

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Quimica

**AUTOMATIZACION DE UN FERMENTADOR
EN UNA PLANTA DE ANTIBIOTICOS**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a:

FRANCISCO AMEZCUA CERDA

México, D. F.

1970



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

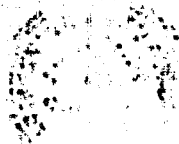
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES

**con profundo agradecimiento
a sus sacrificios**

A MIS HERMANOS



Para quien fui:

**Alumno
Compañero**

**Mi agradecimiento a las autoridades
técnicas y administrativas de
FERMIC, S. A. de C. V.
por las facilidades concedidas para
este estudio en su planta**

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

PRESIDENTE: Q. Julio Terán Zavaleta

VOCAL: Ing. Fernando Bonilla Sort de Sene

SECRETARIO: Q.F.B. Guadalupe Velez Pratt

1er. SUPLENTE: Ing. Octavio Figueroa A.

2do. SUPLENTE: Q.F.B. Alfredo Garzón Serra

SITIO DONDE SE DESARROLLA EL TEMA:

PERMIC, S. A. DE C. V.

FRANCISCO AMEZCUA CERDA

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
CAPITULO I LAS FERMENTACIONES EN LA INDUSTRIA	3
CAPITULO II PROCESOS INDUSTRIALES	8
CAPITULO III FACTORES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIO- NAMIENTO DE UNA FERMENTACION	12
CAPITULO IV DIAGRAMA DE UN FERMENTADOR TIPICO PARA FERMENTACIONES AEROBIAS	31
CAPITULO V REQUERIMIENTOS DE CONTROL AUTOMATI- CO PARA UNA FERMENTACION DE TIPO - SEMICONTINUO	40
CAPITULO VI DISPOSICION GENERAL DE LOS APARA-- TOS Y REQUISITOS PARA EL CORRECTO- FUNCIONAMIENTO DE LOS MISMOS, EN - EL CONTROL AUTOMATICO	137
CAPITULO VII DIAGRAMAS Y COSTOS	148
CAPITULO VIII CONCLUSIONES	161
BIBLIOGRAFIA	165

INTRODUCCION

Con el estudio de las fermentaciones comenzó el desarrollo de las industrias que utilizan productos provenientes de la reproducción de microorganismos, que en una u otra forma, dependiendo del tipo de fermentación, dan lugar a reacciones más o menos complejas y del resultado de éstas, el producto deseado.

El propósito de este estudio, no es la investigación -- del desarrollo de las fermentaciones, sino que se da solamente una idea general de las mismas, principalmente la del tipo aerobia semicontinua.

Se pretende, en este caso, establecer un control por medio de instrumentos automáticos, del proceso de fermentación, - el cual requiere de gran exactitud en la medición de sus variables durante el periodo fermentativo desde su iniciación hasta su terminación. Por esta razón, de la mayor o menor variabili-

lidad en el rango del control de cualquiera de las variables, - dependerá en gran parte la mayor o menor producción.

La importancia en el desarrollo de este tema tiene los siguientes puntos de vista: unas veces por razones de control - exacto y preciso, y otras económicas.

Se consideran también aspectos básicos del control auto mático, así como la disposición general de los instrumentos pa- ra su correcto funcionamiento.

Por último, se hace un breve estudio económico comparan do el costo de operación con el control por instrumentos auto máticos y sin el mismo.

CAPITULO I

LAS FERMENTACIONES EN LA INDUSTRIA

Generalidades

GENERALIDADES

La fermentación, como proceso de fabricación de diversos productos basados en la fermentación alcohólica de azúcares realizada por levaduras, se conoce desde hace mucho tiempo. Se había descrito la fermentación como la transformación de glucosa y bióxido de carbono. Gay-Lussac observó que la reacción:



describía toda la reacción; más tarde se demostró que el fenómeno de las fermentaciones involucra la participación de células vivas estableciéndose posteriormente que la fermentación estaba indisolublemente unida a la vida de las células.

Todas las células, ya sea aisladas (bacterias) u organismos pluricelulares, desde los más simples hasta los más complejos, necesitan energía para su vida. Esta energía la derivan ellas mismas a través de sus procesos vitales que en conjunto reciben el nombre de metabolismo. Este metabolismo es un conjunto de procesos (reacciones químicas) que efectúa la célula para asimilar las sustancias nutritivas que se le proporcionan y para fabricar su propio material celular. A través de estas reacciones la célula va obteniendo energía química.

Hablando en términos simples, la célula produce energía formando enlaces químicos con alto contenido de energía (que al hidrolizarse liberan gran cantidad de energía química que puede ser utilizada para otras reacciones que, a su vez, necesitan -- una aportación de energía especial para llevarse a cabo); estos enlaces se forman por procesos acoplados en los que una sustancia (metabolito) inicia su degradación a través de una serie de reacciones químicas y en ciertos pasos de este proceso se transforman los enlaces ricos de energía, que viene a ser como la -- fuente de energía de la célula que posteriormente gastará, como se ha descrito.

Con respecto al abastecimiento de oxígeno, Pasteur hizo descubrimientos decisivos acerca de los dos tipos de fermentación que se conocen, y las actividades químicas de los microorganismos. Demostrando que la aparición del alcohol a partir de la glucosa por las levaduras era un proceso que no requería la participación de oxígeno atmosférico, es decir, es un proceso - "anaerobico"; tal es el caso de las fermentaciones alcohólicas, como la del butanol-acetona, y la del ácido láctico.

Esto hizo generalizar la creencia de que las fermentaciones son una capacidad de los microorganismos para obtener -- energía de la glucosa en ausencia de oxígeno, como la llamó Pasteur, la fermentación está asociada a "la vie sans air". Pero-

los estudios de Pasteur fueron más allá; reconoció asimismo que las células vivas que requieren oxígeno normalmente para su desarrollo, también poseen la capacidad para derivar energía a -- partir de la degradación de la glucosa en condiciones "aerobi--cas". Más tarde, mediante trabajos realizados durante cien --- años, se demostró ampliamente lo correcto de las observaciones de Pasteur, respecto a que las células aeróbicas pueden llevar a cabo verdaderas fermentaciones, así como oxidaciones aeróbi-- cas de la glucosa y otros metabolitos.

Es a partir de entonces que se establece definitivamente la diferencia entre los dos procesos fermentativos que químicamente tenían la diferencia básica de emplear o no el oxígeno-atmosférico para el proceso celular.

Lo que se llama "fermentación" en bioquímica, es un proceso de degradación de sustancias que entran a la célula, en la cual se acumula una cantidad considerable de energía.

En términos generales, la fermentación puede ser definida como un proceso metabólico anaerobio que produce energía a través de reacciones, en las cuales las mismas sustancias orgánicas que están siendo transformadas actúan como donadoras y --ceptoras de electrones.

Los microorganismos utilizados como productores indus--

triales de diversas sustancias derivan la mayor parte de su -- energía precisamente de la fermentación. Sin embargo, este proceso no es el único que realizan, ni todas las sustancias que producen van a derivar únicamente de la fermentación. Los demás procesos (o vías metabólicas) están en cierta forma acoplados entre ellos, incluyendo la fermentación para el aprovechamiento de la energía.

En resumen, el microorganismo "come" azúcares y otras - sustancias, produciendo en nuestro caso particular antibiótico y subproductos de menor importancia.

Hablando en estos términos, las fermentaciones de actinomicetos, como es el caso de la producción de tetraciclinas, - penicilinas, etc., no es más que una forma de llamar a los procesos en conjunto, por los cuales, los actinomicetos que producen los antibióticos toman su energía del proceso de degradación de los azúcares y sustancias que entran en la composición de su comida y la invierten en los procesos de síntesis (principalmente en la fabricación del antibiótico), cuyo producto es - el que se obtiene en el reactor-fermentador que se utilizó para el presente estudio.

CAPITULO II

PROCESOS INDUSTRIALES

Fermentaciones continuas
Fermentaciones semicontinuas
Fermentaciones discontinuas

Las fermentaciones de tipo industrial pueden calificarse en: continuas, semicontinuas y discontinuas.

