

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



1080064412



CENTRALES NUCLEOELECTRICAS
(Sensores de monitoreo de procesos)

PRESENTA:

CARLOS ARTURO YAC LLANOS

ASESOR: **ING. VICENTE CANTU**

T
TK1191
43
c.1

UNIVERSITARIA

ENERO DE 1996

UNIT
FAC



C

T

TK1191

Y3

c.1

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



1080064412



CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

(Sensores de monitoreo de procesos)

PRESENTA:

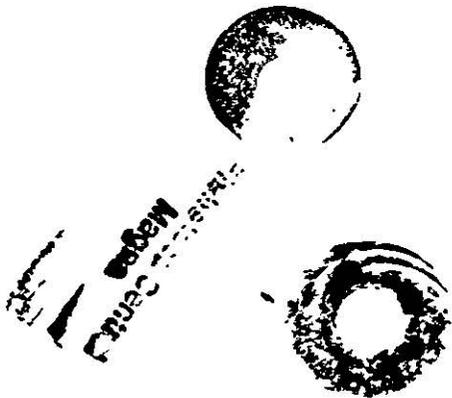
CARLOS ARTURO YAC LLANOS

ASESOR: ING. VICENTE CANTU

CD. UNIVERSITARIA

ENERO DE 1996

T
TK1191
Y3



Biblioteca Central
Magna Solidaridad

Tesis



DEDICATORIA

A MIS PADRES

A mis padres, gracias por darme el apoyo y comprensión que necesite durante mi carrera, por esforzarse y sacrificarse tanto a cambio de nada, para que al cabo de cinco años vean fructificados los anhelos y esperanzas que nacieron al inicio de mi carrera.

INDICE

TEMA:

PAGINA:

I.- INTRODUCCION	A
II.- INSTRUMENTACION DE UNA CENTRAL NUCLEAR	1
III.- SENSORES DE PRESION	3
IV.- SENSORES DE TEMPERATURA	6
V.- SENSORES DE NIVEL	8
VI.- SENSORES DE FLUJO	10
VII.- SENSORES ELECTRICOS	13
VIII.- SISTEMA DE BARRAS DE CONTROL	19

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE FISICA NUCLEAR

INTRODUCCION.-

Todos sabemos como funciona una central termoeléctrica: se aprovecha la combustión del carbón para hervir el agua que, a su vez, producirá vapor, este vapor, introducido a presión en la turbina acciona las paletas de la misma de forma muy parecida a la acción del viento sobre las aspas de un molino.

Esquemáticamente, una central térmica puede representarse como se muestra en la figura A consta de los siguientes elementos:

- 1.- Un depósito de combustible.**
- 2.- Un hogar u horno en donde se realiza la combustión, con los distintos dispositivos necesarios para regular esta combustión (por ejemplo, controlando el paso de aire).**
- 3.- Una caldera o cualquier otro medio donde calentar el agua fría, convirtiéndola en vapor de agua a presión.**
- 4.- Un grupo turbina-generador para la producción de energía eléctrica.**
- 5.- Un condensador, para el enfriamiento del agua (o en otros casos del vapor procedente de la turbina).**
- 6.- Una bomba de recirculación, que inyecta nuevamente el agua sobre la caldera.**

En una central nuclear, el combustible es principalmente, uranio y se aprovecha el calor generado al romper o fisurar los átomos constituyentes de dicho material. Los elementos que constituyen una central de esta clase son:

- 1.- Un depósito de combustible constituido por placas de uranio o de otro material fusible.**
- 2.- Un hogar u horno donde se realiza la combustión. En las centrales nucleares, el hogar se denomina reactor. Como en el caso de las centrales térmicas, este hogar va provisto de los correspondientes dispositivos de regulación de la combustión; en nuestro caso, varillas de boro o de otro material análogo.**
- 3.- Una caldera donde calentar el agua fría convirtiéndola en vapor. En los reactores llamados de "agua hirviendo" el vapor se origina directamente en el reactor. En otros tipos de reactores, el agua pasa por un serpentín, rodeado de un agente (anhídrido carbónico, helio, sodio líquido, etc.) a alta**

temperatura que procede del reactor, y que se denomina refrigerante. El dispositivo donde se realiza el intercambio de calor, se denomina en general, cambiador de calor o combinador térmico.

4.- Un grupo turbina-generador.

5.- Un condensador.

6.- Una bomba de recirculación de agua.

Por lo tanto, los apartados 4,5 y 6 son los mismos si se trata de una central térmica, que si nos referimos a una central nuclear.

INSTRUMENTACION DE UNA CENTRAL NUCLEAR.

INTRODUCCION.

Para operar cualquier tipo de Central de Generación Eléctrica es necesario contar con la instrumentación adecuada para cada proceso que deseemos supervisar, También requerimos de los elementos de control que nos proporcionen una respuesta de acuerdo a nuestras observaciones y que permitan la operación eficaz de la Central.

A medida que los sistemas son más sofisticados la instrumentación se vuelve más compleja. Esto se presenta en las Centrales Nucleoeléctricas, debido al monitoreo del flujo de neutrones y a las medidas de Seguridad y de Protección Radiológica.

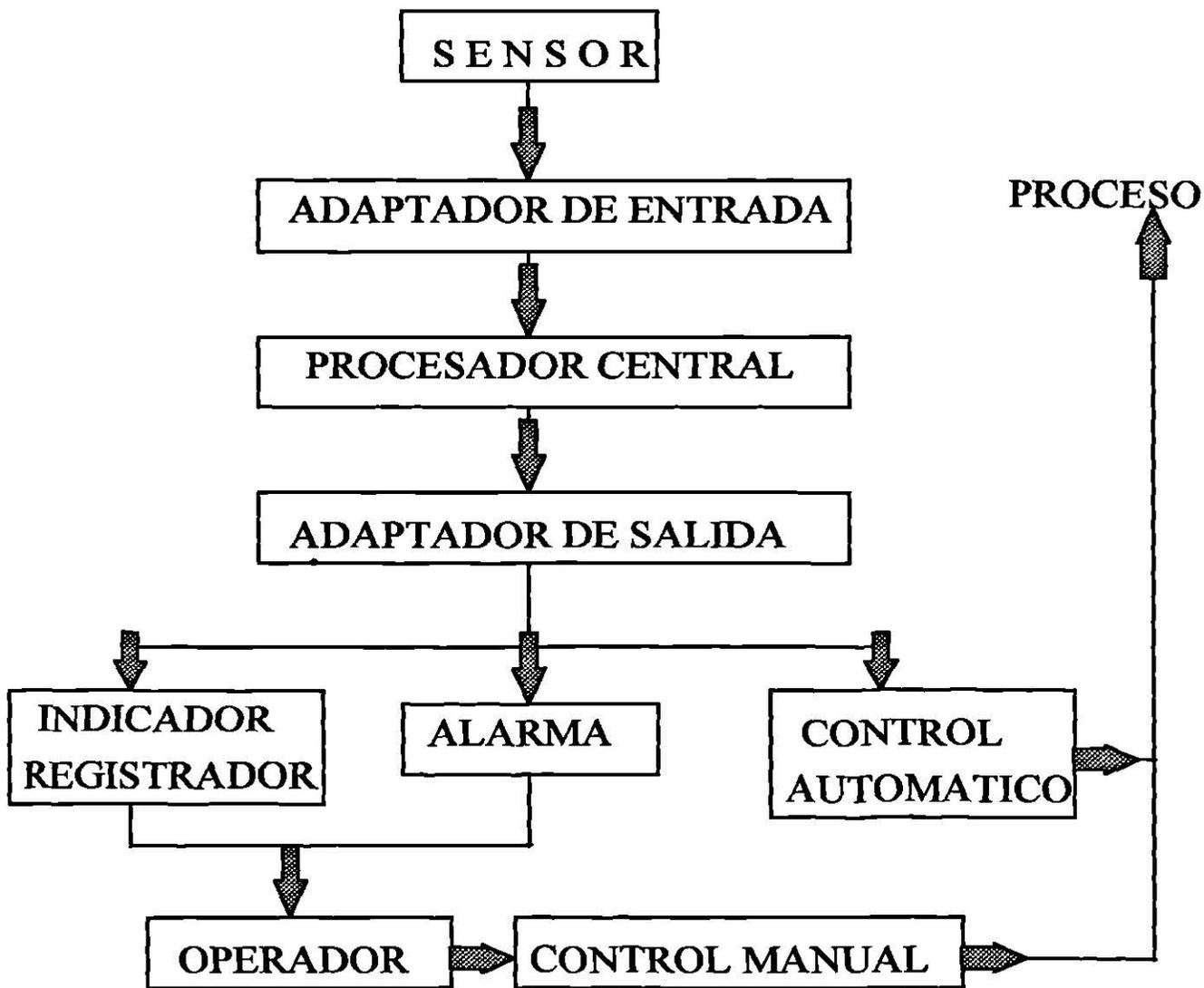
En este tema veremos la instrumentación de la Central Nuclear que es similar a la usada en Centrales convencionales, como puede ser la utilización de termopares para medir la temperatura.

