimo entre estabilidad mecánica y cupa y movimiento de salida.

Historia de los diseños de medidores tradicionales

Los medidores de resorte C y de diafragma fueron desarrollados con su forma actual durante la década siguiente a su invención en 1850. Tres años antes Vidie probó que los metales en láminas finas

no eran, como se creía, porosos y esponjosos. Demostró que un diafragma de metal sellado con paredes finas y flexibles mantenía un vacío perfecto y servía como un práctico barómetro aneroide.

Medidores de presión de diafragma y tubo oval de diferentes orígenes aparecieron luego rápidamente. Aparentemente, fué Schinz el primero que introdujo los medidores ovals chatos. Lo siguió Bourdon, un asociado de Vidie quien, conjuntamente con Richard estableció una gran planta de fabricación de medidores de tubo oval. André, Cuny y Schaeffer fabricaron las primeras variantes del medidor de diafragma y luego se fusionaron con Schintz para formar los establecimientos Schaeffer-Budenburg quienes, a través de los años llegaron a ser los principales fabricantes en diversos países.

En los primitivos medidores, el pequeño movimiento de salida del tubo oval y de diafragma tenía que ser aumentado con movimiento de engranaje. Alrededor de 1860 los diseños tradicionales fueron completamente desarrollados y todos los productores de medidores comenzaron a utilizar un diseño standard.

Aunque el equipo mecánico y disposición de las partes de medidores de presión de resorte C y de diafragma, no han cambiado materialmente en casi una centuria, se introdujeron numerosos refinamientos y extensión de los diseños clásicos. El movimiento a engranaje se mejoró de manera tal que continuase suavemente el desplazamiento. La desviación y el creep de los resortes a presión fueron reducidos a límites prácticos por: 1) atinada selección de materiales y 2) cuidadoso diseño del diafragma, resorte C y accesorios (válvulas de interrupción, amortiguador de pulsación y montaje aislante para reducir el shock y daño por temperatura).

Actualmente los rangos de presión han sido extendidos hasta bajo 30 psi y por sobre 100.000 psi para la unidad de diafragma. Nuevos materiales han incrementado la resistencia a la temperatura y la corrosión. El creep y la hysteresis han sido reducidos hasta el punto en que los medidores de presión han sido aceptados como standards de presión de laboratorio.

Resortes C de tubos ovals varían entre casi chato o casi redondo, en anchos de $\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ ", espesor de la pared de 0,005" a 0.200" y radio de la espira desde bajo 1" a 3". Cupla de salida para rangos de escala completa desde 0.0002 hasta 0.003-lb/in. Mo-

vimiento de salida para rangos de resortes C entre 2° y 10° que, para un dial de 270° dá una relación de movimiento de aguja de 27:1 hasta 90:1. De esta relación el trabajo de engranaje es generalmente entre 8:1 y 20:1 a la palanca de manivela desde 2:1 hasta 5:1. Los límites de sobrepresión son generalmente el 150% de la escala completa para rangos de 60 a 1000 psi, y del 100% del rango del dial hasta 10.000 psi.

Todos los rangos por encima de 60 psi normalmente soportan vibraciones de 2 g y shocks de 6 g sin daño. Se pueden conseguir rangos de dial de hasta 5 psi, pero la estabilidad mecánica es pobre.

El diafragma es en general similar al medidor de resorte C, Sin embargo, en razón del movimiento de salida más pequeño, una palanca adicional debe ser utilizada para el mismo movimiento del indicador, un factor que tiende a complicar el diseño. El movimiento de salida es limitado y dos veces menor que el del resorte C, una característica que se refleja en una cupla menor de la aguja del indicador.

Medidores en espiral y helicoidales

Se han hecho muchos intentos para utilizar medidores de presión en espiral o helicoidales de acción directa dada su estabilidad, simplicidad y más alta cupla de la aguja indicadora. El medidor original de Schinz era una bobina helicoidal de 7 vueltas, pero su movimiento de salida era limitado y se requería un engranaje para aumentar el movimiento.

Más tarde, W. H. y E. E. Bristol emplearon bobinas en espiral y helicoidales multi-vueltas como medios de acción directa para obtener más alta cupla de salida para los registradores de presión, con movimientos de salida de 20° a 40° .

Fitts, Stalker, Bayer y otros han hecho medidores de escala excentrica con un arco de la aguja indicadora de 60° en un pequeño rango de presiones para medidores de trabajo pesado que deberán soportar vibración y maltrato; una bobina en espiral con un arco de 270° para propósitos especiales ha sido utilizada para un tipo de termómetro de resorte a presión.

Un programa de 8 años para mejorar el diseño potencial de

los medidores de presión espirales y helicoidales ha resultado en un nuevo medidor helicoidal o espiral con 25 o más vueltas y de largo suficiente como para dar un movimiento del indicador de 270° . Las bobinas son lo suficientemente compactas como para ser utilizadas en los medidores más pequeños y al mismo tiempo la suficiente resistencia como para ser utilizadas en los medidores más grandes.

Características

Las principales características de estos medidores espirales y helicoidales de acción directa, comparados con los de resortes C y de diafragma, son:

1. Acción del indicador directa, generalmente arco de dial de 270° : 1:1 acción directa (comparado con 25:1 a 100:1 en medidores con engranajes).
2. Alta cupla del indicador: 0.100 lb-in/ 270° (comparado a las 0.003 lb-in de máximo para los grandes medidores con engranaje).
3. Estabilidad mecánica: debe soportar vibraciones de 10-g, shock de un mínimo de 1.000-g sin protección especial (comparado a la vibración de 2-g, shock de 6-g para los medidores de engranaje).
4. Los límites de sobrepresión y de resistencia pueden incrementar-se significativamente comparado con el medidor a engranaje.
5. Tamaño y eficiencia: las bobinas a espiral son de un máximo de $1\frac{1}{2}$ " de diámetro por $\frac{1}{4}$ " de profundidad; las helicoidales son de un máximo de $\frac{1}{2}$ " de diámetro por 3" de largo -lo suficientemente pequeñas como para ser usadas en los medidores más pequeños (donde el medidor de resorte C utiliza juegos de tubos diferentes para cada tamaño).

Análisis mecánico

Poco después del advenimiento de los medidores de resortes C se hicieron esfuerzos para analizar la acción de los medidores de presión de tubo oval, atrayendo la atención de destacados estudiosos de mecánica analítica del siglo 19, incluyendo Resal, Rayleigh,

Worthington y Greenhill. Los resultados fueron solamente nominales pero clarificaron la complejidad del problema y delinearon la fuente de acción del tubo oval curvo bajo presión interna.

En 1910 von Karman comenzó a estudiar la acción del tubo oval curvo desde un nuevo ángulo, confirmado desde entonces por Teuda y añadido más recientemente por Wolf, Wuest, Clark-Gilroy-Reissner y Nakahara-Abe. Esto, subsecuentemente, condujo a soluciones aproximadas sobre la acción del tubo oval para un rango razonablemente amplio de movimiento, tensión y torsión por separado, pero con fallas en la obtención de óptimas proporciones.

La teoría actual, derivada de la de von Karman, se basa en una estructura de vida hueca curva con una carga concentrada externa. Los parámetros principales son:

- 1) Relación de ancho/alto (b/h en Fig. 15), y
- 2) Un término combinado: relación ancho/espesor de las paredes y ancho/radio de bobina ($b/t \times b/r$).

Esto conduce a una óptima forma del tubo oval teniendo el radio de bobina más amplio posible y la altura y espesor de las paredes lo más gruesas posibles, pero con el óptimo obtenido reduciendo el movimiento de salida (esto confirma la práctica de muchos fabricantes de medidores; la tendencia para los medidores de resorte C es hacia amplio radio de espira, paredes gruesas y sección grande).

Se hicieron varios intentos para determinar un juego de parámetros que predijeran el diseño óptimo incluyendo movimiento de salida en términos de estabilidad, tensión y torsión. Se encontró que todas las variables principales en la presente teoría eran válidas en principio, pero cuando se evaluaron en términos de movimiento de salida, otras variables probaron ser más determinantes.

Un parámetro importante en el nuevo análisis es la relación de altura interior/espesor de pared (b'/t) que determina la fuerza de corte transversal. También es importante la relación altura interior/espesor de pared (h'/t), una función del movimiento de salida. Un tercero es el radio de espira (R) que puede ser evaluado como una función de la tensión.

En el nuevo análisis:

- 1) El espesor de la pared y la altura son proporcionales a los límites de tensión y fijados por la torsión de salida y la estabilidad mecánica;
- 2) la altura es reducida para aumentar el movimiento de salida (esto también reduce la tensión principal);
- 3) el radio de bobina se hace más pequeño, en cambio se reduce una segunda tensión principal.

El resultado total es una bobina con alta estabilidad mecánica, alto límite de tensión, buena torsión del indicador y amplio movimiento de salida, pero considerablemente menor en tamaño que el tubo tradicional.

Características técnicas

La precisión y verosimilitud pueden ser evaluadas en términos de 1) estabilidad mecánica; 2) límites de tensión; 3) torsión del indicador y 4) movimiento de salida.

Estabilidad mecánica

La estabilidad mecánica incluye no solamente resistencia a la vibración externa, shock operacional y maltrato al manejar, sino también resistencia a ondas de shock de la presión interna y pulsaciones de línea que pueden indicar daños. El grado de estabilidad mecánica es función de:

- 1) resistencia de las partes estructurales, esqueleto, carcazas y conexiones;
- 2) equilibrio de las partes móviles, y
- 3) peso, largo y torsión de los componentes del resorte.

Los últimos dos factores son de gran importancia. En el medidor de diafragma la estabilidad mecánica es determinada por la estabilidad de movimiento del engranaje de relación alta. En el medidor de resorte C está determinada por la estabilidad del movimiento de engranaje y el resorte C. En los medidores de espiral o helicoidales, está determinado por la estabilidad de la bobina espiral o he-

licoidal.

En los diseños tradicionales de diafragma o resorte C, el movimiento de engranaje está deliberadamente construido con un sector dentado desequilibrado, arreglado de manera tal que el aumento de peso sobre la torsión del resorte fino compense el paso muerto permitiendo así que el indicador siga fácilmente el trazo de la posición del resorte C. Esto reduce la torsión del resorte fino y la fricción en el movimiento. Sin embargo, el peso desequilibrado en el movimiento del engranaje resulta en baja estabilidad mecánica (p.e. un movimiento de engranaje soportará un máximo de vibración de 2-g y un shock de 6-g).