FERMENTACIONES CONTINUAS

En éstas, todos los nutrientes y los factores que afectan la producción son controlados de manera continua. Desde un punto de vista económico, la fermentación continua representa lo óptimo teóricamente, pero la práctica nos indica que existen muchas dificultades para su realización. La mayoría de las industrias que fabrican antibióticos no utilizan la fermentación continua por razones tales como degeneración de la cepa, peligro de contaminaciones y bajos rendimientos.

FERMENTACIONES SEMICONTINUAS

Son aquellas en las cuales parte de los nutrientes se reponen en el curso de la fermentación y que se acaban cuando la producción se baja del límite inferior de economía. Este tipo de fermentación es el que predomina en la fabricación de antibióticos y es básicamente sobre el que se va a enfocar este estudio.

FERMENTACIONES DISCONTINUAS

En este caso, todos los nutrientes se agregan inicialmente y la fermentación termina por la falta espontánea de los mismos.

Desde un punto de vista cinético, las fermentaciones pueden también clasificarse en los siguientes tres tipos básicos:

a) Aquellas en las cuales existe una relación directa entre consumo de sustrato y formación de microorganismos, por ejemplo, las fermentaciones alcohólicas y lácticas.

b) Aquellas en las cuales existe una relación directa entre sustrato y producto, pero con un intervalo de tiempo entre la multiplicación del microorganismo y la producción de la sustancia. Un ejemplo es la producción del ácido cítrico.

c) Aquellas en las cuales el producto final no está aparentemente en relación directa o estequiométrica con el sustrato. Tal es el caso de la fermentación de antibióticos.

Los equipos que se necesitan para una fermentación son esencialmente los que pueden proporcionar el suministro de los diversos nutrientes y tienen las condiciones ambientales más aptas para el desarrollo y formación de los productos.

Las fermentaciones constituyen un conjunto de procesos bioquímicos que provocan variaciones de color, de materia y de energía, por lo cual es necesario:

1. Asegurar a los microorganismos las condiciones ambientales más aptas para el desarrollo del metabolismo (en la dirección requerida).
2. Asegurar que ninguna de las sustancias necesarias para el metabolismo sea factor limitante.

La primera condición es muy difícil de alcanzar en la práctica, siendo necesario tener una constancia entre límites estrechos de temperatura y de pH; el óptimo de estos factores varía de un microorganismo a otro.

La segunda condición es fundamental para la fermentación, porque se puede decir que, cuando las otras condiciones sean constantes, la fermentación depende del abastecimiento de los nutrientes.

CAPITULO III

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA FERMENTACION

**El aire
Temperatura
pH
Nutrientes**

Antes de exponer estos factores, es necesario hacer un breve resumen sobre el proceso bioquímico que comprende una fermentación aeróbica.

Durante los pasos iniciales de la fermentación, tiene lugar un rápido crecimiento del microorganismo en el cual muchos de los nutrientes complejos son descompuestos. Los productos que contienen carbón, una vez descompuestos, son asimilados inmediatamente y el nitrógeno liberado en su formación es también rápidamente metabolizado.

Durante este periodo se forma ⁽¹⁾ el micelio. Después de esta fase, el micelio necesita estar mantenido por una alimentación permanente de fuentes energéticas (monosacáridos, lípidos, etc.) simultáneamente con nitrógeno suficiente para sintetizar el producto final y mantener la población celular.

En la generalidad de los casos, la primera fase de la producción comprende el desdoblamiento de los constituyentes del medio y el crecimiento del micelio hasta su máximo desarrollo. Esto está acompañado por una disminución en la concentración de los nutrientes solubles (carbón, nitrógeno, fósforo), - la desaparición de los carbohidratos.

En el caso particular de la estreptomycin, durante esta fase, la demanda de oxígeno es alta y se forma sólo un poco de antibiótico. En la segunda fase ocurre la autólisis con un descenso en el peso del micelio; el fósforo y el nitrógeno solubles (especialmente amoniacal) son liberados dentro del medio. - La demanda de oxígeno cae hasta cero y es producida una cantidad considerable de antibiótico. El valor del pH aumenta a lo largo de esta etapa.

Es también necesario mencionar que existen ciertas etapas preliminares en la descomposición de los carbohidratos. En general, la mayoría de las membranas celulares son impermeables a los compuestos de alto peso molecular, es decir, compuestos que tienen un peso molecular arriba de 1000, ya que sustancias como éstas no pueden llegar a estar en contacto con las enzimas intracelulares. La principal barrera a la entrada de estas moléculas a la célula va a ser la semipermeable membrana citoplásmica. Es también cierto que con algunos organismos por lo menos, la pared celular constituye una barrera a las moléculas de peso molecular excepcionalmente alto.

Sin embargo, a pesar de la existencia de estas barreras, no es imposible para algunos organismos metabolizar polímeros de alto peso molecular. Esto es usualmente efectuado por medio de la producción de enzimas, las cuales catalizan la hidrólisis

de estas grandes moléculas para dar unidades más pequeñas, por lo general monómeros, los cuales pueden pasar fácilmente a través de la membrana citoplásmica.

La habilidad para elaborar enzimas desdobladoras de polisacáridos está ampliamente distribuida entre los diversos grupos de microorganismos; sin embargo, existen ciertos géneros -- que están especialmente dotados de esta habilidad, como los del género Streptomyces.

Los factores que influyen en el desarrollo de una fermentación aeróbica son fundamentalmente cuatro: el aire, la temperatura, el pH y los nutrientes.

EL AIRE

Su influencia. En las fermentaciones aeróbicas, el abastecimiento de oxígeno al microorganismo es una de las variables que afectarán el rendimiento. (8)

Wise y Bartholomew (1951) determinaron las cantidades de penicilina y estreptomocina en caldos de fermentación, bajo diferentes condiciones de aireación, y observaron que los títulos aumentaron incrementando así la eficiencia de la aireación hasta un punto en que la rapidez de solución del oxígeno satisfizo la rapidez de demanda del cultivo. Después, el título fue independiente del nivel de aireación. Cuando el cultivo estuvo

adecuadamente aerado, su demanda de oxígeno -he aquí su metabolismo aeróbico- no dependió de la cantidad de oxígeno alimentado.