En las últimas secciones veremos la instrumentación exclusiva de una Central Nuclear y que se refiere al control que se debe de ejercer con el reactor. Por una parte el monitoreo neutrónico y por otra la operación del sistema de barras de control.

CIRCUITO BASICO DE CONTROL.

El monitoreo de un proceso es la supervisión de éste por medio de instrumentos que detectan variación de los parámetros físicos involucrados en el proceso.

Un sistema de monitoreo lo podemos representar por medio de un diagrama en bloques como se muestra en la figura ,en donde ,cada bloque indica una función a realizar pero no necesariamente se trata de instrumentos diferentes, ya que un solo instrumento puede realizar todas las funciones, como la bayoneta para medir el nivel de aceite en algunas compresoras que realiza la función de Sensor hasta la del equipo de lectura, y en sistemas más complejos algunas funciones deben ser realizadas por más de un aparato. Ahora analizaremos cada bloque separadamente.



**DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE CONTROL
SENSORES.**

El sensor es la parte del sistema que ésta en contacto directo con el proceso. También se llama detector pero en nuestro caso preferimos esta palabra para los sensores de radiación.

La función del sensor es detectar las variaciones que se llevan acabo en el proceso y mandar una señal apropiada para que sea transformada por el sistema.

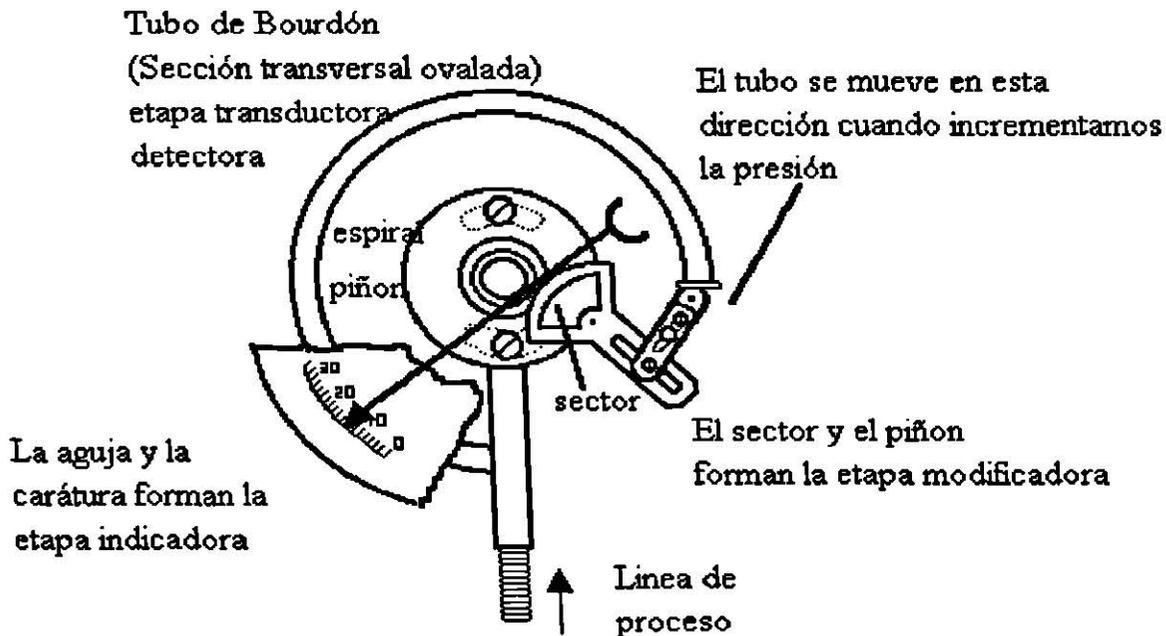
La detección se logra apartir de los parámetros físicos que intervienen en el proceso como puede ser la presión, temperatura, flujo, etc. Para cada parámetro utilizaremos sensores diferentes según el interés final del sistema de monitoreo.

SENSORES DE PRESION.

Dado que la presión es una fuerza producida por una unidad de área los sensores de presión transformarán un cambio de este parámetro en un cambio de posición. Siempre detectarán presiones relativas aunque nuestro Equipo de Lectura puede estar calibrado para darnos lecturas de presión absoluta.

El que utilizamos con mayor frecuencia es el Tubo de Bourdon. Este es muy simple y resistente y dependiendo de los materiales con lo que construyamos puede cubrir rangos desde 0 hasta 100,000 psia; así como vacíos desde 0 hasta 29.92 pulgadas de Mercurio.

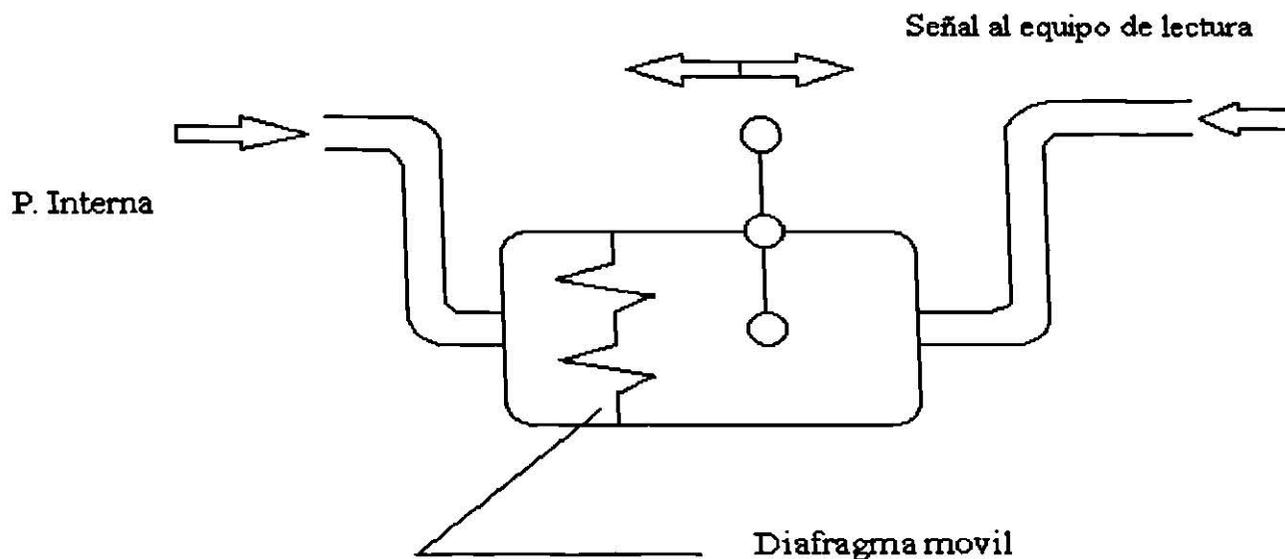
El tubo que es de forma circular y sección ovalada como se muestra en la figura se conecta al lugar donde se requiere medir la presión. Cuando la presión de proceso aumenta el tubo tiende a enderezarse y cuando la presión disminuye el tubo tiende a cerrarse. En su extremo podemos adaptar un sistema de medición a base de engranes, resortes y una aguja indicadora.