El movimiento de engranaje es también sensible a la pulsación rápida de línea, lo que puede causar vibración del engranaje y rápido desgaste de la cara dentada.

Se han utilizado variados sistemas para aumentar la estabilidad mecánica del movimiento de engranaje en medidores especiales, incluyendo: 1) humedeciendo con siliconas, lo cual es moderadamente efectivo y 2) ruedas amortiguadoras de inercia en la aguja del indicador, también moderadamente efectivo; 3) amortiguadores rotatorios en la aguja del sector dentado, y 4) equilibrando el segmento dentado. Las técnicas 3) y 4) son efectivas, pero incrementan la complejidad del diseño. Por lo tanto no son utilizadas excepto en contadas y críticas ocasiones.

En el medidor de resorte C, la estabilidad mecánica es limitada principalmente por la masa del sistema del resorte C, o un producto del peso total y la cupla de salida relacionada con el radio de espira, por ej. para una misma estabilidad un tubo de medidor grueso y un radio más amplio requieren una cupla de salida proporcionalmente más amplia.

En el peso total, el peso del líquido interno (si hay) en el tubo del medidor en funcionamiento, es importante. En medidores de baja presión el peso del líquido puede ser el principal factor en la estabilidad del medidor.

La tolerancia de capacidad de actuación puede ser incrementada adicionando topes límites en el extremo libre del resorte. Sin embargo, es más común particularmente en grandes medidores de alta presión, que la sección transversal del tubo del medidor

se amplíe para incrementar la torsión de salida. Esto incrementa el peso y reduce el movimiento, pero la torsión puede ser lo suficientemente incrementada como para producir un aumento neto en la estabilidad y la resistencia al daño por vibración.

Dado que el movimiento del engranaje es dañado por shocks de línea y pulsación, es práctica común aislar los medidores de resorte C de estos inconvenientes por medio de amortiguadores (salvadores de los medidores), que se consiguen en muchas variedades. Con esta protección, la estabilidad mecánica del medidor de resorte C está determinada por el resorte mismo.

El medidor espiral o helicoidal es también un sistema a resorte cuya estabilidad mecánica es una función del peso total, de la torsión de salida y radio del bobinado. El peso del tubo del medidor es pequeño y, dado que el volumen interno es pequeño, el peso de cualquier líquido dentro de él es también pequeño. En cuanto a los otros factores el radio de bobinado es pequeño y la torsión de salida es alta. Considerando todos los factores, la estabilidad mecánica es alta.

Los medidores espirales/helicoidales generalmente soportan vibraciones de 10-g y shock de 1.000-g, sin efectos adversos. Asimismo, como estos medidores no tienen partes mecánicas sujetas a desgaste, no son dañadas por shock de línea y pulsación.

Las estabilidades de los medidores de espiral y helicoidales son comparables. Aunque los de tipo helicoidal tienen un radio de bobinado algo más pequeño que el de diseño en espiral, las vueltas concéntricas adyacentes de la bobina en espiral proveen una amortiguación que compensa por la diferencia en el radio de bobinado.

Las condiciones de servicio que requieran todavía mayor estabilidad mecánica, se satisfacen utilizando topes límites, amortiguadores con siliconas y aparatos amortiguadores inerciales.

Cupla de la aguja indicadora

La cupla del indicador de un instrumento de medición está determinado en parte, por el largo y el tamaño del indicador (una función de la legibilidad de la escala). Un instrumento que tenga un indicador muy liviano con un equilibrio muy preciso, montado sobre cojinetes, puede hacerse exacto y estable con una cupla de

salida débil. Un típico contador eléctrico, por ejemplo, tiene una cupla de indicador de 0.0001-lb-in, escala total. La cupla de un galvanómetro sensible es todavía menor.

La cupla de indicador de los medidores espirales/helicoidales caen en un rango mediano (apenas por encima del contador eléctrico común) y rangos desde 0.0002 lb-in/270° para los medidores grandes.

La cupla del indicador del medidor espiral/helicoidal es la cupla del tubo medidor en sí, el cual está directamente acoplado al indicador.

Pequeños tubos de medidores producen valores de salida de cupla relativamente altos (comparados con contadores eléctricos y medidores de engranaje). Para muchas aplicaciones, el tamaño de los tubos del medidor está seleccionado para dar un mínimo de salida de cupla de 0.1 lb-in/270°, un valor lo suficientemente grande. Valores más altos o más bajos pueden producirse aumentando o disminuyendo el tamaño del tubo.

Movimiento de salida

El movimiento de salida del tubo oval curvo es debido a tres factores de interacción producidos por la presión interna:

1. La presión interna ejercida en el extremo libre del tubo produce un movimiento proporcional al área de la sección transversal. Esta presión (A_1) es independiente del largo del tubo y del radio de espira. Este movimiento es significativo para grandes secciones transversales pero es un efecto secundario para bobinas espirales o helicoidales largas.
2. La sección exterior del tubo curvo, mirando hacia afuera desde el centro, tiene un área mayor expuesta a la presión que la sección interior que mira hacia el centro. La diferencia entre estas áreas produce un movimiento A_2 proporcional a la diferencia en área. Este movimiento, aunque es una función compleja de la sección transversal del tubo, es independiente del largo y del radio de espira y proporcional al número de vueltas.

En la forma de resorte C, el número de vueltas es menor que 1.0 y A_2 varía principalmente con cambios en el área de la

sección transversal. En los medidores a espiral o helicoidales, sin embargo, A_2 (movimiento de salida angular) aumenta a medida que aumenta el número de vueltas, independientemente del largo.

Así, con una dada longitud de tubo, el movimiento de salida aumenta según 1) el radio de bobinado disminuye y 2) el número de vueltas aumenta. Esto ha sido un factor importante que ha contribuido al desarrollo de los medidores espirales/helicoidales.

3. La presión interior impuesta en las áreas interior y exterior de las paredes del tubo produce una tensión de curvatura a través del tubo. Las paredes chatas tienden a curvarse y a aplicar un movimiento final para enderezar el tubo curvo. Esta acción es comunmente mencionada como la tendencia del tubo a asumir una forma redonda y enderezarse, lo cual implica una memoria innata en el tubo. La acción de curvarse en un tubo achatado, ha sido siempre muy importante en la especulación y teoría sobre tubos de medidores. Aunque este efecto no puede ser ignorado, es secundario, y es dificultoso de medir en tubos de alta y mediana presión en los cuales es bastante alta la rigidez.

Hay un marcado aumento en el movimiento de salida en tubos de medidores para rangos de presiones debajo de los 30 psi. Por lo tanto, medidores espirales o helicoidales que tengan rangos por debajo de los 30 psi. son muy eficientes y pueden hacerse con una cupla y estabilidad relativamente más alto que los standard en caso de ser necesario. Esto es el resultado de la experiencia en medidores de resorte C, esto es típicamente marginal en cupla y estabilidad para rangos de presión por debajo de los 60 psi.

Qué demuestra la experiencia

Los medidores espirales y helicoidales han sido utilizados con bastante éxito en una variedad de aplicaciones durante muchos años.

Un ejemplo es el medidor de bobina en espiral, desarrollado para el USN Bureau of Ships. Es una unidad antichoque que utiliza una bobina en espiral del alto torque que conduce al indicador

a través de una sólida pared protectora con un enganche magnético, proveyendo así protección contra explosión. El medidor soporta vibraciones de 10-g y shock de 1.200 g. (Fig. 16).

Otras series de medidores, utilizando una bobina de espiral de alta cupla manejan un potenciómetro eléctrico (Fig. 17). Son unidades de gran producción para servicio pesado en equipos y maquinarias para construcciones.

Una cuarta serie es un indicador de medidor básico, de bajo costo, en el cual el aparato se reduce a las partes elementales: tubo de medidor en espiral con aguja indicadora adjunta, conexión de ajuste y carcasa con el dial como parte del cristal. Este tipo se adapta muy bien para servicio de inspección para extinguidores de fuego, botellas de gas, etc.

Una quinta serie es una línea de medidores de bobina helicoidal para trabajo pesado, diseñada de manera tal que pueda aumentarse el largo de la bobina helicoidal en caso de que se requieran límites de presión mayores que los standard. Una variación en esta serie es aquella en la cual un acoplamiento magnético sellado se añade como elemento de salvaguardia en servicios de super presión.

Todavía hay más ejemplos que incluyen medidores de precisión para pruebas de laboratorio; medidores para propósitos generales y alta producción, y termómetros de bulbo remoto y un medidor extra largo de bobina helicoidal y para alta presión, diseñada para alta seguridad con un transductor digital.

Reducción en la sección transversal de los nuevos tubos de medidores, comparado con la práctica pasada, no ha causado problemas durante los últimos 8 años.

Hay un límite en la viscosidad y en el volumen de los sólidos suspendidos a los cuales debe ser expuesto cualquier medidor de presión. En estos casos, diafragmas de aislamiento que separan el líquido medido del medidor de presión, son recomendables. Estos también son convenientes para flúidos altamente corrosivos, algunos tipos de gases condensados y algunos tipos de líquidos que puedan solidificarse en el tubo.

Donde se requiera un diafragma de aislamiento se puede efectuar una considerable reducción en el tamaño con el medidor espiral/helicoidal. La sección transversal más pequeña reduce el vo-

lumen interno del tubo, por lo tanto el desplazamiento del diafragma de aislamiento puede ser menor. Un diafragma de aislamiento para el medidor de resorte C debe ser de un diámetro de 2" como mínimo, diafragmas de hasta 1" han probado ser efectivos en medidores espirales/helicoidales.

La velocidad de respuesta de medidores espirales/helicoidales son generalmente más altas, una ventaja en ciertas aplicaciones.

Reduciendo el espesor de pared para ganar eficiencia no se ha acercado a los límites de los materiales. Con aleaciones comúnmente usadas, las paredes mínimas utilizadas actualmente para bobinas espirales/helicoidales es 0.0027" con un nominal de 0.0040" (comparado con el mínimo actual de 0.0050" para los tubos de medidores de resorte C). La condición de la técnica para tubos de precisión de paredes delgadas con una pared homogéneamente densa es ahora bajo los 0.0015".