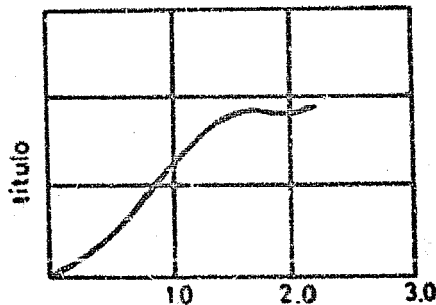


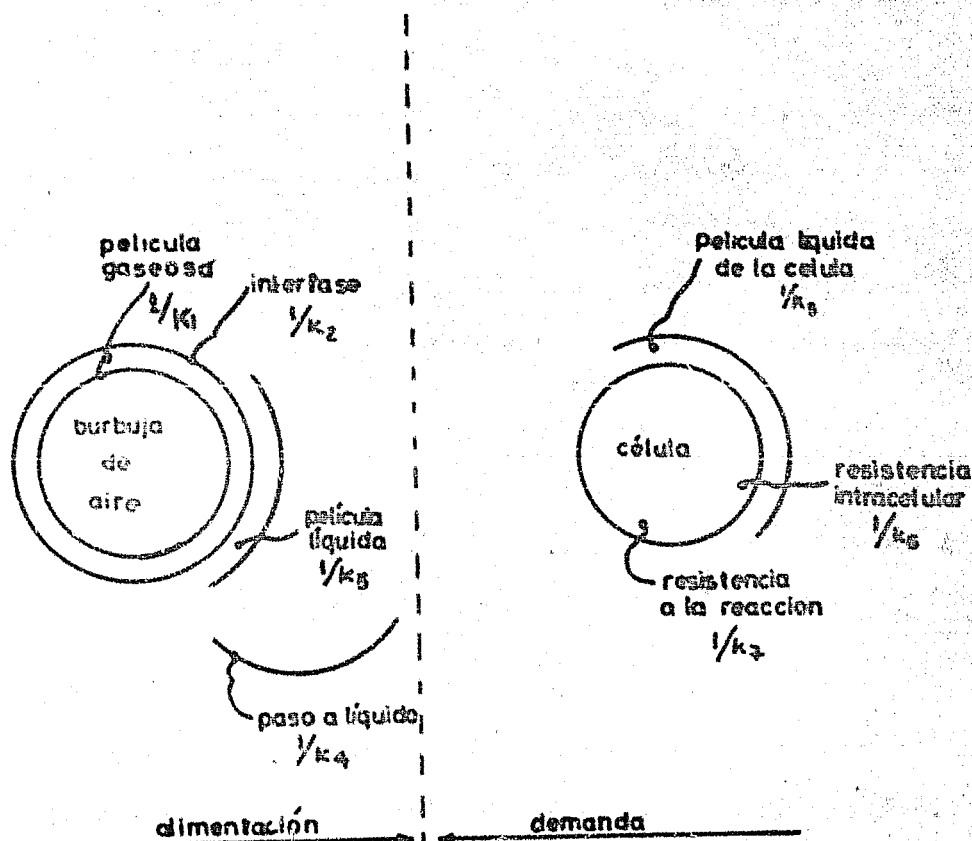
FIG. II-2

Teoría básica. Aceptando el criterio de que los microorganismos aeróbicos respiran haciendo uso principalmente del oxígeno disuelto, el problema de abastecer oxígeno a la célula-respirante es de transferencia de masa de las moléculas de la fase gaseosa a través del fluido del cultivo al interior o estructura de la célula. (8)

Esta amplia transferencia podemos dividirla en dos grupos de resistencia:

1. Las que se oponen a la disolución de las moléculas de oxígeno.
2. Las que se oponen a la demanda de oxígeno por parte de la célula respirante.

Se puede esquematizar por medio de la figura 3-2.



$1/K_1$ = resistencia de la película gaseosa entre el cuerpo del gas y la interfase gas-líquido.

$1/K_2$ = resistencia interfacial gas-líquido. Solamente aquellas moléculas de oxígeno con energía suficientemente alta pueden penetrar en el líquido; el resto es rechazado a la fase gaseosa.

$1/K_3$ = resistencia de la película líquida que se extiende desde la interfase gas-líquido hasta el cuerpo del líquido.

$1/K_4$ = resistencia al paso a líquido. Esta, generalmente, se considera de poca importancia, ya que la concentración de oxígeno en el cuerpo del líquido inicialmente se supone constante. Esto suele ser cierto para sistemas adecuadamente agitados.

$1/K_1$, $1/K_2$, $1/K_3$ y $1/K_4$, pueden ser considerados como los que ofrecen resistencia a la alimentación de oxígeno al organismo por el hecho de que se oponen a la difusión de las moléculas de oxígeno y a su paso al interior del cuerpo del fluido del cultivo.

Las resistencias al paso de estas moléculas al mecanismo respiratorio del organismo, es decir, las que se oponen a la demanda de oxígeno del organismo, son más o menos similares:

$1/K_5$ = resistencia de la película líquida que rodea a la célula.

$1/K_6$ = resistencia intracelular que depende del tipo de crecimiento obtenido. Este factor puede asumir una importancia particular en fermentaciones de hongos, según se formen micelio abierto o hifas separadas.

$1/K_7$ = resistencia a la reacción por parte de las moléculas de oxígeno con las enzimas respiratorias de la célula.

Examinando la figura 3-2, podemos observar en forma esquemática que la transferencia de oxígeno al microorganismo para su respiración depende básicamente de este conjunto de resistencias, cuyas magnitudes sumadas dan una resistencia total R_T que determinará la eficiencia de la respiración celular.

El valor de estas resistencias dependerá de la naturaleza misma del micelio y del medio de fermentación (viscosidad, densidad, etc.).

Juega un papel muy importante también en la transferencia de oxígeno, la distribución del aire en el medio, por lo cual existen diversos tipos de asperjadores de varias formas y tamaños con el fin de lograr, junto con el sistema de agitación, una mejor distribución por unidad de volumen de las partículas de aire y, además, esta distribución deberá ser adecuada al tipo de fermentación y al tamaño requerido de las partículas de aire.

TEMPERATURA

Su influencia. Al igual que en todos los seres vivos, también en los microorganismos, las funciones vitales sólo pue-

den efectuarse dentro de ciertos límites de temperatura. Los mí nimos, óptimos y máximos de temperatura son muy diferentes para los distintos microorganismos. Muchas bacterias poseen una gran resistencia frente a temperaturas bajas, incluso células vegetativas bacterianas pueden soportar mucho tiempo unos -50°C . Las esporas resisten temperaturas más bajas todavía, incluso se afirma que hasta -200°C . (7)

Por lo general, en los hongos filamentosos muere el micelio cuando la temperatura desciende dos grados abajo del punto de congelación.

La temperatura máxima para la actividad vital de los microorganismos es muy variada en los distintos grupos. Las células vegetativas de levadura y las células bacterianas son lisadas a temperaturas de 53 a 60°C durante el curso de 5 a 10 minutos. Las esporas bacterianas son a veces extraordinariamente resistentes frente a temperaturas elevadas; pero se puede observar inclusive que las esporas más resistentes son destruidas por encima de 170°C . (1)

La temperatura óptima para el crecimiento se encuentra, para la mayoría de los microorganismos fermentativos, entre los 20 a 30°C , para las bacterias acéticas entre 18 a 33°C , para las bacterias lácticas entre 30 a 50°C , y para los hongos filamentosos a 25°C ; para la levadura cultivada por razas de fermentación

baja a 25°C y para las razas de fermentación alta a 25 a 30°C.

Una reacción bioquímica simple sigue, aunque para un -- rango muy estrecho de temperatura, la teoría cinética de veloci- dad. Las reacciones que se efectúan durante la fermentación se llevan a cabo gracias a las enzimas desdobladoras que actúan co- mo catalizadores bioquímicos. Las implicaciones prácticas de - esto son que las reacciones enzimáticas pueden ser llevadas al- equilibrio por medio de un gran número de condiciones temperatu- ra-tiempo. Si una baja temperatura es usada con una correspon- diente baja velocidad de reacción, la enzima no es dañada al fi- nal, pero, si la reacción es llevada a cabo rápidamente a alta- temperatura, la enzima es destruida simultáneamente. La tempe- ratura de operación puede influir el patrón metabólico y este - hecho es aprovechado en la mayoría de las fermentaciones indus- triales. (11)

El rango útil de temperatura sobre el cual los procesos metabólicos proceden a una velocidad apreciable, es bastante es- trecho, usualmente no mayor de 20°C.

Durante una parte en la mayoría de las fermentaciones - industriales, es ventajosa una mayor rapidez de crecimiento, pe- ro esto puede no aplicarse a lo largo de la operación; otros -- factores para ser considerados, incluyen:

- a) La rapidez de formación y el liberamiento del producto final deseado.
- b) El estado físico del sistema, especialmente factores como amontonamiento del micelio y el control de la misma espuma.
- c) La condición final que daría al caldo la facilidad para ser filtrado o separado por otros medios.

Resumiendo, podemos establecer que una fermentación aerobia es de vital importancia para efectos de control, conocer los valores de los calores de reacción y, en general, del calor producido por las fuentes químicas y físicas de energía durante el proceso bioquímico, para poder controlar en el equipo la salida de calor conveniente para mantener las condiciones isotérmicas necesarias.

pH

Su influencia. La concentración de los iones hidrógeno es un factor muy importante en la bioquímica de la fermentación. El crecimiento y el desarrollo de los microorganismos, así como su metabolismo, dependen de la concentración de iones hidrógeno del sustrato nutritivo. (7)

Generalmente, el pH determina la densidad electrónica en la región de los centros activos de la enzima. (11)

Puede decirse que la mayor parte de las bacterias se desarrollan mejor en sustratos neutros o ligeramente alcalinos, - mientras que las levaduras y los hongos prefieren sustrato ácido. El crecimiento óptimo para la mayoría de las bacterias se encuentra alrededor de un pH 6.8 a 8.2. Las bacterias acidógenas varían durante su crecimiento, la reacción del sustrato en dirección ácida, pero cuando la cantidad de ácido se ha hecho - tan grande que el pH desciende abajo de 5, el crecimiento se de - tiene.