MANOMETRO CON TUBO DE BOURDON

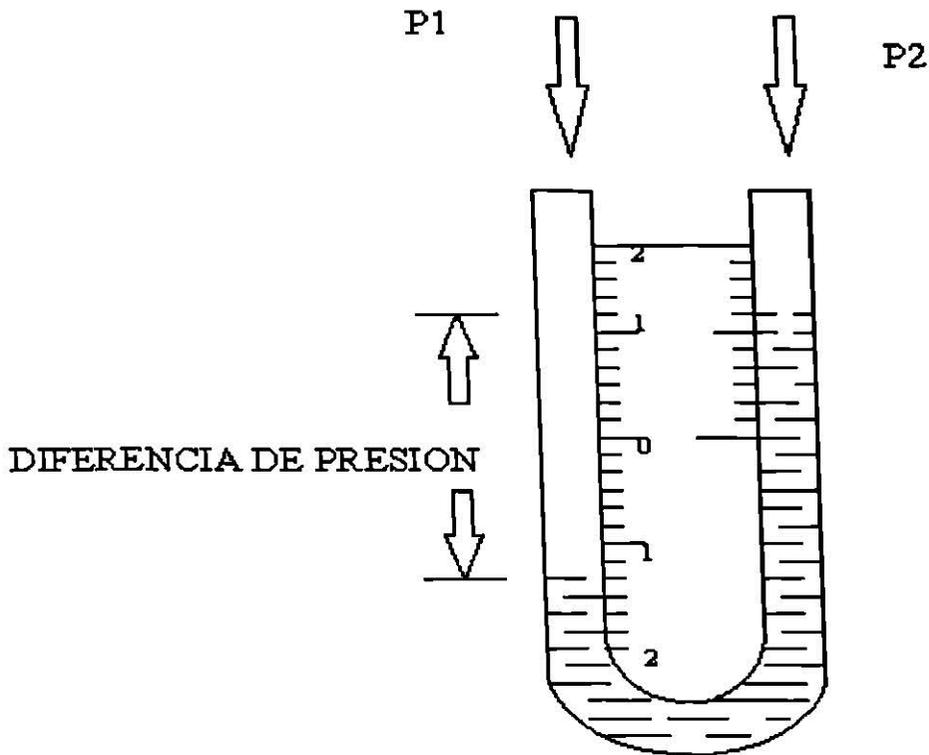
Otro sensor de Presión utilizado en muchos de los sistemas de instrumentación del reactor, es el del tipo de Diafragma Movil el cual se muestra en la figura. Este sensor tiene una mayor exactitud que el tubo de Bourdon.

La presión que se requiere detectar se conecta por un extremo de la celda del diafragma y por el otro se aplica una presión de referencia que, en muchos casos, es la atmosférica o el vacío. El Diafragma se moverá en respuesta a los cambios de presión de la celda lo que servirá de indicación por medio de una resistencia variable o algún sistema neumático.



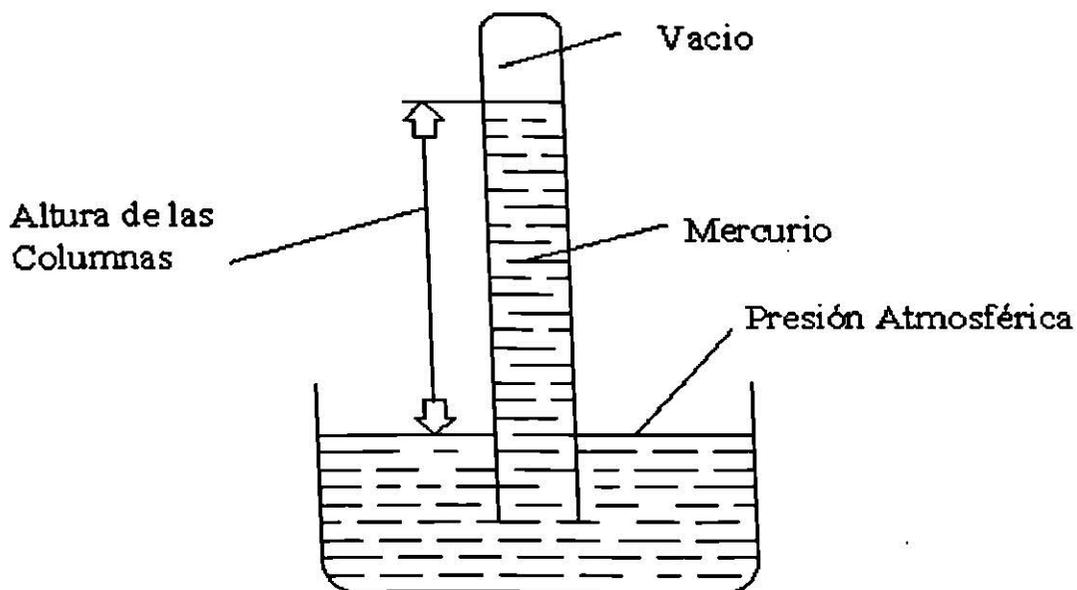
DIAFRAGMA MOVIL

La siguiente figura muestra el Manómetro de Tubo en U. Este sensor, como su nombre lo indica, es un tubo en forma de U. Una de las ramas del tubo se conecta al proceso y la otra parte a una presión de referencia. En su interior se introduce algún líquido que, debido a su densidad y a la diferencia de las presiones, se nivelará a distintas alturas en cada rama. Dependiendo de las presiones que vamos a detectar los líquidos más usados son mercurio, aceite o agua.



MANOMETRO DE TUBO ABIERTO

El Barómetro que a continuación se muestra es un sensor de presión pero este es el que tiene menos uso dentro de una Central ya que solamente nos detecta la presión atmosférica mediante un tubo vertical lleno de mercurio que se invierte en un recipiente también con mercurio. Las lecturas se dan directamente en milímetros de mercurio. La importancia de conocer la presión atmosférica es calibrar los diferentes sensores de Presión.

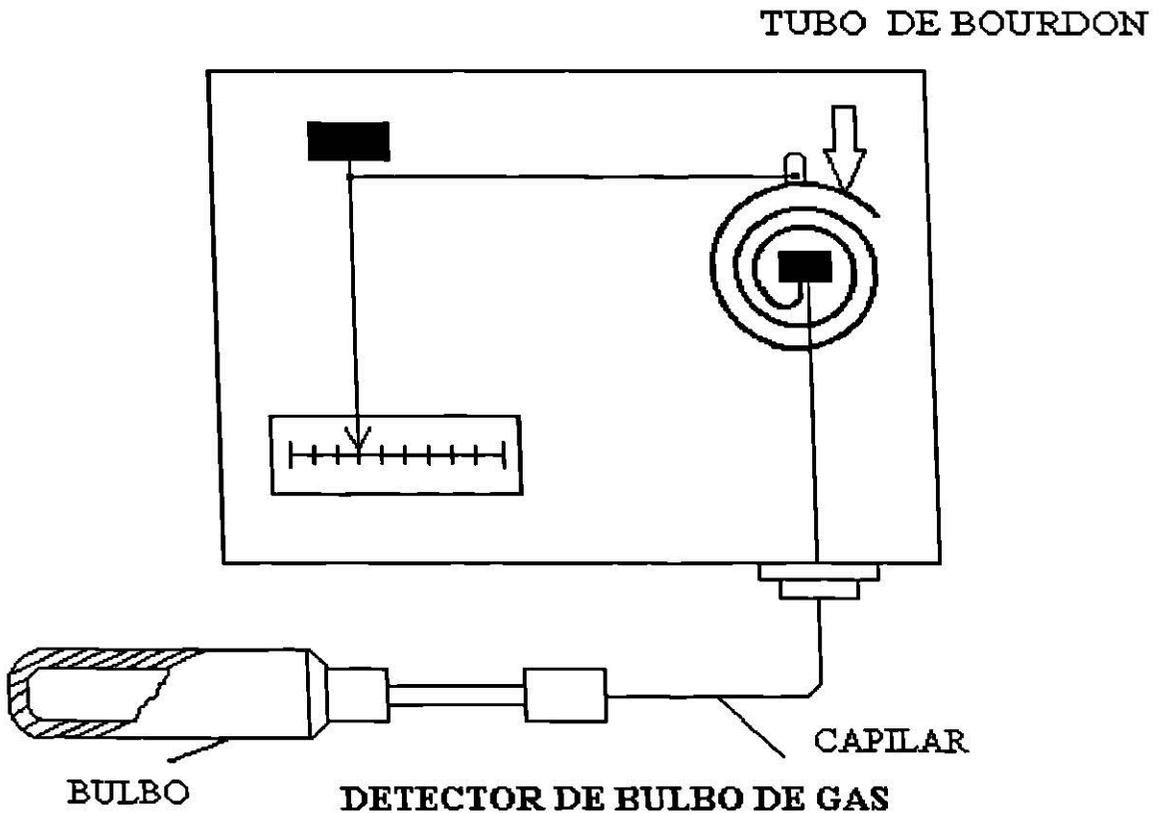


BAROMETRO

SENSORES DE TEMPERATURA.