Una ventaja adicional de los medidores espirales o helicoidales resulta del pequeño peso neto del material de entubamiento requerido para el medidor. Esto, más el hecho de que la misma bobina espiral o helicoidal puede ser utilizada en todos los tamaños de medidores, reduce drásticamente el número de tipos de tubos de medidores de tamaño y aleación especial.

Conclusiones

En suma, las principales consideraciones de diseño que hacen posible los medidores espirales o helicoidales incluyen lo siguiente:

1. Reduciendo el radio de bobinado se obtiene un gran aumento en la estabilidad mecánica.
2. Con igual radio de bobinado, reduciendo la altura interior, el mismo largo da mayor cantidad de vueltas y un gran aumento en el ángulo de desviación a la misma tensión de curvatura longitudinal.
3. Con pequeño radio de bobinado, reduciendo espesor de pared da consiguiente incremento en la desviación angular a la misma tensión de curvatura en sentido transversal.

4. Con pequeño radio de bobinado y gran desviación angular para un largo dado, reduciendo ancho y espesor de pared en proporción, da consiguiente aumento en la desviación angular con una alta cupla de salida.

REGULADORES DE PRESION Y SU APLICACION

Al discutir o utilizar reguladores son comúnmente utilizados términos como "efecto de resorte", "efecto de diafragma", "efecto de cuerpo" y "efecto de presión de entrada". Estos términos pueden definirse como sigue:

1. Como el flujo aumenta en un regulador operado a resorte normalmente abierto, la válvula se abre más para mantener constante la presión controlada. Al abrirse la válvula, la fuerza de compresión del resorte disminuye y resulta en una disminución de la presión controlada. Esto causa una "inclinación" (pequeña desviación de la línea recta ideal de la curva de un regulador) llamada "efecto de resorte".
2. Como el diafragma se dobla, el área efectiva cambia. Esto causa un incremento en el área efectiva cuando la válvula se abre, resultando en una consiguiente inclinación de la curva ideal que es conocida como "efecto de diafragma". (Fig. 19).
3. El fluido fluyendo sin ninguna restricción, como ser el cuerpo regulador, experimenta alguna turbulencia y fricción. El contorno del cuerpo, las condiciones de carga y presión alteran este efecto, pero el resultado normal es todavía más inclinación en la curva de control, conocido como "efecto de cuerpo". (Fig. 20).

Tipos de reguladores

Regulador de dispositivos

Si se quisiera seguir la huella que toma el gas en un horno doméstico (o industrial) desde su uso final hasta la cabeza del pozo, se encontraría que el gas a pasado a través de cinco o seis diferentes tipos de reguladores.

Comenzando desde la boquilla del mechero, el primer regulador que se encuentra es un regulador de artefactos. Este regulador

es utilizado en hornillos, calentadores de agua, secadores y otros artefactos. Normalmente es un regulador convencional (Fig. 18) a resorte con una válvula. El punto de control se localiza cerca de la salida del cuerpo y con una pequeña restricción en el área del cuerpo. Esta pequeña limitación aumenta la presión dinámica y disminuye la presión estática del gas, dando un efecto de intensificación que tiende a compensar por los efectos de resorte, diafragma y cuerpo. El efecto de presión de entrada es pequeño porque la relación del área del diafragma con el área del orificio es grande y las presiones de entrada son bajas. Estos reguladores son diseñados normalmente para presiones de entrada en centímetros de columna de agua y reducen todavía a una presión más baja. (En el caso de artefactos domésticos, éstos reducirán correctamente la presión domiciliaria desde 20 cm. de columna de agua a 10 cm. de columna de agua en el artefacto).

Reguladores de artefactos de tamaños mayores para aplicaciones industriales pueden ser del diseño de válvula equilibrada para compensar el efecto de presión de entrada.

Regulador de servicio

Continuando por la línea de gas encontramos los reguladores de servicio. Este regulador es utilizado para reducir las presiones de distribución en libras (psi) a las presiones de servicio en cm. de agua. Este tipo es utilizado para servicio doméstico normal y puede ser utilizado en presiones de aspiración de hasta 100 psi. Pueden conseguirse también reguladores de servicio para presiones más altas. (Fig. 21).

Una relación amplia de palanca y gran área efectiva de diafragma es utilizada para superar el efecto de resorte. Un diseño de cuerpo que dé efecto de intensificación es utilizado para ayudar a superar el efecto de diafragma. Un resorte largo es empleado para disminuir el efecto resorte.

Los reguladores de servicio doméstico como los Rockwell No. 143 tienen una conexión con tuerca de unión entre la caja del diafragma y el cuerpo regulador. Esto permite la rotación de la caja del diafragma en 360° con respecto al cuerpo. Este diseño no solamente permite una variedad de posiciones para el regulador en línea horizontal o vertical sino que también permite un acceso a la válvula y orificios para inspección, mantenimiento, etc.

El tamaño correcto del orificio y resorte depende de la velocidad del flujo, presión de entrada y presión de salida. Esto debe basarse en las recomendaciones del fabricante. Pueden conseguirse también válvulas de seguridad y dispositivos de cierre automático.

También se pueden conseguir reguladores de servicio más amplios (como el Rockwell 243) para proveer aumento de capacidad para servicio comercial con la sensibilidad de un regulador del tipo de servicio. El diseño es similar al de los reguladores de servicio doméstico más pequeños, incluyendo la posibilidad de rotar de la caja del diafragma con respecto al cuerpo. El cuerpo es diseñado para presiones de 125 psi y se consiguen con conexiones de hasta 2". Otros modelos de este regulador pueden ser utilizados como reguladores por control remoto, válvulas de seguridad, regulador de contrapresión y de vacío.

Siguiendo por la línea de gas podemos encontrar un regulador de sector. Esto debe ser clasificado como regulador de baja o media presión con conexiones de 2" o más (como los reguladores Rockwell No. 1001, 014, 461 ó 441) (Fig. 22).

Un regulador como el 1001 es para presiones de más de 200 libras y presión de salida desde 10 cm columna de agua a 60 libras. Es un regulador con una sola válvula de $1\frac{1}{4}"$ o $\frac{3}{4}"$. El cuerpo está montado en una placa con abertura de inspección en la base, permitiendo que la válvula principal sea removida para mantenimiento.

Para cargas más grandes, deberán ser utilizados los reguladores Nos. 014, 441 ó 461. El regulador 014 es adecuado para presiones de entrada de más de 125 libras y presiones de salida desde 2" columna de agua a 10 libras. El 014 es un regulador de entrada o salida con una alta relación de palanca y gran caja de diafragma. A este regulador puede ser también acoplado un sistema para presiones de salida entre 1 y 10 libras. El 014 es un regulador de válvula equilibrada y el apoyo de la válvula está directamente maquinado en el recipiente de entrada, que puede ser sacado sin mover el regulador de la línea. Es, por lo tanto, posible instalar un regulador así perfectamente adaptado a las cargas actuales y fácilmente adaptable a futuras demandas con la instalación de un recipiente de entrada con válvulas más grandes.

El regulador 441 se provee en tres modelos básicos -el 441S, 441-57S, 441-2100-. Están todos equilibrados con reguladores de válvulas, y la válvula y orificios puede ser quitada y reemplazada

sin mover el regulador de la línea. Esto proporciona un método más fácil para cambiar la capacidad del regulador.

Sin embargo, el 441-57S (Fig. 23) utiliza un diafragma de rotación, el cual decrece el área efectiva cuando el regulador se abre, en lugar de incrementarla como en los diafragmas convencionales. Esto actúa para anular la disminución de la fuerza del resorte y prácticamente eliminar la desviación normalmente atribuida al efecto de resorte.

La serie de reguladores 441-2100 están diseñados de manera tal, que en caso de falla del regulador piloto, el regulador principal no falla y continúa operando como un regulador a resorte convencional con una presión de salida levemente más baja.

El 461-S (Fig. 24) es un regulador del tipo de resorte con válvula equilibrada y se hace solamente en el tamaño de 2". Este regulador puede ser: 1) con válvula equilibrada del tipo doble apoyo, ó 2) un apoyo con equilibrio facilitado por el uso de un pistón de equilibrio.

El 461-57S tiene el mismo cuerpo que el 461-S, y es un regulador del tipo resorte, pero con un diafragma como el utilizado en el 441-57S.

Los reguladores de baja presión tienen todos asientos blandos para un positivo cierre, y son utilizados en gran número de aplicaciones además de regulación de zona. Se utilizan en hornos industriales, hornos domésticos, hervidores y otros quemadores de gran capacidad.

Reguladores de alta presión

A medida que vamos avanzando en nuestra línea de gas imaginaria, llegaremos a, una línea de transmisión de alta presión, ó alguna forma de regulador de alta presión. En muchas circunstancias la alta presión es reducida en dos o más etapas. El primer "corte" (reducción de presión) puede ser hecho por un regulador de alta presión de válvula equilibrada, ya sea operado por palanca y peso o por resorte. El segundo corte puede ser por un regulador de válvula equilibrada con operador piloto. Un regulador del tipo de resorte o de palanca y peso es apropiado para el primer paso porque no requiere la exactitud de control del segundo paso. El Rockwell 015 es un regulador de este tipo y puede ser

de palanca y peso, resorte o piloto. (Fig. 25).

Estos reguladores pueden manejar presiones de entrada de más de 1200 libras en tamaños de 2" a 12". Estos tienen un recipiente de entrada como el del 014 pero el recipiente no cambia cuando los apoyos y válvulas son cambiadas, según las demandas de servicio futuras. Se pueden conseguir válvulas con apoyo duro o apoyo suave. Son utilizadas válvulas de apoyo duro cuando no se requiere un muy buen cierre, cuando éste es necesario se utilizan válvulas de apoyo suave. Este regulador se puede conseguir también con un sistema de control de presión para proporcionar un control exacto de presiones de salida de más de 1000 libras, y se utiliza generalmente para presiones de salida de más de 250 libras.

El 461-X57 (Fig. 26) es un regulador del tipo de resorte con válvula equilibrada y de alta presión, con presiones de trabajo de 1200 libras. Este regulador tiene el diafragma ya mencionado y dará una regulación de alta presión comparable a la del regulador con control piloto. Estos reguladores de alta presión tienen aplicación en usos industriales de la alta presión.

Reguladores de campo

En algún punto a lo largo de la línea de transmisión del gas encontraremos que se utilizan reguladores de campo para alta y baja presión. Estos son reguladores del tipo de resorte que juntamente con los reguladores de alta presión son adecuados para presiones de entrada de hasta 1500 libras y presiones de salida desde 3 a 600 libras. (Fig. 27).