La siguiente tabla muestra los valores óptimos de pH pa - ra algunas enzimas.

TABLA "A"

ENZIMA	SUSTRATO	pH OPTIMO
Pepsina	Albúmina de huevo	1.5
Pepsina	Hemoglobina	2.2
Amilasa	Almidón	4.5
Ureasa	Urea	6.7
Tripsina	Mayoría de proteínas	7.8

El hecho de que el pH determina por lo general la densi - dad electrónica en los centros activos de la enzima, influirá - ya sea en que estos centros atraigan electrones más lejanos de - las moléculas del sustrato, o que tengan una cierta afinidad pa

ra protones.

Si la actividad de una enzima es valorizada en términos de su velocidad de reacción en una serie de experimentos, en -- las cuales todos los factores, excepto el pH, se observan constantes, puede construirse una gráfica que muestra el efecto del pH. (11) (Ver la figura III-4).

Los puntos que se hacen notar en la gráfica son:

1. El pH óptimo, que es igual al PI.
2. La enzima es estable sobre un rango limitado de pH, -- pero puede ser capaz de inactivación reversible en alguno de -- los lados de estos límites. Sin embargo, puede haber un rango -- sobre el cual la enzima puede retener su actividad lo suficien -- te para que la reacción sea completa.

Los microorganismos siguen el mismo patrón al tener una rapidez de crecimiento máxima en un rango limitado de pH con -- inactivación completa y muerte en cualquiera de los dos extre -- mos.

En general, pocas fermentaciones mantendrán automática -- mente su pH inicial, debido a que el CO_2 y varios ácidos orgáni -- cos son producidos y deben adoptarse, por lo tanto, algunos mé -- todos para su control.

REPRESENTACION GRAFICA DEL pH OPTIMO

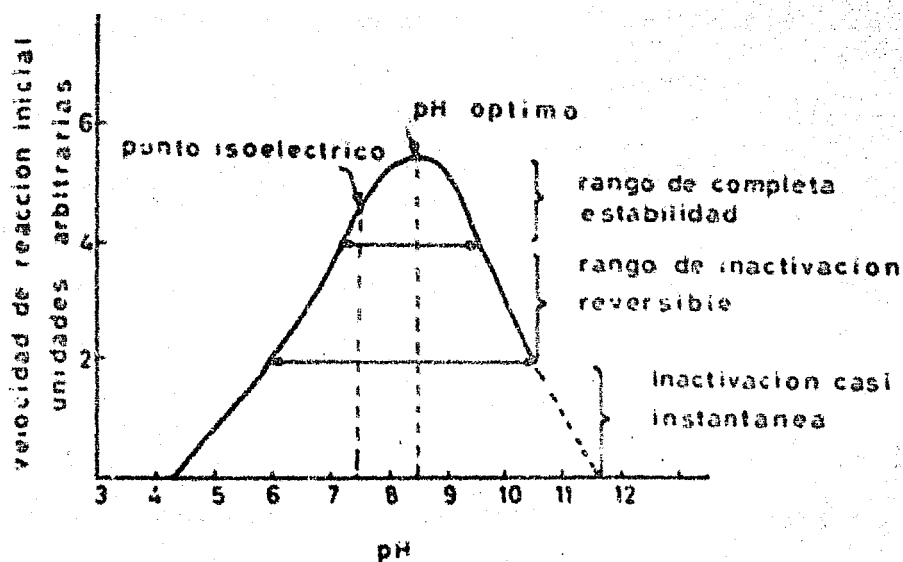


FIGURA III-4

NUTRIENTES

Su influencia. Otro de los factores importantes en la marcha de cualquier fermentación es el control o regulación de las sustancias nutrientes. En las diferentes fases de la producción del antibiótico, el micelio va a necesitar estar mantenido por una alimentación permanente de fuentes energéticas, como monosacáridos y lípidos, simultáneamente con nitrógeno.

Los nutrientes pueden ser clasificados en tres tipos, de acuerdo con la forma como lleguen al microorganismo:

Los que se dan en fase gaseosa; los que se dan disueltos en el medio de cultivo, y los que se dan en fase sólida. Los primeros deben vencer una serie de resistencias por parte del líquido del medio y de las paredes celulares para llegar a la fase de disolución (en la sección correspondiente al aire se ilustra este fenómeno). Los de las otras dos categorías no tienen mayor problema, debido a su constitución fisicoquímica para disolverse en el medio y ser asimilados por el microorganismo.

Los microorganismos productores de antibióticos difieren grandemente en el consumo de nutrientes, en los procesos metabólicos y en la formación de productos de desecho. Esto quedó establecido en el estudio del crecimiento de los actinomicetos cuando se observó una marcada variación en sus requerimien-

tos de nutrientes. (10)

La gran mayoría de los actinomicetos son capaces de utilizar una variedad de compuestos orgánicos complejos. Esto explica su habilidad para crecer en pantanos y en altos suelos orgánicos.

La mayor parte de los actinomicetos pueden usar como -- fuente de energía ácidos orgánicos, azúcares, almidones, hemicelulosa y celulosa, proteínas, polipéptidos y aminoácidos, bases nitrogenadas y otros numerosos compuestos orgánicos. Algunos -- cultivos pueden atacar grasas, hidrocarburos. La mayoría de -- las fuentes fácilmente utilizables de energía como glucosa, maltosa, dextrina, almidón, glicerol, aminoácidos, proteínas.

Las proteínas y los aminoácidos son frecuentemente preferidos a los carbohidratos como fuentes de energía. El efecto favorable de la glucosa al aumentar el crecimiento de los actinomicetos en presencia de proteínas se debe principalmente al -- efecto neutralizante del ácido formado de la glucosa, sobre el amoníaco por la peptona.

Las mejores fuentes de nitrógeno para los actinomicetos son las proteínas, peptonas y aminoácidos. Estas son seguidas por los nitratos, sales de amonio y urea.

Los actinomicetos son incapaces de fijar nitrógeno at--

mosférico. Los nitratos y los nitritos son reducidos primero a amoniaco y asimilados en ese estado para la síntesis celular.

Los nitratos y las sales de amonio son bastante satisfactorios como fuente de nitrógeno. El amoniaco parece ser el más fácilmente absorbido y es el primero de los compuestos nitrogenados que se usan. La mayor parte del amoniaco es provisto por la oxidación de los compuestos aminados del licor del corn-steep (que es facilitado por el bajo pH) y como el amoniaco puede ser liberado en ese paso más rápidamente que el que puede ser usado, su concentración en el medio puede aumentar para un tiempo determinado. Cuando los aminados llegan a estar agotados, la cantidad de amoniaco en la masa cae rápidamente a un nivel muy rápido y los nitratos entonces pueden ser utilizados. La cantidad de nitrógeno del amoniaco en la masa puede aumentar otra vez al final de la fermentación cuando ocurre la autólisis.

La cantidad total de nitrógeno asimilado por la célula es tomado en la mayoría de las veces como una medida del crecimiento del organismo. Durante las primeras 36 horas, aumenta rápidamente, y entonces los niveles bajan y pueden descender en el final de la fermentación si la autólisis toma lugar.

Los productos de la autólisis generalmente interfieren-

con la filtración de la masa y otras operaciones de extracción, de modo que en la práctica comercial se acostumbra suspender la fermentación antes de que la autólisis tome lugar.

En oposición a las tradicionales fermentaciones industriales en el proceso del actinomiceto, éste usa su azúcar como una fuente de energía y no como un precursor del producto. La conexión entre azúcar y producto es bastante directa. Puede usarse una amplia variedad de carbohidratos y aun ácidos orgánicos como fuentes de energía. Por otra parte, la glucosa es fácilmente accesible para el metabolismo. El organismo puede metabolizar glucosa tan rápidamente, que si está presente en cantidad considerable, la consiguiente toma de amoníaco puede afectar adversamente el pH del medio.