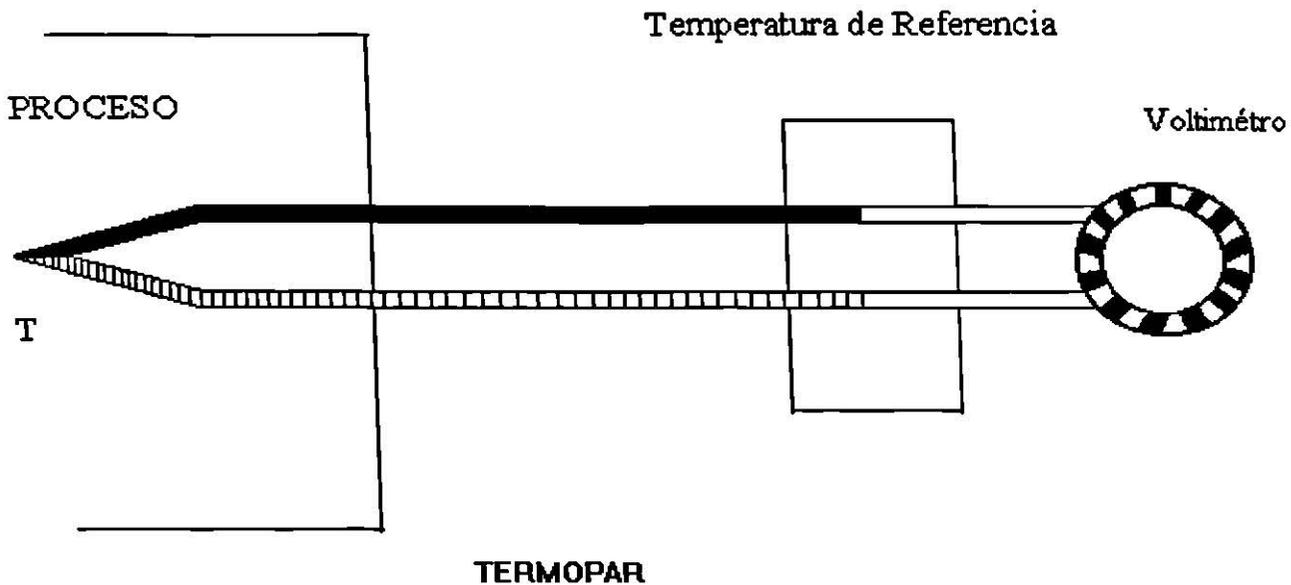
Dentro de la Central, es difícil encontrar termómetros de mercurio como los usados para medir la temperatura del cuerpo, ya que su rango es pequeño, hasta 400 °C, y su respuesta es muy lenta. En su lugar utilizamos otros sensores de temperatura como son los Bulbos de Gas y los Termopares que resultan más adecuados para los procesos que vamos a supervisar.

El Bulbo de Gas como se muestra en la figura, opera mediante el principio de cambio de presión del gas debido a la temperatura y acoplado a un detector de presión, como un Tubo de Bourdon, tendremos nuestro sistema de medición. Se puede utilizar desde temperaturas bajas hasta unos 550 °C pero normalmente su respuesta es lenta.



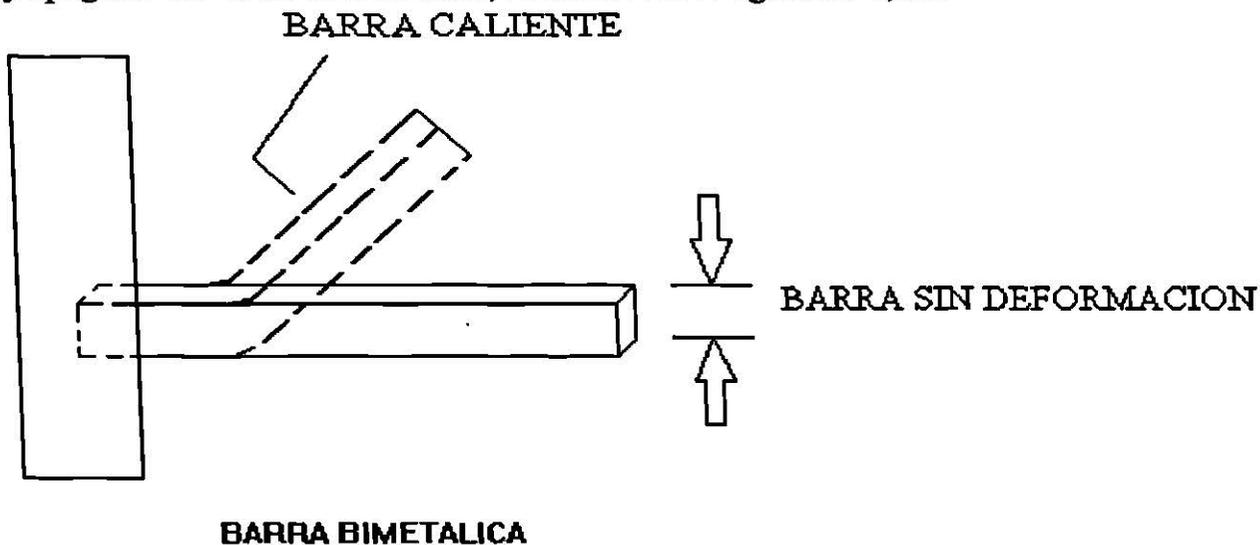
El termopar como se muestra en la figura, consta de dos alambres de aleaciones metálicas diferentes, unidos en un solo punto. Este se pone en contacto directo con el sistema que deseamos monitorear y los extremos opuestos de los alambres se conectan a una temperatura de referencia.

Su funcionamiento es el siguiente: la diferencia de temperatura entre las uniones de los dos alambres causan una diferencia de potencial proporcional a la temperatura que provoca una corriente eléctrica a través del circuito. Entonces, para medir la temperatura solamente debemos tener un medidor de voltajes. Generalmente éstos son del orden de medidores de Milivolts.



Los materiales usados para formar los termopares son hierro, constantán, cromel, almuel, etc. El par que utilizamos en cada proceso dependerá del rango de temperaturas más empleado por ser preciso, durable y de dimensiones pequeñas.

Otro sensor de temperatura utilizado es el de la Barra Bimetálica el cual es mostrado en la figura y consiste en la unión de dos barras de metales diferentes formando así una sola. Cuando se calienta, los dos metales tienden a expandirse de manera distinta por lo que la barra se patea. Generalmente lo usamos en termostatos para obtener señales de prendido y apagado como en calentadores, sistemas de refrigeración, etc.



Por último, mencionaremos los termómetros de resistencia que aprovechan la propiedad de los metales de cambiar su resistencia al paso de la corriente debido al cambio de temperatura. Su duración es mayor a la de los termopares, pero son más caros y más complicados debido a que debemos tener una fuente de voltaje externa, para determinar la resistencia.

SENSORES DE NIVEL.

El nivel se utiliza para la determinación indirecta del volumen. Cuando observamos la instrumentación de una Central de Potencial, no pensamos en el volumen, debido a que los tanques o recipientes de líquido mantienen una sección constantes; por lo que el cambio de volumen se puede detectar simplemente por un cambio de nivel.

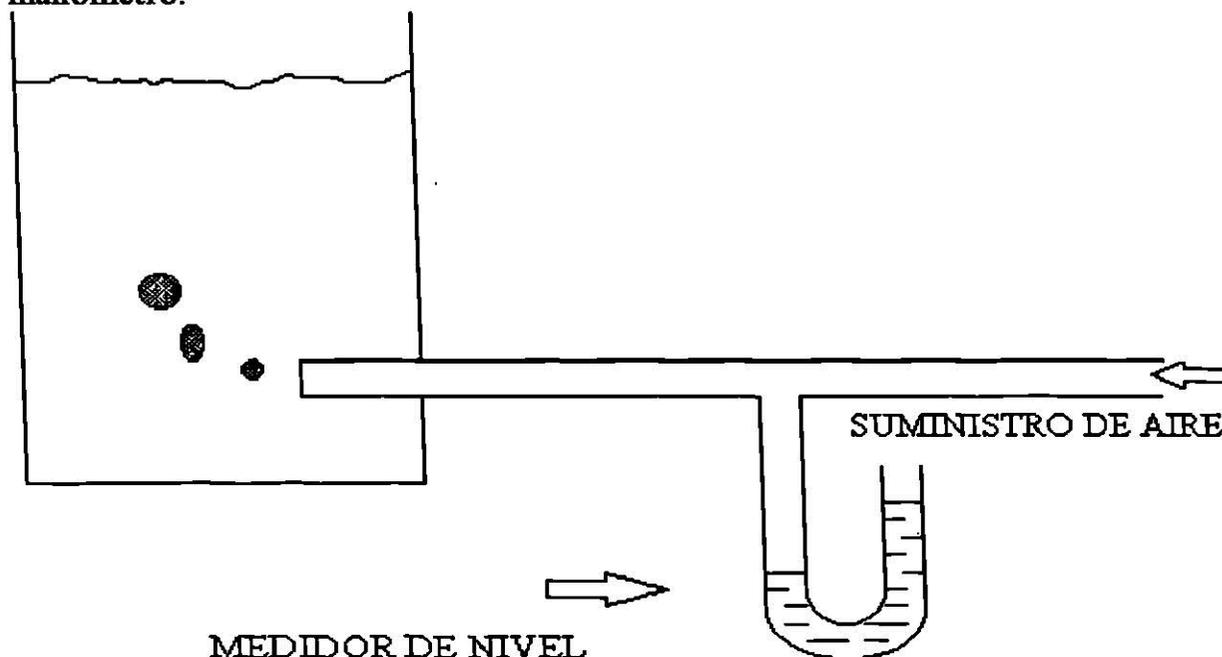
Los sensores más comunes para la determinación de nivel son los siguientes: Sonda Calibrada, Flotador de Presión, Burbujeador y Columna de Nivel.