Son reguladores de relativo bajo volumen utilizados a lo largo de la línea de transmisión de gas cuando son necesarios para consumidores aislados industriales o domésticos, que requieran pequeño volumen para conectarse directamente con las líneas de alta presión. Estas presiones pueden ser tan altas en estos puntos de salida como para requerir dos o más puntos de reducción de presión. El segundo o tercer punto puede ser un regulador de campo de baja presión adecuado para presiones de entrada de 175 libras y presiones de salida de 3 a 60 libras.

Selección y mantenimiento

La selección de un regulador adecuado para una instalación específica puede basarse en la seguridad, exactitud y sencillez de mantenimiento o reparación. El siguiente es un procedimiento sugerido para adecuarse a los requerimientos y condiciones para seleccionar el regulador adecuado:

1. Rango de presión de entrada máximo y mínimo.
2. Rango de presión de salida, máximo y mínimo.
3. Diferencial mínimo (entrada mínima menos salida máxima).
4. Exactitud de control y grado de respuesta. En muchas ocasiones cuando se requiere un alto grado de exactitud, puede ser necesario hacer un corte de dos puntos para conseguir exactitud; donde se requiera una rápida respuesta debe ser seleccionado un regulador de adecuada respuesta. Normalmente éste será un regulador de tipo de resorte. El regulador de operador piloto, aunque tiene mayor exactitud de control es un tanto más lento en la respuesta.
5. La velocidad de flujo, máximo y mínimo, regulará el tamaño de las válvulas y orificios en el regulador.
6. Positivo dispositivo de cierre. Esto determinará si puede ser una válvula de apoyo suave o apoyo duro. Donde no se requiera un positivo dispositivo de cierre pueden ser utilizadas válvulas de apoyo duro, donde se requiera deberán usarse válvulas de apoyo suave.
7. Seguridad. Debe considerarse la necesidad o no de un sistema de seguridad. Esto puede ser, en el caso de un regulador de servicio, el dispositivo de cierre automático; en reguladores más grandes, éste puede ser un regulador de inspección o una válvula de alivio en la línea, o algún otro procedimiento de salvaguardia.
8. Facilidad de reparación y mantenimiento. Un regulador de presión requiere una ocasional atención o inspección. Es importante seleccionar un diseño de regulador que permita una fácil inspección y reparación. Como muchas de las reparaciones del regulador se hallan en la instalación es imperativo que todas

las partes sean reemplazables sin necesidad de retirar al regulador de la línea.

9. Lugar de instalación. Debe tenerse en consideración al hecho de que el regulador esté instalado en un lugar sujeto a inundaciones o en instalaciones exteriores.

Las recomendaciones indicadas precedentemente deben ser seguidas respecto a las capacidades de presión de entrada y salida.

GAMMAGRAFIA

La moderna gammagrafia no es otra cosa que la puesta al día de los conocidos métodos radiográficos, como técnicas de ensayos no destructivos aplicados a diversos problemas de fabricación.

Su objetivo continúa siendo el establecer la calidad interna de un objeto. Hasta el momento los principales beneficiados han sido las fundiciones y los talleres de soldadura.

Antecedentes y principios de la gammagrafia

El ensayo no destructivo se ha transformado en una exigencia de rutina en las piezas fundidas vitales de las máquinas y en las soldaduras empleadas en las grandes estructuras y en los grandes conductos de fluídos. Este tipo de examen se ha venido realizando de varias maneras, entre ellas y predominantemente, por el empleo de radiaciones.

La posibilidad que éstas tienen de penetrar en la materia tiene sus limitaciones y este hecho es lo que ha posibilitado su empleo en la inspección de piezas metálicas. Refiriéndose exclusivamente a los rayos X y gamma, se notará que son absorbidas por la materia en forma tal que si un flujo determinado de radiación atraviesa un cuerpo, el haz emergente decrece en magnitud con el aumento de espesor del cuerpo expuesto, según una ley exponencial.

De lo cual se deduce que el espesor define la cantidad de radiación que puede atravesarlo por completo. El poder de absorción de los diversos materiales es aproximadamente proporcional a su densidad, de manera que ante un flujo de radiación X o gamma los materiales de menor densidad dejarán pasar más densidad

y viceversa.

Estas dos variantes son las que entran en juego cuando se utiliza radiación para impresionar una placa o película fotosensible, la que registrará las zonas más o menos espesas y más o menos de las piezas radiografiadas o gammagrafiadas.

Las principales fuentes de radiación empleadas hasta que los materiales radiactivos artificiales estuvieron en el mercado, fueron los aparatos de rayos X y el radium. Los aparatos de rayos X tienen la ventaja de adaptabilidad a la resolución de muy diversos problemas de radiografía, ya que dependiendo la penetración en la materia de la energía de la radiación incidente -además de lo mencionado- la capacidad de aquéllos equipos de vaciar esa energía les permite cumplir amplios rangos de espesores y densidades. Sin embargo, el bajo costo de los materiales radiactivos y la gran cantidad de elementos radiactivos con una enorme gama de energías han disminuido las posibilidades de los equipos de rayos X utilizables en la industria.

Fuentes de radiación

Dado que para obtener la penetración y sensibilidad adecuadas a un determinado espesor de un material establecido es necesario y conveniente disponer de una cierta energía de radiación, y teniendo en cuenta que cada radioisótopo tiene una energía gamma característica, se deduce que cada elemento radiactivo es utilizable para un rango de espesores de un material de determinada densidad.

En general ese rango se establece para espesores de acero, pudiendo trasladarse estos valores para otros materiales, teniendo en cuenta que la absorción de radiación es proporcional a la densidad de aquéllas.

La siguiente tabla da una idea de los rangos de espesores cubiertos por los elementos radiactivos más utilizados hasta el momento.

Nucleído	Vida media	Energía	Rango de espesores de acero
Thulio 170	127 ds.	80 Kev	1 - 12 mm
Iridio 192	74,4 "	hasta 660 Kev	12 - 60 "
Cesio 137	30 años	660 Kev	18 - 80 "
Cobalto 60	5,25 "	1.17 y 1.3 MeV	50 - 100 "

Técnicas de Trabajo

La base de la obtención de buenos resultados en la experiencia directa con los problemas específicos, sobre todo con lo relativo a la elección de distancias de trabajo, tiempo de exposición, tipo, grano y calidad de las películas sensibles, revelado, etc.

La primera etapa es la preparación de la película. Esta debe cargarse en un chasis flexible, entre un par de pantallas de plomo, destinadas a intensificar la acción de la radiación gamma sobre la emulsión sensible por la producción de electrones secundarios. Las dimensiones usuales de las pantallas de Pb suelen ser de 0.1 mm para la que queda al frente de la película y de 0.2 mm para la que sirve de respaldo.

Preparado el chasis, con la placa protegida con su envoltura de papel se lo coloca adosado a la pieza a gammagrafiar para asegurar la mejor definición de la imagen. Acto seguido debe ubicarse el terminal de la conducción flexible enfrente a la pieza, en el caso de exposición direccional, o en cualquier otra posición favorable si se trata de exposición panorámica.

La posición del terminal de la conducción flexible, que será en definitiva la posición de la fuente y su distancia a la pieza que se somete a su inspección, son divisivas en cuanto a la definición de la imagen por el fenómeno de penumbra, y en general debe tenderse a colocarla a la mayor distancia compatible con el tiempo razonable de exposición. A continuación puede ponerse a trabajar a la fuente.

En la siguiente tabla se indican los tiempos para fuentes de las cuatro medidas usadas en gammagrafia, para tres actividades y tres distancias distintas.

Tiempos semanales máximos de permanencia

D(m)	<u>Thulio 192</u>			<u>Iridio 192</u>		
	1C.	5C.	10C.	1C.	5C.	10C.
1	5 h	5 h	2 h 30'	12'	2' 24"	1 m 12"
5	Cont.	Cont.	Cont.	5 h	1 h	30'
10	Cont.	Cont.	Cont.	20 h	4 h	2 h

	<u>Cesio 137</u>			<u>Cobalto 60</u>		
	1C.	5C.	10C.	1C.	5C.	10C.
1	19'20"	3'52"	1'56"	4'56"	55"	28"
5	8°3'	1°36'	48'20"	1°33'	23'4"	11°52'
10	32°13'	6°26'	3°13'	7°41'	1°32'	46'10"

"Cont." significa más de 40 horas semanales.

Se debe recordar que los tiempos máximos de permanencia se cuentan mientras la fuente se halla fuera del recipiente de blindaje, en que la radiación emitida puede ejercer su acción en todas direcciones.

Conviene agregar que por medio de la exposición panorámica pueden obtenerse simultáneamente imágenes de varios objetos sobre placas distintas, lo que equivale a disminuir el tiempo de expansión promedio.

Una vez guardada la fuente, la tarea posterior corresponde a la revelación de las películas, de acuerdo a los reveladores y métodos descritos para cada tipo de material sensible.

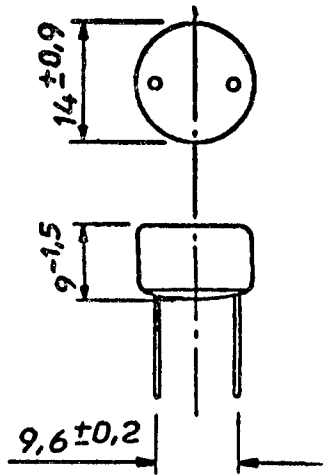
La interpretación ulterior de las gammagrafías se basa, por un lado en la experiencia acumulada en el trabajo y por otro en penetrómetros o calibres de penetración, especie de patrones de espesores variables cuya imagen, también gammagrafiada, se emplea para definir la resolución obtenida y diagnosticar las causas de cada detalle de la impresión final.

La gammagrafia se ha venido usando en la inspección de lingotes de Al-U y de elementos combustibles propiamente dichos. Sus resultados han sido magníficos, pudiéndose agregar que este método de ensayo no destructivo y el de ultrasonido son indispensables para la elaboración de dichos combustibles. Como un ejemplo, se puede decir que gracias a la gammagrafia se pueden conocer: la variación de la composición en el elemento; la segregación en el lingote fundido; el rechupe en el mismo, etc.