La nutrición mineral de los actinomicetos ha sido estudiada muy extensamente en conexión con la producción de antibióticos. Los medios sintéticos han sido desarrollados conteniendo fuentes de carbono, nitrógeno, potasio, magnesio, zinc, hierro, cobre y manganeso. Estos elementos proveen un excelente crecimiento y son requeridos para una buena producción de antibióticos.

Las concentraciones benéficas de los metales en la nutrición varía con las condiciones de crecimiento y producción -

de las sustancias deseadas, tales como antibióticos y vitaminas. Algunos metales ejercen un efecto benéfico en ciertas concentraciones, pero son inhibitorios en concentraciones más altas.

CAPITULO IV

DIAGRAMA DE UN FERMENTADOR TIPICO PARA FERMENTACIONES AEROBIAS

Diagrama del fermentador
Diagrama de una planta de fermentación
Diagrama del fermentador automatizado

Actualmente, las necesidades de grandes recipientes en la industria de las fermentaciones aerobias, principalmente en la producción de antibióticos, requiere de fermentadores del tipo ilustrado en la figura IV-1.

Estos reactores son diseñados convencionalmente a la capacidad de producción deseada, y deben sujetarse a una esterilización, ya sea por agentes químicos líquidos (que en la actualidad están en desuso), o por el medio más comúnmente utilizado en la industria que es vapor a una presión de 1.5 a 2 atmósferas absolutas. Además, soportar una sobrepresión interna que garantice contracorriente de aire hacia el exterior, con objeto de evitar las entradas de aire por los puntos que mecánicamente no están absolutamente sellados, como es el caso del estopero en el agitador y la tubería de ventilación. Por consiguiente, se requiere particular atención en el diseño del sello mecánico y de la tubería, que son los puntos más susceptibles para la penetración de agentes contaminantes.

En el fermentador es importante, por lo tanto, mantener los sellos completamente cerrados por un largo periodo de tiempo, principalmente durante la operación.

Está provisto de un agitador vertical accionado por un motor de corriente alterna de dos velocidades, que acciona a un reductor capaz de proporcionar un máximo de 70 a 200 rpm, dependiendo, por supuesto, de la distribución necesaria del aire en el medio de fermentación.

El sistema de agitación tiene impulsores o propelas, -- las cuales son renovables o intercambiables, ajustables en altura, y el número de ellas puede variar de acuerdo con la agitación diseñada para la operación de trabajo proporcionando gran turbulencia al medio ayudado por el sistema de baffles. Para esto, es necesaria la adaptación de platos verticales a los impulsores, como puede observarse en la figura.

Para la alimentación del oxígeno en el curso de la fermentación, se dispone generalmente de una tubería hasta la parte inferior, cuya terminación es en forma de anillo circular -- con perforaciones para lograr la distribución homogénea del aire recibiendo el nombre de asperjador. Las burbujas formadas por la masa gaseosa se transfieren directamente a la fase líquida para su dispersión y adsorción por las células vivas.

El aire proviene de compresores y es pasado a través de un filtro para su esterilización mediante camas constituidas -- por lana de vidrio y por materiales granulares capaces de rete-

ner las partículas y bacterias arrastradas por el flujo. Entra por los extremos del filtro atravesando la cama hacia la parte central del mismo donde se encuentra la tubería de descarga al fermentador.

El filtro es esterilizado previamente al paso del aire por medio de vapor, haciéndolo pasar por el mismo camino seguido por aquél.

El material de construcción es de acero inoxidable y -- dispone también de una camisa de calentamiento para secar la lana de vidrio y proporcionar la temperatura del aire a las mismas condiciones a las del caldo fermentado.

La presión de trabajo se mantiene constante y arriba de la atmosférica, primero con objeto de suministrar la cantidad de aire necesaria para el metabolismo de los microorganismos, y segundo, para obtener una sobrepresión por las razones mencionadas anteriormente. Esto se regula mediante la alimentación y -- descarga del aire por medio del sistema de control automático -- que facilita la medición continua y exacta durante la operación, y que se describirá con mayor detalle en el capítulo siguiente.

Para la termorregulación, está constituido por un serpentín interno entre pared y camisa del fermentador o, en algunas casas, dentro del mismo. (14) Consiste de un semitubo soldado

en torno al recipiente, y de un tubo helicoidal, respectivamente.

El agua que fluye internamente por la camisa del recipiente está controlada automáticamente por el regulador y controlador de temperatura que se ilustra en la figura IV-2.

Dos tanques a presión son necesarios para la adición de los nutrientes: están provistos de agitación y equipados con el sistema de esterilización para aire, así como por el equipo de control automático para las adiciones que son programadas previamente, dependiendo de la concentración obtenida en cada determinación.

Los cambios obtenidos en la concentración de nutrientes, formación del producto, y composición del medio, son determinados por un autoanalizador capaz de proporcionar un sistema de análisis continuo.

Mediante el control de la espuma por la adición de agentes químicos antiespumantes se regula automáticamente el nivel del líquido en el fermentador. Para ello, se dispone de un tanque que contiene el antiespumante que normalmente se opera con aire esterilizador a presión. Para el control automático se describirá con mayor detalle en el capítulo siguiente.