La Sonda es el más sencillo, consta solamente de una varilla rígida o una cuerda que se sumerge dentro del contenedor donde queremos medir el nivel. Muchas veces la sonda permanece dentro del recipiente para conocer en todo momento el nivel en una forma directa.

El flotador es un elemento que permanece siempre en la superficie del líquido y nos sirve en caso donde no observamos directamente el recipiente ya que la posición del Flotador puede conocerse por medio de un sistema de cuerdas y poleas o por una señal eléctrica. También es empleado para abrir y cerrar una válvula para mantener el nivel en tanques de almacenamiento.

Debido a que la presión ejercida por un líquido en un recipiente es proporcional a la altura y la densidad del líquido. En base a esta propiedad construimos sensores de nivel de presión. Es importante que el líquido no varíe su densidad ya que esto implica errores en la medición.

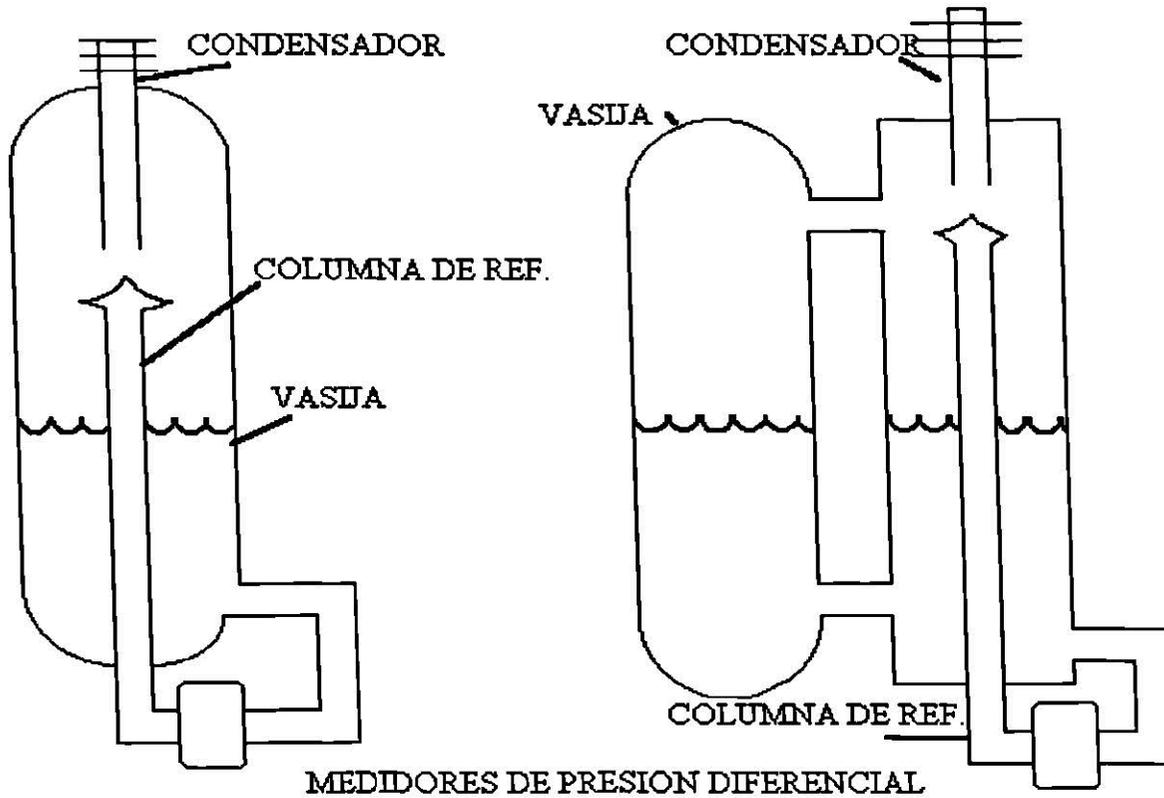
El burbujeador también funciona midiendo presión pero en su caso inyectamos aire en el fondo del recipiente y medimos la presión que ejerce éste en la tubería por medio de un manómetro.



BURBUJEADOR

La columna de nivel es un pequeño tubo transparente conectado al recipiente en la parte inferior. El nivel de la columna se iguala con el nivel del tanque.

Todos los sensores del nivel que hemos mencionado se utilizan para casos en que la temperatura y la presión son relativamente pequeñas. En caso de trabajar con alta temperatura o presión, como el caso de un reactor BWR, usamos la columna de Tubo Vertical externo o interno.



MEDIDORES DE COLUMNA

En ambos casos se tiene una columna de referencia y una celda diferencial de presión que mide la diferencia de presión entre la columna y la ejercida por el líquido dentro de la vasija.

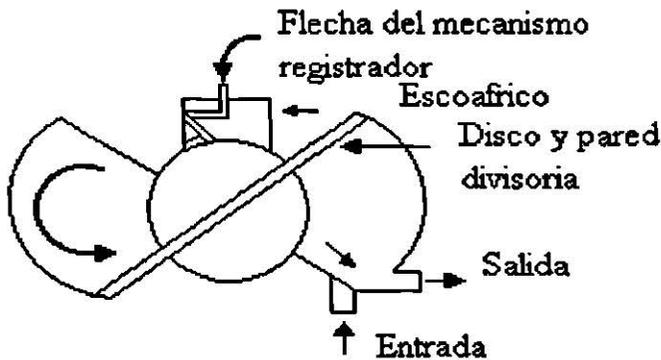
Otros sensores de nivel que empleamos con menos frecuencia son los de conductividad eléctrica, capacitancia, rayos gama y ultrasónicos.

SENSORES DE FLUJO.

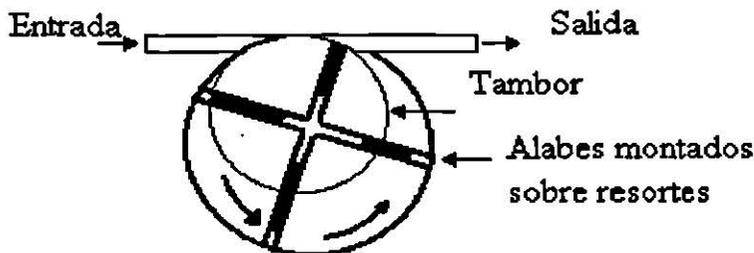
El flujo es otro parámetro de gran interés en la Central ya que, en todo momento debemos conocer la cantidad de agua de alimentación, de vapor a la salida del reactor, etc. Los sensores empleados son: de Desplazamiento Positivo, Obstrucción de Flujo, Rotámetros y Tubo de Pitot.

Los medidores de flujo de Desplazamiento Positivo se usan generalmente en aquellos procesos donde deseamos gran exactitud bajo condiciones de flujo en estado estable y para líquidos limpios para evitar problemas de incrustaciones de impurezas insolubles en el eje de giro. Veamos algunos ejemplos:

La siguiente figura muestra un medidor de Disco Nutante. Este se compone de una cámara en cuyo interior se encuentra una pieza formada por un disco con una esfera en el centro y montado en un eje inclinado conectado al eje del contenedor. Al pasar el fluido a través de la cámara causa que el disco "baile" y la velocidad de giro sea proporcional al flujo.