Naturalmente que la operación de las fuentes debe llevarse a cabo de acuerdo a determinadas normas de protección y seguridad que tienen carácter obligatorio, cuyo objeto es asegurar que los técnicos que se desempeñan en estas actividades no sufran perjuicios en su trabajo, ni puedan provocarlo a la salud, la vida o los bienes de terceros.

RESISTORES DEPENDIENTES DE LA LUZ (L. D. R.)

Están compuestos por una pequeña célula fotoeléctrica, herméticamente cerrada en una resina sintética y equipada con terminales para su conexión.



Dimensiones físicas.

Número de tipo: B8 73103

Resistencia en total oscuridad: $R_D = 10 \text{ M}\Omega$

Resistencia en presencia de luz (1.000 lux):
 $R_L = 75 - 300 \Omega$

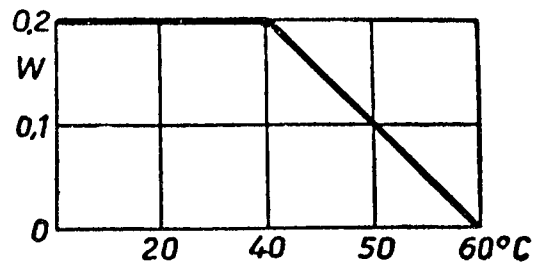
Tiempo de recuperación: $T_r = 200 \text{ k}\Omega/\text{seg.}$

Disipación máxima: $W_{\max} = 0,2 \text{ W}$ (a 40°C)

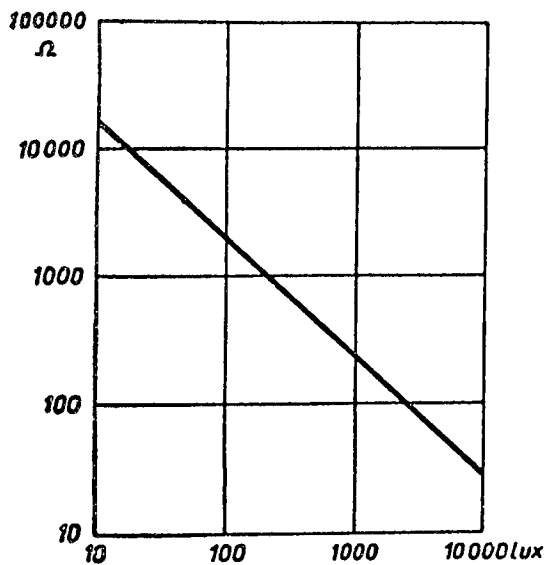
Tensión permisible: $E_{\max} = 110 \text{ V}_p$.

Temperatura de trabajo: $-20/+60^\circ\text{C}$

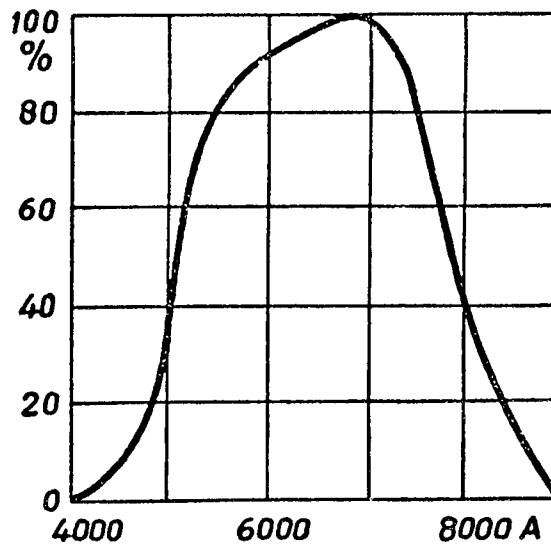
Capacidad: (máx.) 6 pf.



Disipación máxima en función de la temperatura.



Variación de la resistencia ohmica en función de la intensidad de iluminación.



Respuesta espectral.

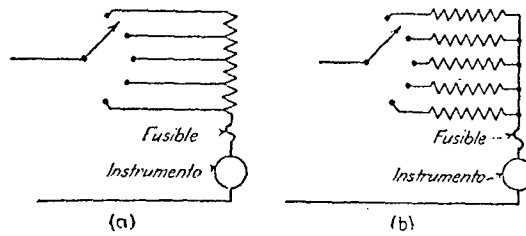


FIG. 1.—Circuitos multiplicadores para voltímetros.

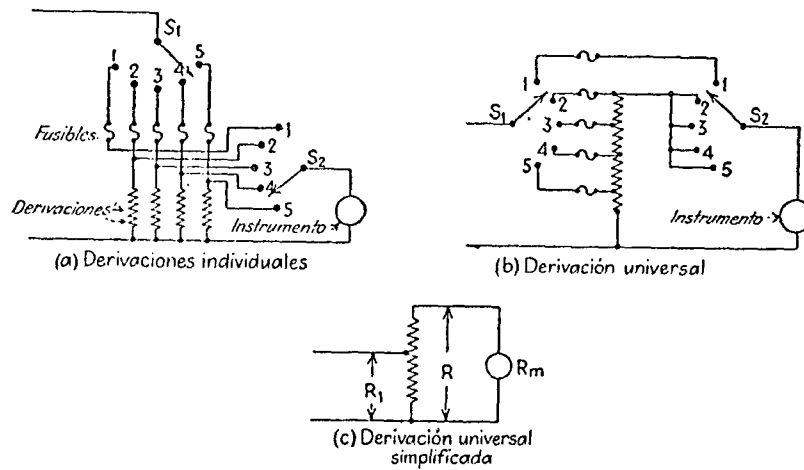


Fig. 2

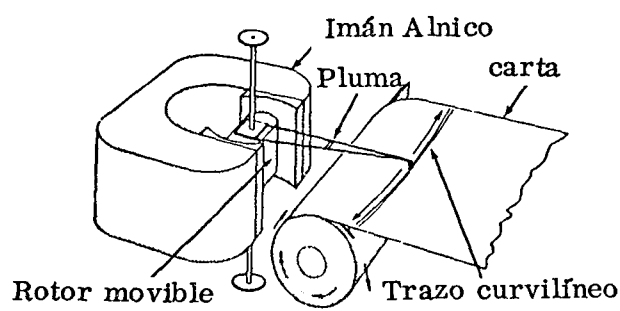


Fig. 3

El movimiento del galvanómetro básico produce un trazo curvilíneo.

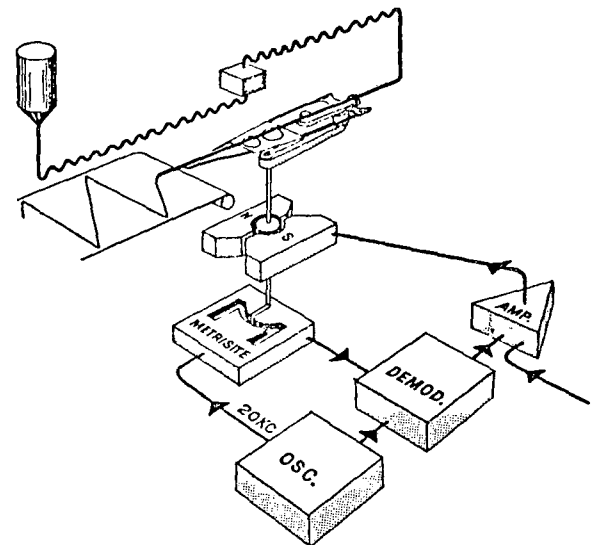


Fig. 4

Elementos del sistema de realimentación del galvanómetro Mark 200.

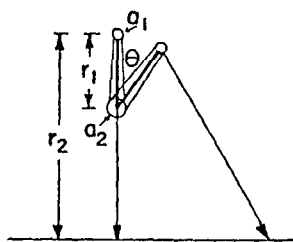


Fig. 5

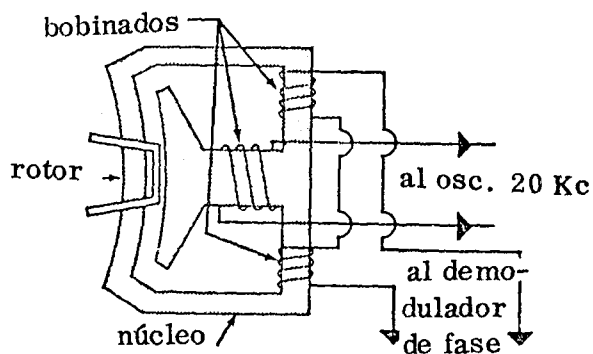


Fig. 6

Transductor Metrisita

Principio de mecanismo rectilíneo. Mientras el eje del rotor gira, la articulación de la pluma rota y balancea a la vez. a_2 es el diámetro del núcleo fijo de propulsión; a_1 es el diámetro del eje rotatorio; r_2 el largo del brazo de la pluma; r_1 largo del brazo de conexión; θ el ángulo a través del cual rota la rosca. La escala es lineal con una desviación de 0.1% y puede ser compensada perfilando la estructura de Metrisita.

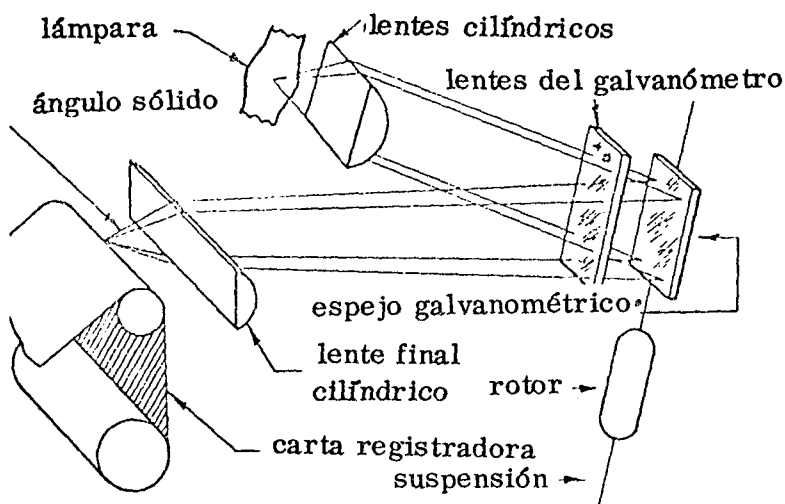


Fig. 7

Sistema óptico de un galvanómetro típico con oscilógrafo por haz de luz. El tamaño de los lentes del galvanómetro, espejo y rotor han sido exagerados.