IONES AEROBIAS

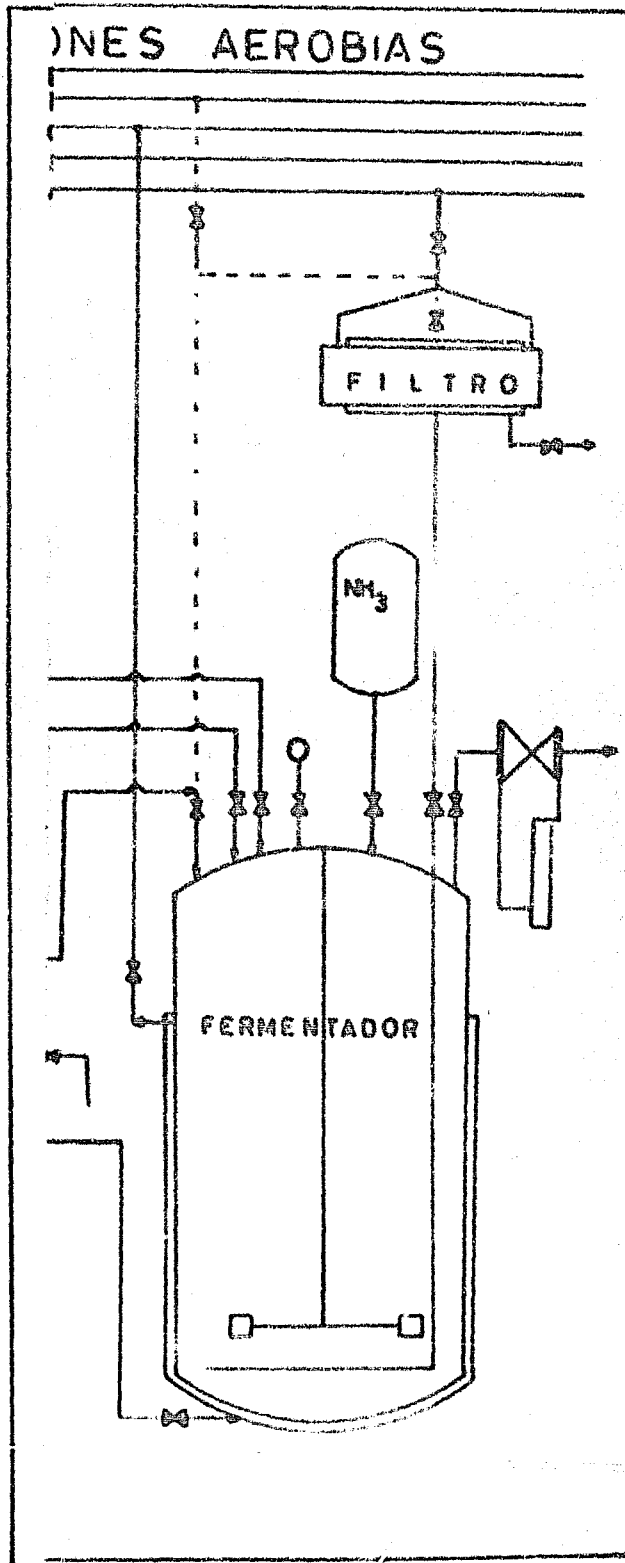
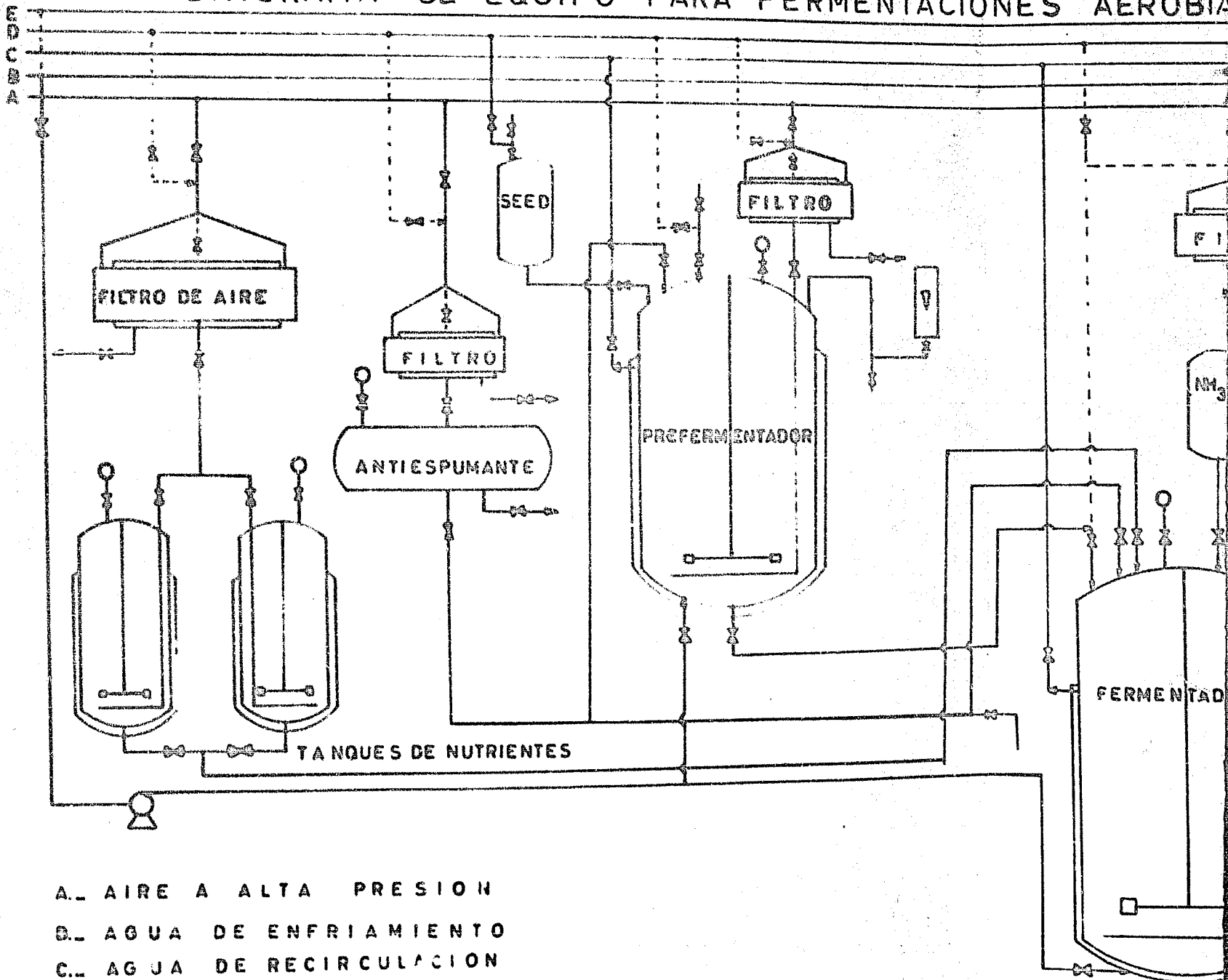
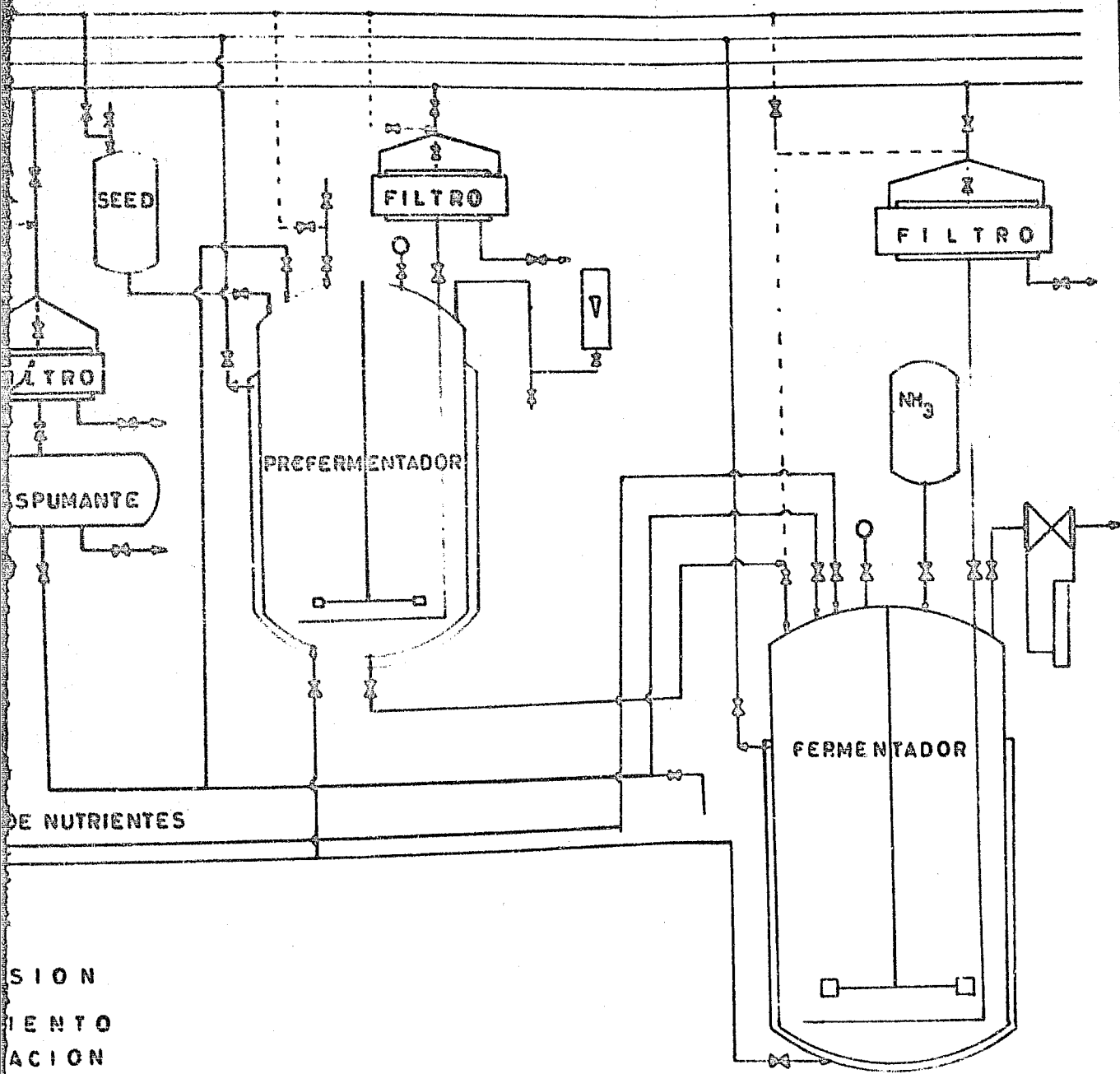


DIAGRAMA DE EQUIPO PARA FERMENTACIONES AEROBIAS



- A. AIRE A ALTA PRESION
- B. AGUA DE ENFRIAMIENTO
- C. AGUA DE RECIRCULACION
- D. VAPOR
- E. AGUA CALIENTE

DE EQUIPO PARA FERMENTACIONES AEROBIAS



El prefermentador que se ilustra en el diagrama general del equipo (fig. IV-2), tiene como función la reproducción y desarrollo de los microorganismos. Los actinomicetos se encuentran en estas condiciones en un medio pobre, pasando más tarde a uno más rico al inicio del periodo fermentativo.