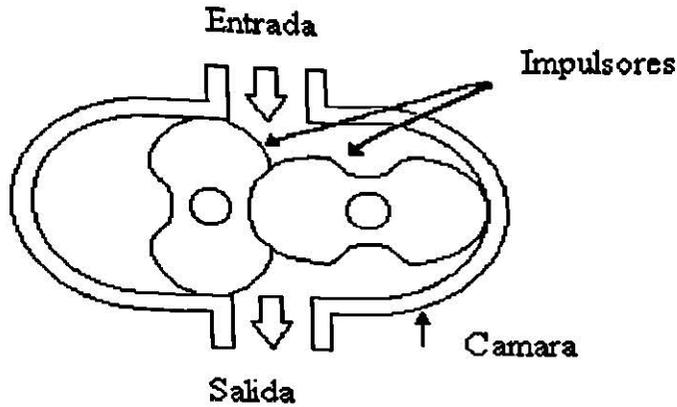
DISCO NUTANTE



ALABES ROTATORIOS

Otro sensor de desplazamiento positivo es el de Alabes Rotatorios. Es un hélice que tiene su eje paralelo a la dirección del flujo. Su ventaja principal es que causa una pérdida de presión muy pequeña y generalmente se emplea para líquidos.

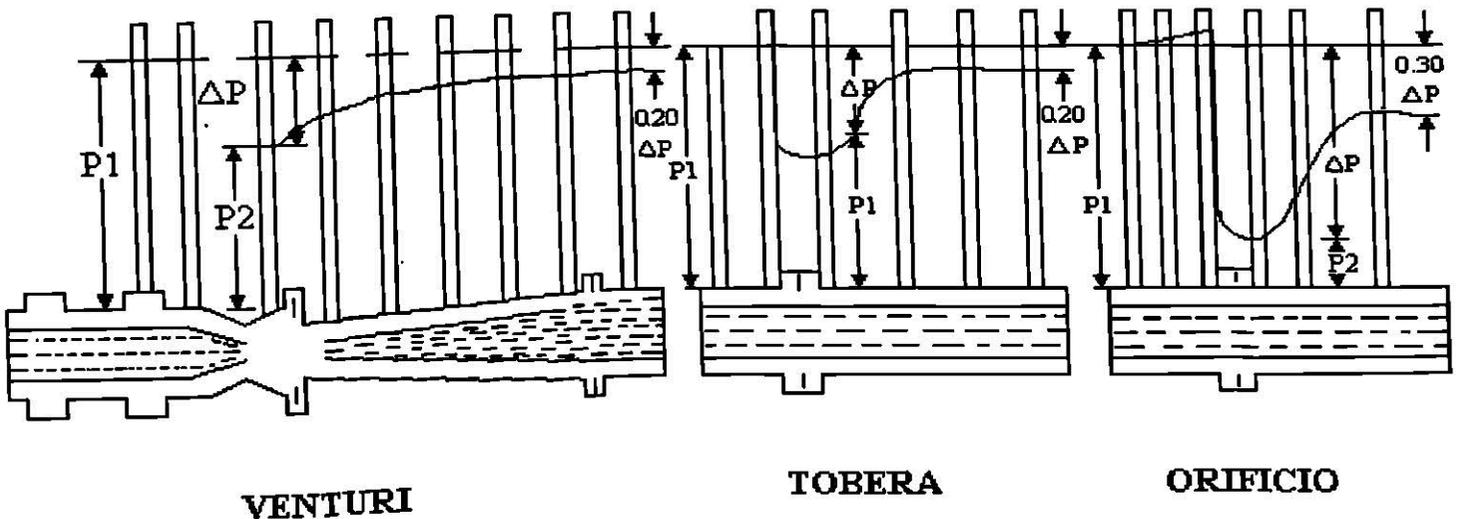
Para el caso de gases se emplea un tercer tipo de sensor que es el Medidor de Lóbulos mostrado en la figura. Al pasar el gas los lóbulos giran en sentido inverso y uno estará atrapando una cantidad de gas mientras que el otro expulsa una cantidad similar.



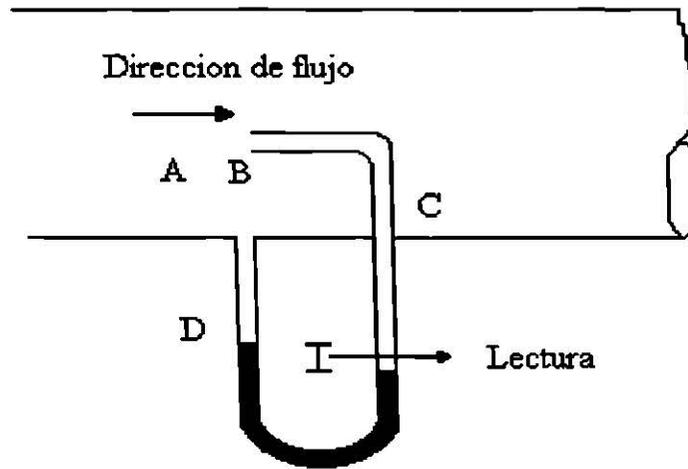
IMPULSORES DE LOBULOS

Los sensores por obstrucción de Flujo operan bajo el principio de restricción de diámetro de la tubería. Lo que causa un cambio de presión proporcional a la magnitud del flujo.

A continuación se muestra los tres medidores típicos por obstrucción. El Venturi ofrece las ventajas de alta exactitud y pequeñas pérdidas de presión, mientras que el medidor de Orificio tiene un costo considerablemente bajo. Los medidores de Tobera y de Orificio producen una gran pérdida neta de presión porque crean turbulencias en el flujo. Los tres funcionan tanto para gases como para líquidos.

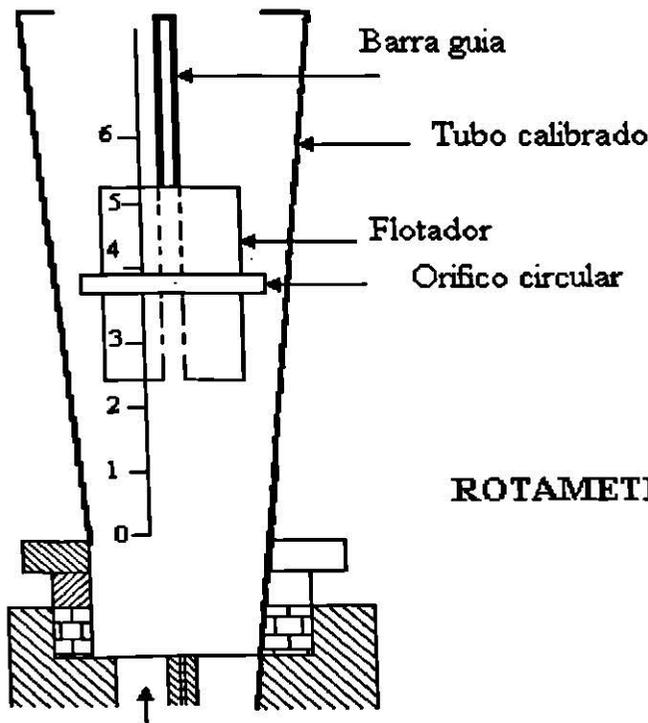


El tubo de Pitot lo utilizamos en casos de flujos elevados. El tubo consta de dos ramas, una en una dirección perpendicular al flujo que mide presión estática y la otra en la misma dirección del flujo que mide presión estática más dinámica. Colocando una celda diferencias de presión, conocemos la presión dinámica la cual es proporcional al flujo.



TUBO DE PITOT

El rotámetro consta de un tubo vertical de vidrio, cuya sección transversal aumenta con la altura, y un flotador libre. Debido a esto la presión diferencial que se produce al paso del fluido varía en forma proporcional al cuadrado del área y al cuadrado del flujo. El flotador es empujado hacia arriba debido al paso del fluido, hasta que el empujo producido por la presión diferencial sea igual al peso del flotador.



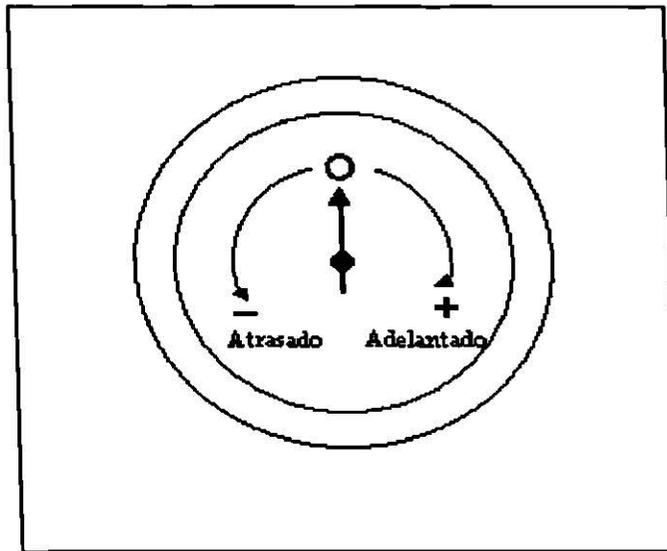
ROTAMETRO

SENSORES ELECTRICOS.