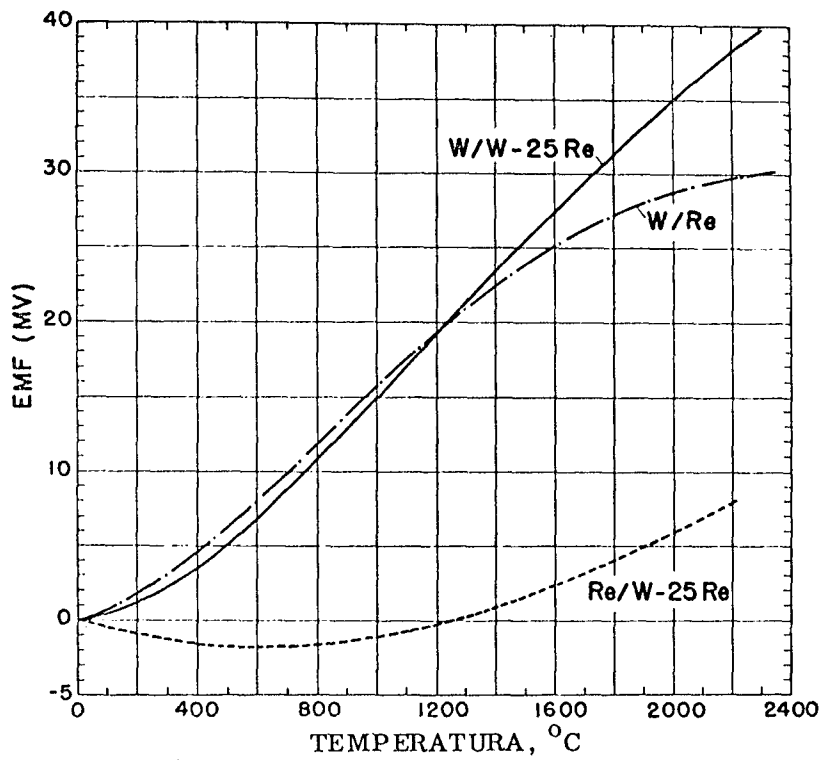


Fig. 8

Fuerza térmica electromotriz de termocuplas de Re/W-25Re, W/Re, y W/W-25Re en función de temperatura, referida a 0°C.

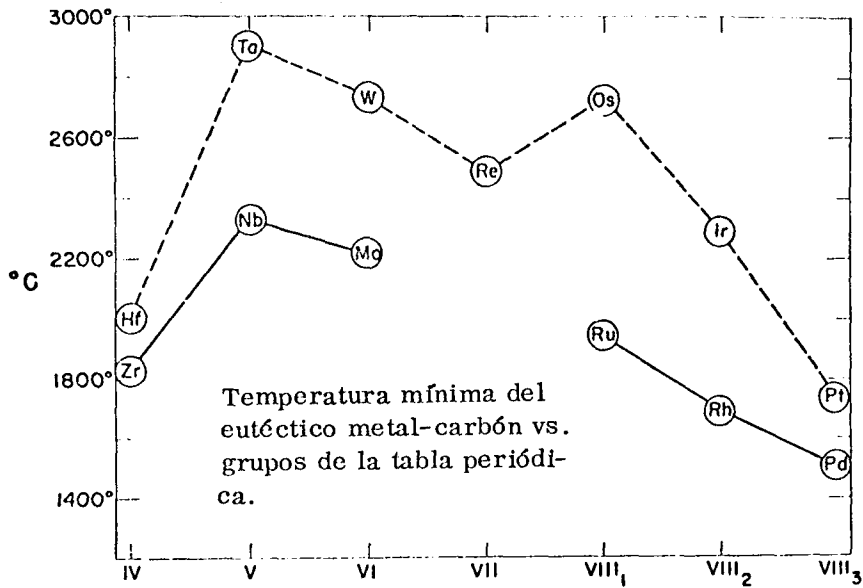


Fig. 9

Gráfico mostrando la temperatura mínima del eutéctico metal-carbón para períodos 5 y 6 en función de los grupos de la tabla periódica.

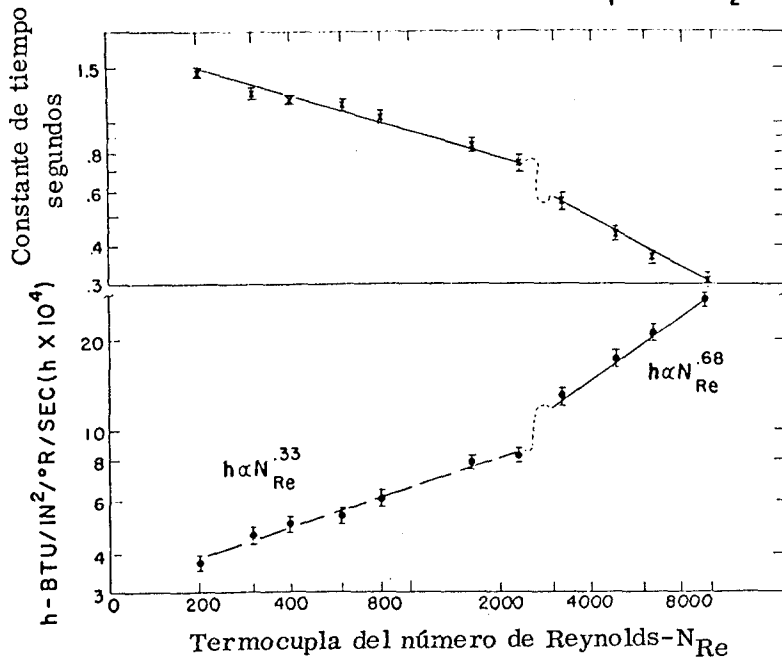
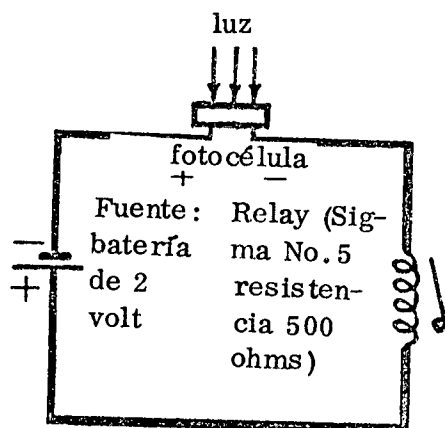


Fig. 10

Constantes de tiempo de termocupla y coeficientes h de transferencia de calor vs. el número de Reynolds.



Circuito amplificador usando tensión de punto

Fig. 11

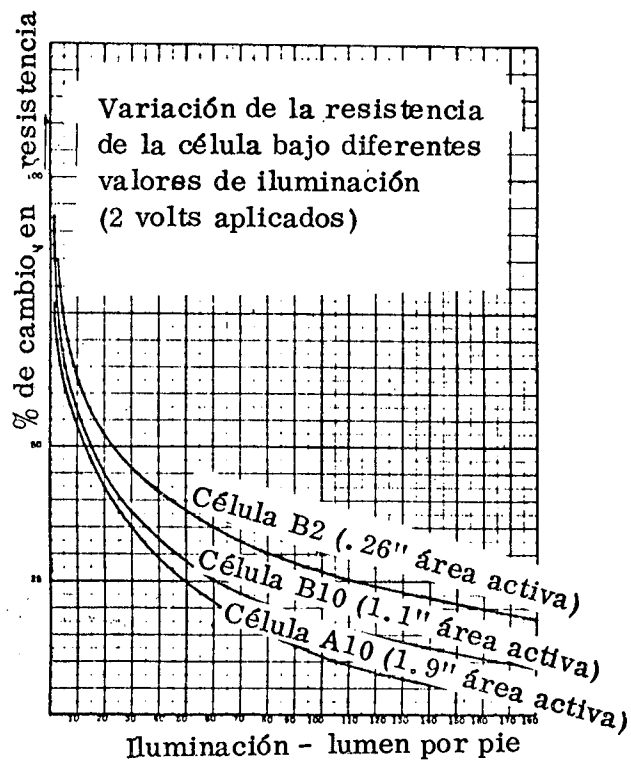


Fig. 12

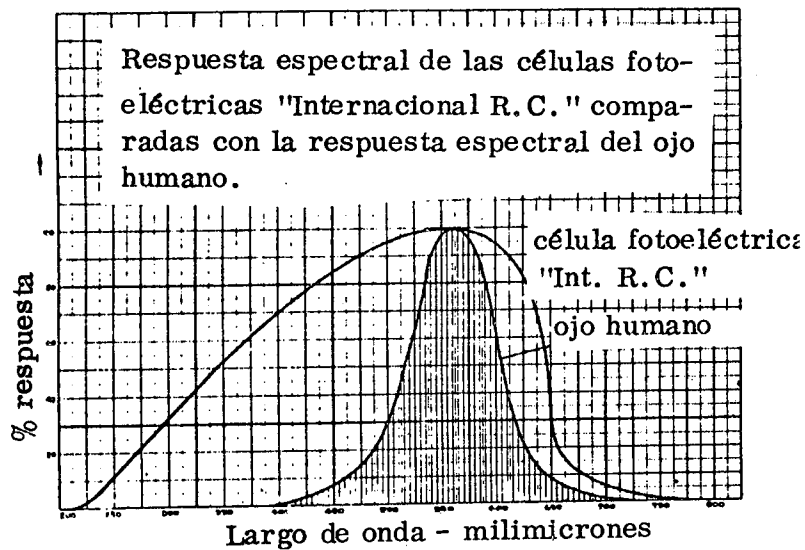


Fig. 13

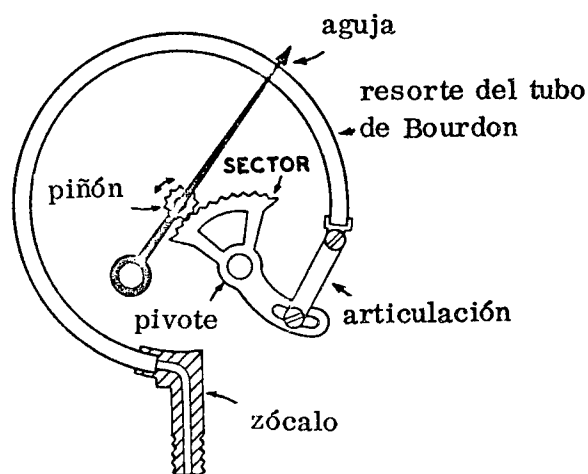


Fig. 14

Resorte en C para medidor con palanca amplificadora de movimiento.