En estas condiciones, el diseño del prefermentador es idéntico al del fermentador en todas sus partes, es decir, agitación alimentación de aire, ventilación, temperatura, pH y presión, solamente que el control es manual y no automático; sin embargo, se hace mención sobre él porque forma parte del equipo necesario para el fermentador.

Además del equipo descrito anteriormente, así como el de control automático, es necesario contar con el respectivo para proporcionar los servicios tales como: aire a presión, agua de enfriamiento, de recirculación, agua limpia y vapor, para complementar la operación de proceso.

En general, el fermentador es un reactor cilíndrico diseñado convencionalmente, con una relación de diámetro-altura de 1 a 2-3.

Por lo que respecta al material de construcción, se recomienda en todos los casos el acero inoxidable 304.

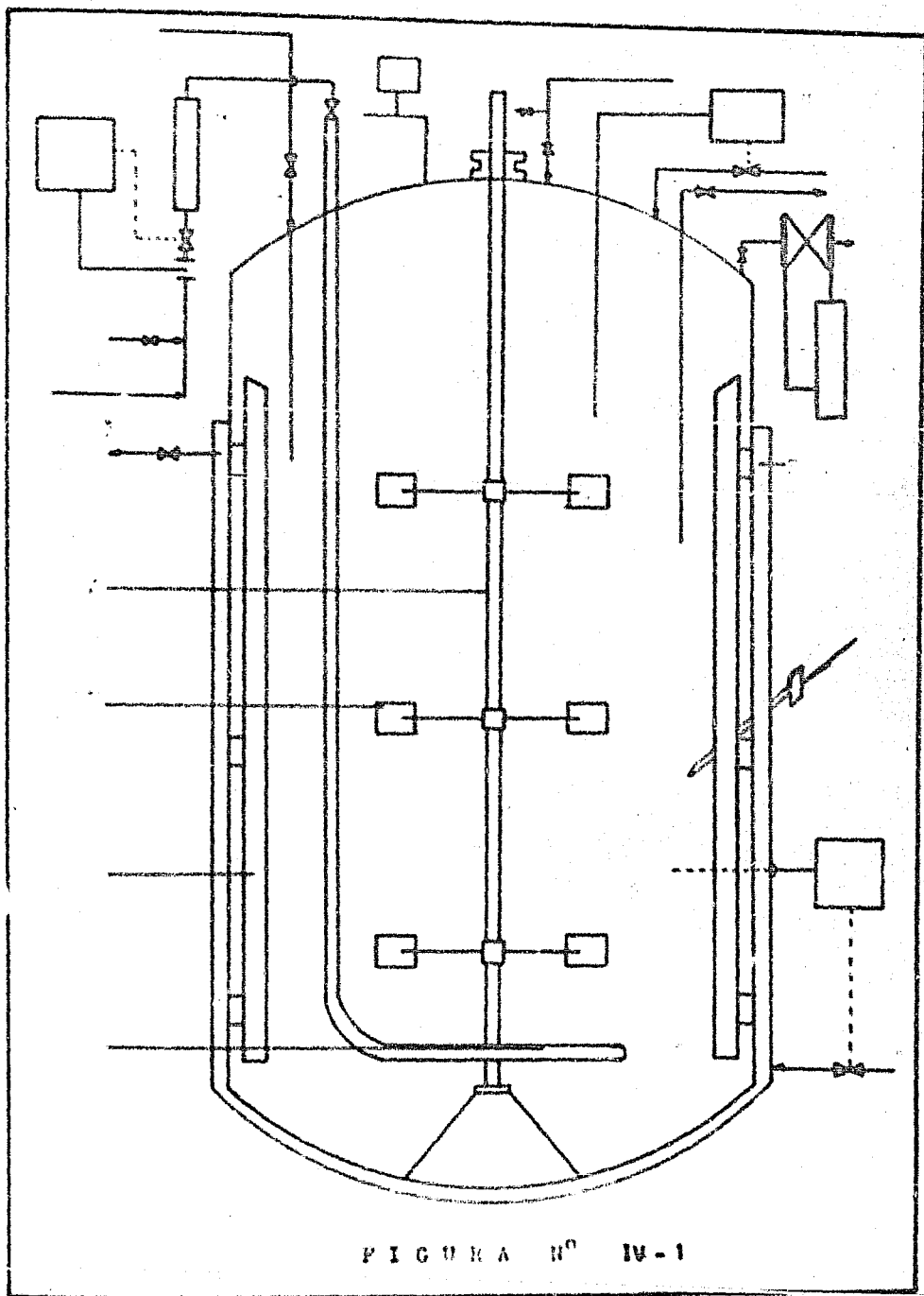
El volumen de operación es generalmente alrededor del 75% de la capacidad total, debido al problema de formación de espuma.

En la siguiente lista, se mencionan los nombres correspondientes a las partes constitutivas del fermentador y del equipo de control automático que se ha propuesto para la automatización del mismo, como puede observarse en la figura IV-1.

- A. Controlador de flujo de aire.
- B. Controlador de presión.
- C. Controlador del agente antiespumante.
- D. Controlador registrador de temperatura.
- E. Electrodo para control de pH.
- F. Filtro esterilizador de aire.
- G. Vapor para esterilización del equipo y fermentador.
- H. Aire para el suministro de oxígeno.
- I. Agua de enfriamiento controlada automáticamente.
- J. Agitador.
- K. Propelas con platos planos verticales.
- L. Baffles.
- M. Asperjador para la difusión del oxígeno.
- N. Tubería de ventilación del aire con controlador de flujo.
- O. Estopero para el sello mecánico de la flecha del eje

tador.

- P. Camisas para el sistema de enfriamiento por agua.
- Q. Inóculo proveniente del prefermentador, como puede -
observarse en el diagrama de la figura IV-2.
- R. Toma de muestra para el autoanalizador.
- S. Tubería para la adición de nutrientes.



CAPITULO V

REQUERIMIENTOS DE CONTROL AUTOMATICO PARA UNA FERMENTACION DE TIPO SEMICONTINUO

- Generalidades sobre control automático
- Elementos de control automático
- Control de la cantidad de aire
 - Cuerpo de medición
 - Unidad neumática de transmisión
 - Funcionamiento del transmisor diferencial
 - Sistema de control automático: indicador con trolador
 - Comutación automática
 - Controlador
- Regulación automática de la presión
 - Control automático
 - Calibración del transmisor
- Regulación automática de la espuma
 - Funcionamiento automático
 - Funcionamiento manual
- Control automático de la temperatura
 - Funcionamiento
 - Control proporcional
 - Elemento de control final
 - Derivación integral
- Control del pH con electrodo esterilizable
 - Generalidades sobre medición y control del pH
 - Balance de iones hidrógeno e hidroxilo
 - Desarrollo de la escala del pH
 - Sistema de medición
 - Medición y control del pH
- Control de las sustancias nutrientes
 - Características del rotámetro
- Control continuo del sistema (azúcar, nitrógeno y título) por medio de un autoanalizador
 - Frascos de reactivos
 - Plato muestreador
 - Bomba dosificadora
 - Serpentín de mezclado
 - Dializador
 - Baño de calentamiento
 - Colorímetro: Sistema óptico
 - Sistema registrador

GENERALIDADES SOBRE CONTROL AUTOMATICO

Los problemas que se presentan en el campo del control-automático se pueden dividir en dos tipos:

- a) Aquellos que por su gran capacitancia aceptan un control de dos posiciones.
- b) Aquellos que requieren una acción proporcional, quedando incluidas aquí otras formas de control.