En su mayoría, los sensores que utilizamos para determinar posición, aceleración, velocidad, etc. son eléctricos. Todos ellos se reducen a transformadores de corriente o de voltaje; lo que varía en cada caso es el sistema de medición.

Como ejemplo podemos mencionar los llamados tacómetros que utilizamos para sincronizar la frecuencia del voltaje del generador con la de la red.

En la figura se muestra el indicador de un sincronoscopio. Cuando las frecuencias son similares la aguja queda estática y cuando todo el sistema está en fase, la aguja apuntará hacia arriba.



SINCROSCOPIO

PROCESADOR CENTRAL.

EL procesador Central o Controlador es el que procesa la señal del sensor y da una respuesta para ser ejecutada por otro aparato. Este puede ser un Equipo de Lectura o equipo que actúe sobre el proceso para influir en él.

El controlador realiza su trabajo por medio de diversas funciones como:
Banda Proporcional, Ganancia, Reajuste, Derivada, etc.

El parámetro físico mediante el cual supervisamos un proceso siempre tiene un punto normal de operación que llamamos punto de Ajuste. EL controlador asigna una señal de salida normal correspondiente al punto de Ajuste, para que en caso de que la señal de entrada sea diferente también lo sea la señal de salida.

La Banda Proporcional es la relación de la señal de entrada entre la señal de salida expresada en por ciento.

Por ejemplo una B.P del 100 % significa que para un cambio de una unidad en la señal de entrada habrá un cambio de una unidad de la señal de salida. Si la B.P. es igual a 200%, habrá un cambio de media unidad en la señal de salida por cada unidad de cambio en la de entrada; para una B.P de 50%, corresponde a cada unidad de cambio a la entrada un cambio de dos unidades de salida.

Una Banda Proporcional ancha es aquella que es mayor al 100%. Su característica principal es dar estabilidad pero no registra cambios en la entrada.

En el caso contrario, una B.P. menor al 100%, la llamamos estrecha y registrará toda señal de entrada,pero no tendrá estabilidad. En el Controlador podemos elegir la B.P. que nos convenga en cada caso por medio de un cambiador de escala.

El término Ganancia se emplea muchas veces en lugar de la B.P. Solamente que es la relación inversa sin ser un porcentaje.

Si queremos obtener solamente una lectura del proceso, es suficiente la B.P. pero si queremos tener un control automático que actúe sobre el proceso debemos agregar al controlador la Función de Reajuste.

Veamos un ejemplo: existe una válvula regulada por presión, para un suministro de vapor, que posee un punto de ajuste de 150 psi y una B.P. del 30%. La válvula se encuentra completamente abierta con una presión menor o igual a 3 psi y cerrada cuando alcance una presión de 15 psi.

Al principio la presión de la línea es menor a 150 psi y la válvula está completamente abierta.

Cuando alcanza la presión de 150 psi, obtenemos la presión del punto de ajuste y la señal de salida es cero, por lo que la válvula continúa abierta totalmente y seguirá aumentando la presión.

A los 151 psi, habrá en la entrada un cambio de 1 psi. Con la B.P. del 30%, obtendremos, a la salida, una señal de 3.33 psi por lo que la válvula comienza a cerrarse, pero la presión de la línea continúa subiendo.

Para que la válvula cierre completamente, es necesario un aumento de 4.5 psi en la señal de entrada; es decir, cuando la línea alcance una presión de 154.5 psi.

Aquí vemos que, aunque nuestro punto de ajuste se encuentra a 150 psi el controlador sólo actúa sobre la válvula entre 151 y 154.5 psi.

Para poder tener un control automático es necesario agregar al controlador la función de Reajuste. Esta función consiste en repetir la señal para llegar más rapido al punto de ajuste, la designamos en repeticiones por minuto

Así, volviendo a nuestro ejemplo, cuando la presión alcanza los 151 psi la salida será de 3.33 psi y la válvula comenzará a cerrar. Aún cuando la presión no cambie, después de un tiempo, se aplicarán otros 3.33 psi a la válvula y así hasta alcanzar los 15 psi necesarios para cerrarla sin necesidad de llegar a los 154.5 psi.

La función de reajuste nos ayuda a acelerar el proceso hacia el punto de ajuste, pero no estabiliza el proceso en ese punto. Para estabilizarlo, se agrega la función de Derivada que no hace más que tomar la diferencia de la señal de entrada y salida para cambiar la señal de acuerdo al punto de ajuste.

ADAPTADORES DE SEÑAL.

En el diagrama de control que viene en la primera parte del tema vimos que existe un adaptador de entrada y un adaptador de salida. La función de ambos es adecuar la señal entre dos aparatos.

El adaptador de entrada recibe la señal del sensor la cual puede traer ruido (interferencia) o no tener la forma adecuada para que la procese el Controlador. Entonces, lo que hace el adaptador es eliminar el ruido y dar la forma apropiada a la señal.

En cambio la señal de salida del controlador, generalmente, tiene la forma adecuada pero no la potencia necesaria para un actuador. En este caso lo que hace el adaptador de salida es proporcionar la potencia necesaria a la señal sin necesidad de rectificarla.

EQUIPO DE LECTURA.

El equipo de lectura está formado por todos los aparatos que nos den una indicación del comportamiento de un proceso, en general son Indicadores y Registradores.

Los indicadores más sencillos son aquellos que solamente indican dos posiciones (abierto y cerrado) o dos comportamientos distintos. Esto puede ser por medio de luces que sólo encienden en una de las dos posiciones.

Por ejemplo las alarmas, cuya función es indicar un modo anormal de operación, utilizan sistemas redundantes para llamar la atención del operador. Generalmente por medio de una señal visible y una auditiva.

En algunos procesos es necesario conocer puntos intermedios por lo que debemos emplear indicadores con una escala continua ya sea por medio de una aguja o usando aparatos digitales que son más fáciles de leer. Pero en el caso de operación, los indicadores de aguja nos dan mayor información ya que a la vez que leemos el estado del proceso vemos como varía y cual es la tendencia hacia algún evento.

Los registradores son, en general, más caros y requieren un mantenimiento más cuidadoso y continuo. Por tal razón, sólo los empleamos en casos donde necesitamos tener toda la historia de cierto proceso para facilitar la labor del operador.

En el caso de una Central Nuclear existe la llamada Computadora de Proceso que es un sistema auxiliar para ayudar al operador proporcionándole la información necesaria cuando la requiera.

La computadora toma datos de prácticamente todos los parámetros de la Central los almacena, procesa, y edita. También edita una serie de relatorios de operación periódicamente y ejecuta el balance térmico de la planta.

Es importante señalar que la computadora de Proceso no ejerce control alguno sobre los procesos y solamente es importante por la información que suministra.

DISPAROS.

Un disparo es una función que sirve de protección al equipo al sacar un sistema de operación en caso de algún evento anormal que pudiera causar daños al sistema.

Todo disparo viene precedido por una alarma que indica al operador que el proceso se acerca a un punto anormal y con el tiempo suficiente para que pueda actuar y, si es posible, evitar que se llegue al punto de disparo corrigiendo la anomalía del proceso.

MONITOREO NEUTRONICO.

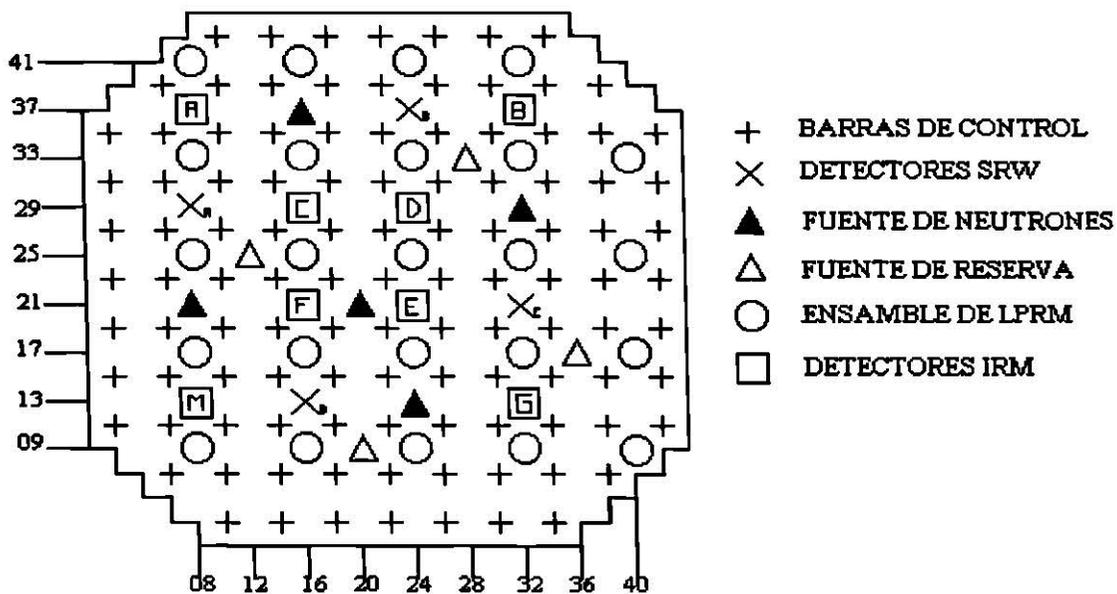
Para el control del reactor debemos conocer en todo momento el flujo de neutrones, que es proporcional a la potencia del reactor. En el caso del BWR los detectores de neutrones son cámaras de fisión.