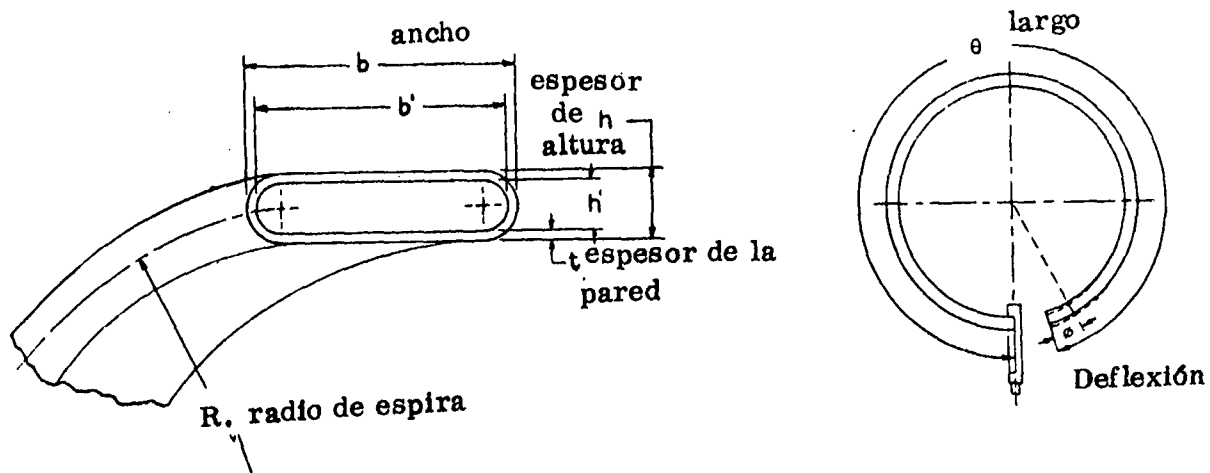


Fig. 15

Parámetros principales en diseño curvo de tubo oval.

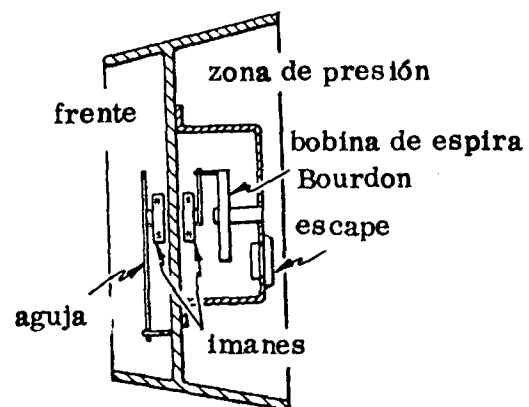
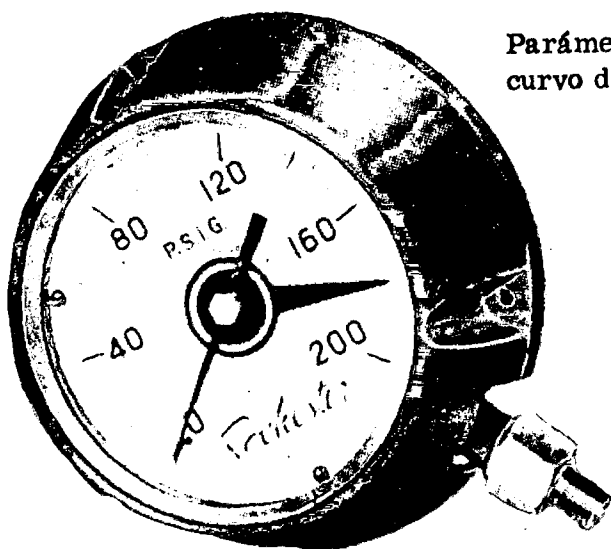


Fig. 16

Medidor de bobina en espiral desarrollado por el Bureau of Ships. El dibujo muestra el enganche magnético.

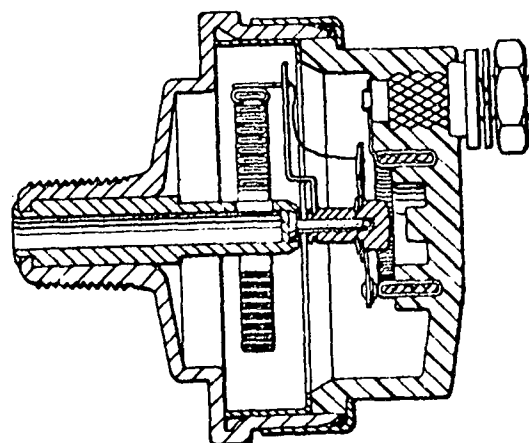


Fig. 17

Medidor a bobina de espira en un potenciómetro.

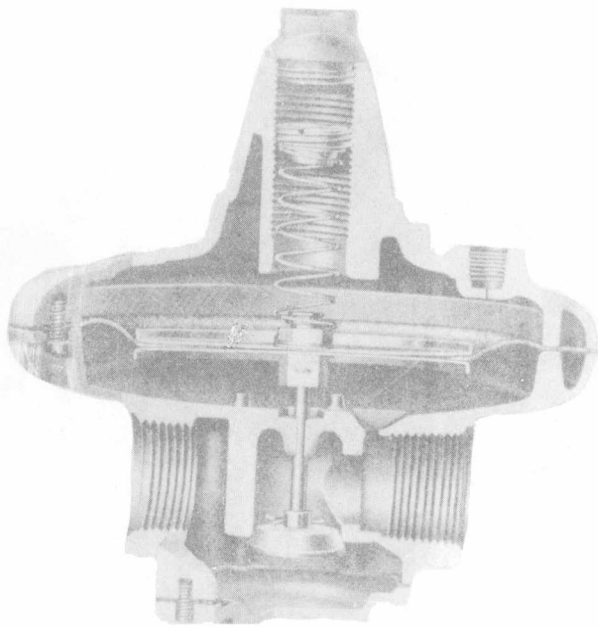


Fig. 18

Regulador de artefactos: es el típico regulador de presión. El resorte actúa para abrir la válvula interna; la presión de la línea actúa para cerrarla.

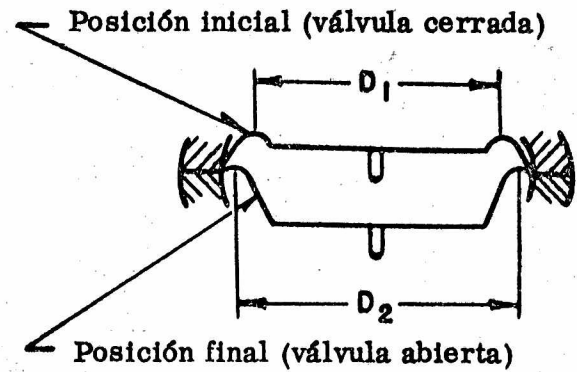


Fig. 19

El área efectiva del diagrama es diferente con las distintas posiciones del vástago.

Fig. 20

Los efectos de resorte, de diagrama y de cuerpo actúan para causar una "inclinación" en la acción de control.

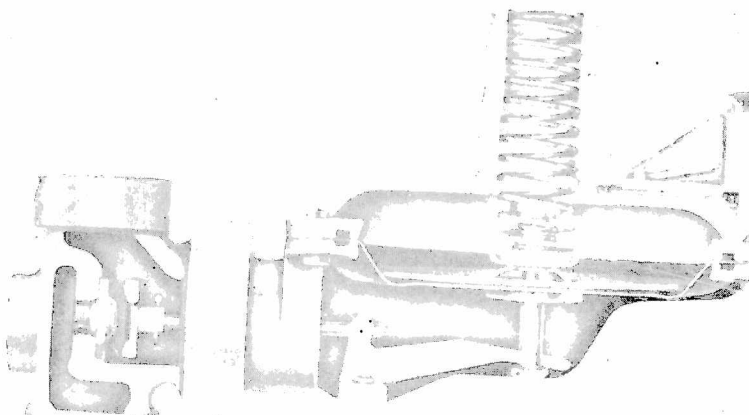
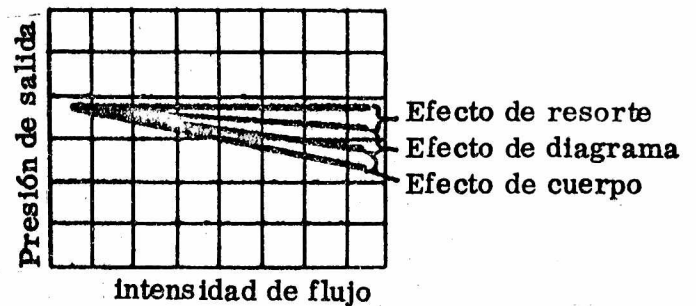


Fig. 21

Reguladores de servicio: reducen la presión lineal de libras (libras/pulgada cuadrada) a onzas (onzas/pulgada cuadrada).