El rango que se debe cubrir es muy extenso, desde el apagado hasta plena potencia que equivale a un flujo de 10 a la 4 nv ($nv = n/cm^2 \text{ seg}$). Para cubrir el rango tan amplio se usan diferentes sistemas, cada uno funcionando en rangos distintos para tener un mejor control y mayor seguridad.

Los sistemas de monitoreo son: Monitores de Rango de Fuente (SRM), Monitores de Rango Intermedio (IRM), Monitores de Rango de Potencia Local (LPRM) y Monitores de Potencia Promedio (APRM).

MONITORES DE RANGO DE FUENTE (SRM).

Este sistema está compuesto por cuatro detectores de fisión de U 235 enriquecido al 90% y funcionan en un rango de 1×10^3 nv a 1×10^9 nv. Su localización dentro del núcleo se muestra en la Figura. La posición vertical depende de la función del SRM; cuando el reactor se encuentra dentro de su rango de localización es 18 pulgadas por encima del centro del núcleo del reactor y en rangos mayores el detector baja hasta llegar a una posición de 30 pulgadas por debajo de la zona activa del núcleo. En esta posición el detector sigue funcionando pero ahora solamente como indicador de período.



DISPOSICION DE LOS DETECTORES DE NEUTRONES Y BARRAS DE CONTROL

Los propósitos de los SRM son:

- 1.- Vigilar y registrar el flujo neutrónico en el núcleo del reactor durante las condiciones de paro, recarga y arranque hasta un translope con el sistema IRM para alcanzar criticidad y poder elevar la potencia en forma segura.
- 2.- Indicar el período del reactor desde la condición de paro hasta la operación de potencia.
- 3.- Producir una señal de bloqueo de barras de control por alto flujo neutrónico, operación inadecuada o mal funcionamiento del detector.
- 4.- Producir señal de SCRAM durante las operaciones de recarga de combustible.

MONITORES DE RANGO INTERMEDIO (IRM).

Este sistema consta de 8 detectores iguales a los SRM pero de menor sensibilidad. Su rango de operación es de 1×10^{-8} nv a 1.5×10^{-13} nv. Su posición se muestra a continuación. También son retráctiles, es decir se sacan del núcleo cuando están en operación para evitar el quemado de Uranio y prolongar su vida.

Sus funciones son las siguientes:

- 1.- Entrar en operación antes de que el SRM salga de su rango.
- 2.- Estar en operación cuando comience a funcionar el LPRM.
- 3.- Generar una señal de disparo para un bloqueo de barra si la lectura excede cierto valor o si no opera correctamente.

4.- Generar una señal de disparo para prevenir daño del combustible debido a una operación anormal transitoria en el rango intermedio.

MONITORES DE RANGO DE POTENCIA LOCAL (LPRM).

El subsistema de Potencia LPRM está formado por 24 ensamles, de 4 detectores cada uno, localizados en el espacio de agua entre los ensamblajes de combustible donde no hay barras de control. Entre cada uno de los 4 detectores de un ensamble hay un espaciamiento de 37.5 in y el inferior se encuentra en una altura de 18.75 in del fondo de la región activa del núcleo. Todos los detectores son cámaras de fisión con Uranio enriquecido al 90%.

El LPRM se relaciona con el subsistema APRM y sus funciones son:

- 1.- Enviar una señal proporcional al flujo local de neutrones al subsistema APRM para asegurar la medición de la potencia promedio del reactor.
- 2.- Enviar señal al subsistema de Monitoreo de Bloqueo de Barra (RBM) para medir los cambios relativos del flujo local de neutrones producidos por el movimiento de las barras de control.
- 3.- Accionar una alarma que indique condiciones de alto o bajo flujo local de neutrones.
- 4.- Enviar señales de flujo local de neutrones a la computadora de proceso para calcular el flujo de calor y el quemado de combustible.
- 5.- Enviar señales a los medidores y dispositivos auxiliares usados por el operador para evaluar la distribución de potencia, flujo térmico local y quemado del combustible.

MONITORES DE RANGO DE POTENCIA PROMEDIO (APRM).

EL subsistema APRM está formado por 6 canales que nos permiten conocer la potencia promedio del reactor y tener un mejor control. Cada uno de los canales del APRM toma la señal de 24 detectores LPRM y las promedia, esto significa que algunos detectores alimentan a más de un canal. Su rango de funcionamiento es de 1×10^{12} nv a 1×10^{14} nv.

Las funciones del APRM son:

- 1.- Proporcionar una indicación continua y un registro permanente de la cantidad de potencia térmica en el núcleo.
- 2.- Iniciar disparos de SCRAM cuando la potencia del reactor alcanza o excede los límites establecidos en los límites de seguridad.
- 3.- Enviar señales de bloqueo de extracción de barra cuando la potencia del reactor excede los límites establecidos para prevenir un SCRAM.
- 4.- Proporcionar una referencia del nivel de potencia para usarla en el subsistema de monitoreo de sistema de bloqueo de barra.

SISTEMA DE BARRAS DE CONTROL.

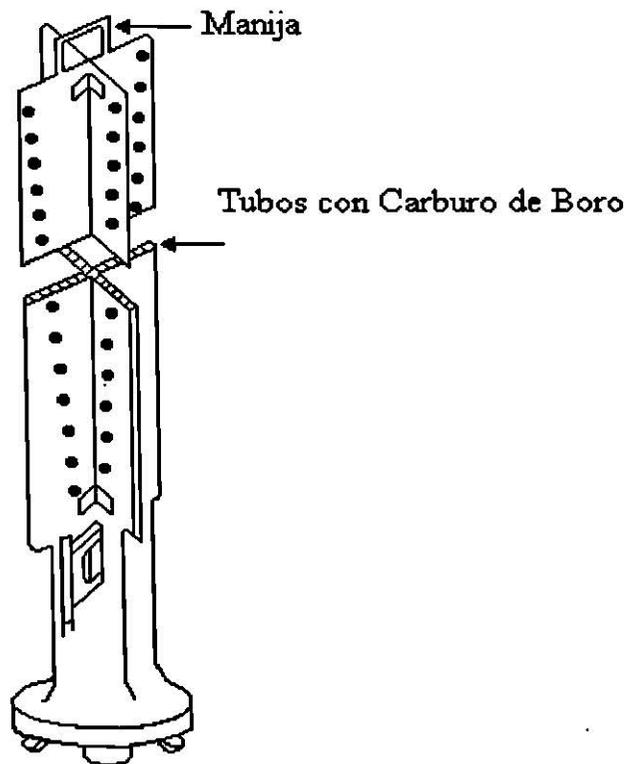
La forma principal de variar la potencia del reactor se realiza por medio del sistema de barras de control. Estas son cruciformas y en su interior contienen tubos llenos con carburo de boro.

En el caso de la Central Laguna Verde existen 109 barras de Control cuya localización se muestra en la figura. El operador controla el reactor conociendo la potencia y moviendo una sola barra a un tiempo, por lo que debe elegir la que de mejores resultados.

Durante el arranque y la operación hasta el 30% de la potencia del reactor, funciona un sistema de respaldo con el fin de limitar el valor de la barra y evitar un daño al sistema primario de enfriamiento y al combustible.

A este sistema se le llama Minimizador de Valores de Barra (RWM) y obliga al operador a seguir una secuencia determinada de extracciones o inserciones de barras de control.

En caso de que el operador se desvíe de la secuencia el RWM hará funcionar una alarma y bloquear las barras hasta que se corrija el error.



BARRA DE CONTROL