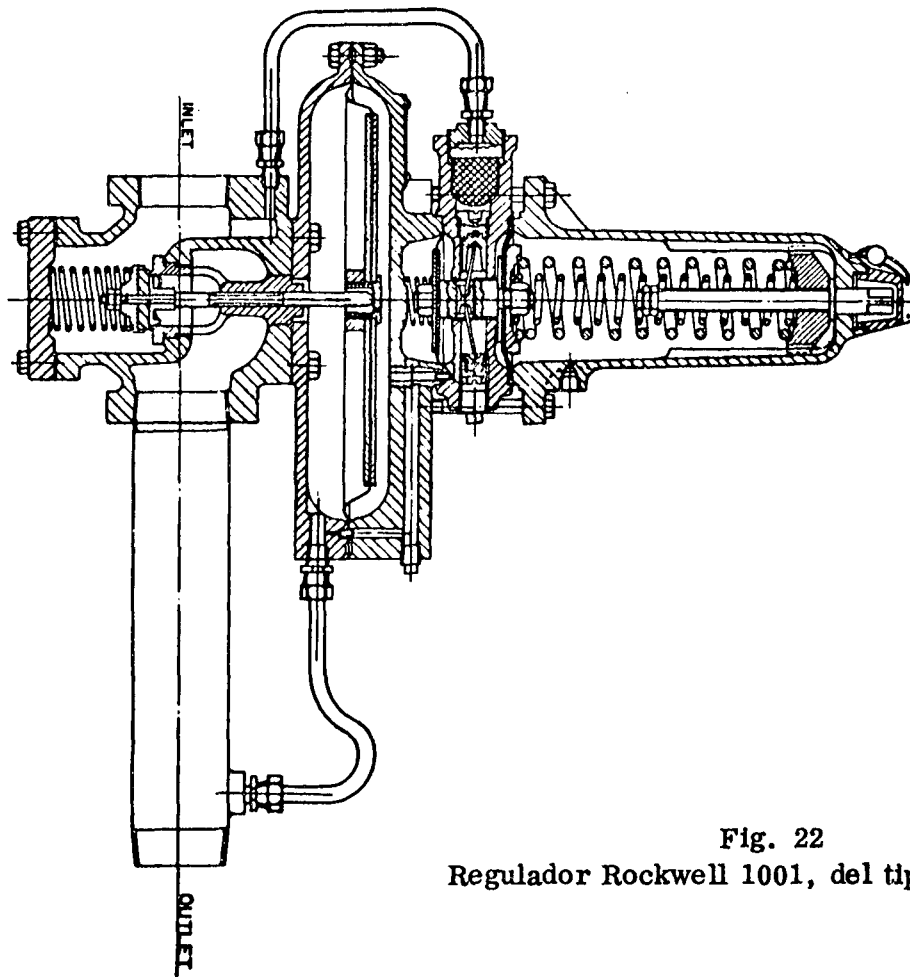


Fig. 22
Regulador Rockwell 1001, del tipo de alta presión.

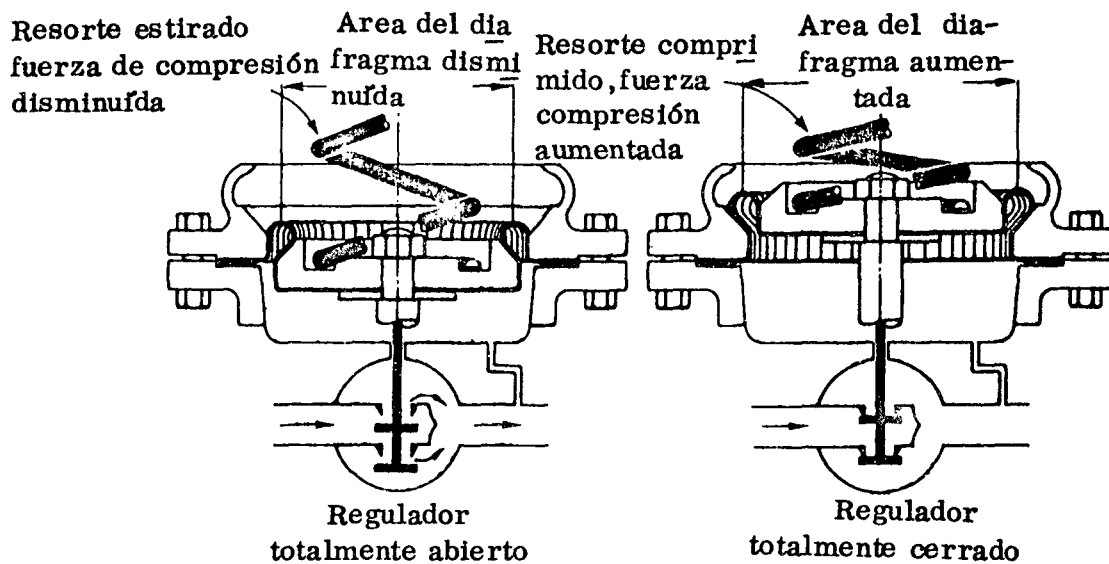


Fig. 23
Regulador de sector: El tipo 441-57S utiliza un diafragma de rotación que decrece el área efectiva cuando el regulador se abre, en lugar de incrementarla, como en los diafragmas convencionales.

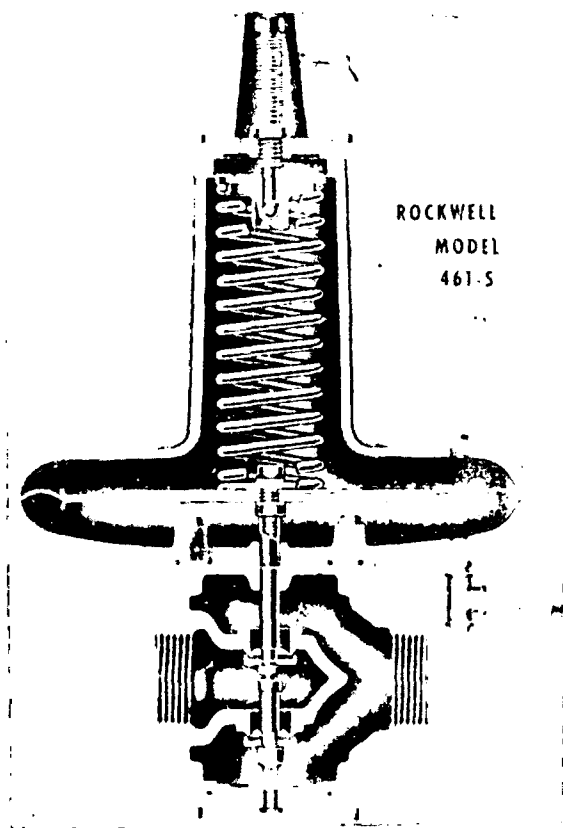


Fig. 24

Regulador de sector del tipo de resorte con válvula equilibrada. Modelo 461.S

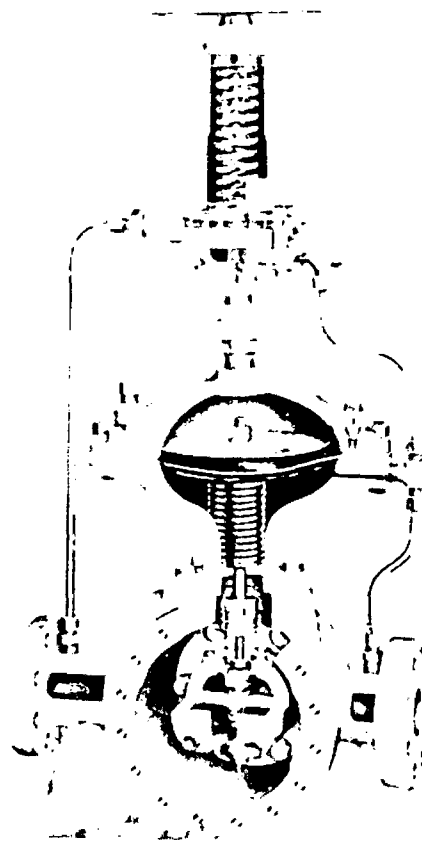


Fig. 25

Regulador de alta presión, modelo 015, del tipo de resorte usado algunas veces para el primer "corte" en un sistema reductor de presión de 2 etapas.

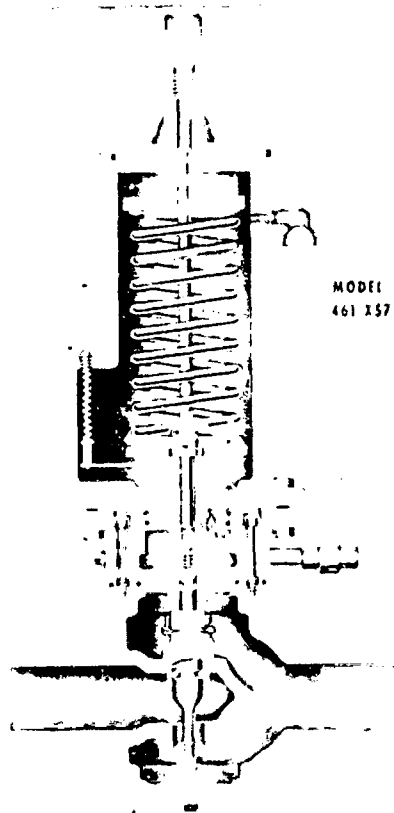


Fig. 26

Modelo 461-X57, regulador del tipo de resorte con válvula equilibrada y de alta presión, con presión de trabajo de 1200 libras, que da regulación segura usando un "diafragma de rotación".

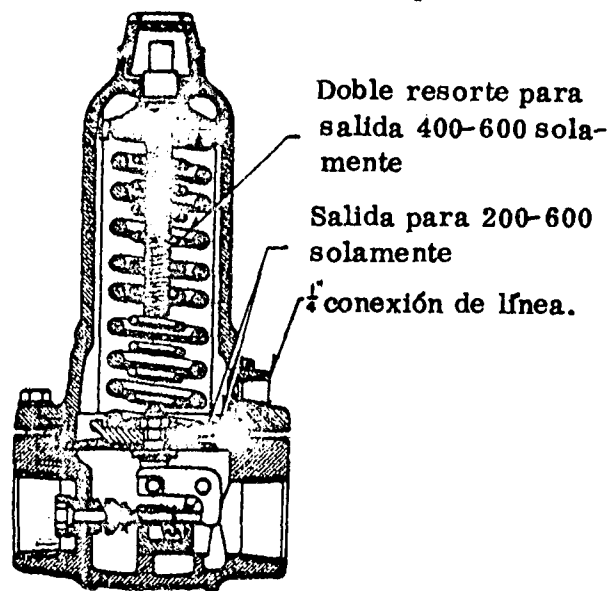


Fig. 27

Regulador de campo de alta presión.

Doble resorte para salida 400-600 solamente

Salida para 200-600 solamente

conexión de línea.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	I
Mediciones de tensión, corriente y potencia	1
Registrador Galvanométrico de Realimentación	4
Sistemas ópticos de oscilógrafos	7
Nuevos métodos de escritura con tinta para registradores gráficos	9
Calibración de pirómetros ópticos	13
Termocuplas W/W-25 Re para altas temperaturas	16
Especificaciones para potenciómetros	23
Mediciones de microvolts de corriente continua	33
Cómo medir el vacío	38
<i>Fotocélulas de Selenio :</i> Resistencia interna	43
Sensibilidad espectral	43
Montaje	43
Características de desempeño	44
<i>Nº</i> Medidores de presión en espiral y helicoidales	45
<i>Nº</i> Reguladores de presión y su aplicación	57
Gammagrafia	63
Figuras	68