Existen dos métodos principales para la operación de -- los mecanismos automáticos, que son: neumático y eléctrico, aun que actualmente la mayor parte de los controles automáticos utilizados en la industria son operados neumáticamente, en particular en aplicaciones que requieren acción proporcional.

El control automático puede aplicarse a cualquier proceso en el cual estén incluidas las variables por determinarse.

Algunas de las variables que se encuentran con más frecuencia en la industria son: presión, flujo, temperatura, humedad, niveles de líquidos, pH, gravedad específica, etc.

Para un sistema de control automático deben tenerse en cuenta tres partes que son esenciales para el mismo:

1. La unidad de medición.
2. La unidad de control automático.
3. La unidad que controla el medio o variables.

El instrumento de control automático en sí consiste en una relación entre el punto de medición y el punto de regulación del medio controlado. El efecto de un cambio en la variable medida es transmitido por el sistema de medición al instrumento de control, el cual relaciona el efecto del cambio en la variable medida en términos de un cambio de presión de aire que envía el mecanismo que regula el medio controlado.

Esencialmente, el control automático de un proceso consiste en mantenerse dentro de ciertos límites, o bien, alterando de una manera predeterminada la energía (y algunas veces el balance de material) de la variable que está sufriendo un tratamiento en el proceso. El proceso es controlado automáticamente midiendo el estado de una variable seleccionada, ya sea continuamente o a intervalos frecuentes, y entonces corrigiendo la entrada de energía o material para mantener el valor de la variable dentro de límites aceptables. (4)

El controlador automático y el proceso forman un circuito de control o circuito cerrado, que debe ser considerado como una unidad dinámica, ya que un cambio en una parte del circuito

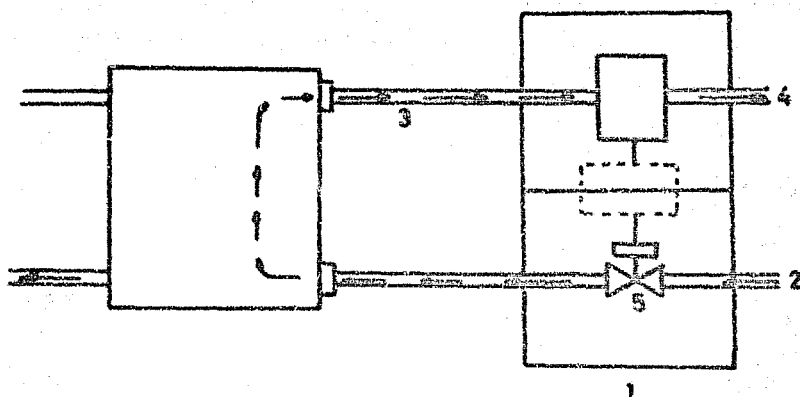
trae como consecuencia un efecto en el sistema. La operación del controlador automático está basada en la medición de una variable del proceso, entonces, antes de que el controlador pueda actuar, debe ocurrir una desviación de la variable medida. Seleccionar las condiciones de proceso correctas para la variable a medir es uno de los principales problemas en la aplicación del control automático.

Aunque se emplea una amplia variedad de mecanismos y dispositivos para el control automático, la mayoría de ellos en realidad constituyen un patrón claramente definido. Existe un número definido de elementos para un proceso controlado automáticamente.

Los dispositivos de medición y los mecanismos de control caen fácilmente dentro de los tipos mencionados y todos los sistemas de control de proceso tienen ciertas características que pueden ser satisfechas por aplicación de clases particulares de acción en el control del cual hay un número definido de tipos y combinaciones.

ELEMENTOS DE CONTROL AUTOMATICO

1. Un controlador automático, que es un mecanismo que mide el valor de una variable o condición y opera para corregir o limitar la desviación de este valor medido a partir de una re



EQUIPO DEL PROCESO EN MEDICION

FIG. V-1

ferencia seleccionada, incluye los elementos de medición y los elementos de control.

2. La variable controlada, es aquella cantidad o condición que es medida y controlada.

3. El medio controlado, es aquella parte del proceso o material del mismo en lo cual una variable es controlada.

4. La variable manipulada es aquella cantidad o condición que es variada por el controlador automático para efectuar el valor de la variable.

5. El ajuste de control es aquella energía o material -- del proceso, de la cual, la variable manipulada es una condición o característica.

El controlador automático comprende unos medios de medición y unos medios de control, como se muestra en el esquema de la figura V-1, que ilustra el cambio de color de un fluido en un proceso de control automático de temperatura. Este elemento de medición puede consistir de un sistema termométrico o potenciómetro que mide la temperatura del medio controlado, el elemento de control consiste de un mecanismo incorporado predeterminado, cuya acción afecta a la condición o característica del agente de control o energía del fluido que está entrando al proceso. La acción sobre el control de ajuste produce un efecto que corrige o limita la temperatura del medio controlado.

El equipo de proceso y el controlador automático son instalados en tal forma, que la acción inicial dentro del proceso y la acción contrarrestante del controlador automático forman un circuito cerrado o circuito de acción. El proceso de la fermentación viene a ser una operación o serie de operaciones, en las cuales el valor de una cantidad o condición va a ser controlado. Incluye todas las funciones que afectan directa o indirectamente el valor de la variable controlada.

Todos los controladores automáticos consisten necesariamente de dos partes esenciales: un sistema de medición y un sistema de control. En la mayoría de los controladores estos dos sistemas puede decirse que están compuestos por cinco elementos fundamentales reconocidos:

1. Un elemento primario que utiliza o transforma energía del medio controlado para producir un efecto o una respuesta gobernada por el cambio en el valor de la variable controlada.
2. Un elemento de medición que convierte la respuesta del elemento primario en una indicación del valor, error o desviación de la variable controlada y comunica este valor al medio de control.
3. El controlador que detecta cualquier desviación de la posición instantánea del elemento medidor, del punto establecido e indica la acción correctiva adecuada.
4. La unidad de potencia que convierte la acción correctiva del mecanismo de control en la posición del elemento de control final.
5. El elemento de control final, que cambia el valor de variable manipulada directamente lo suficiente para restablecer.

Se mencionó anteriormente que hay dos tipos básicos de acción de control automático: de dos posiciones y proporcional. La acción del control automático de dos posiciones puede considerarse que tiene una acción proporcional de cero.

CONTROL DE CANTIDAD DE AIRE

Regulación del flujo. El aire utilizado para la transferencia del oxígeno durante la fermentación proviene de compresores a baja presión (3 Kg, máximo) entre 25 a 50 psi, el cual se esteriliza por medio de camas granulares o filtros con lana de vidrio.

La velocidad del aire generalmente se determina por sistemas medidores de flujo calibrados en unidades de volumen de aire por unidad de tiempo y manómetros diferenciales o rotámetros.

Para obtener el control del aire, es necesario conocer el principio de operación de los medidores de flujo del tipo diferencial, que se basan en la relación que existe entre la velocidad del fluido y la pérdida de presión al pasar éste a través de una restricción en la tubería. Esta relación se define simplemente en la siguiente forma:

La pérdida de presión causada por la restricción es pro

porcional al cuadrado de la velocidad del fluido.

La restricción, conocida como el elemento primario de medición, hace que el fluido se contraiga y ya que la cantidad de fluido permanece constante, la velocidad de éste aumenta al pasar por la restricción, y la presión estática disminuye al mismo tiempo, según la ley de la conservación de la energía (teorema de Bernoulli). La diferencia entre las presiones antes y después de la restricción, llamada comúnmente "diferencial", representa un índice de velocidad del fluido. Para determinar el flujo del fluido, basta simplemente multiplicar el índice de velocidad por el área de la restricción, dando como resultado la ecuación básica para el flujo:

$$Q = CAV$$

De donde:

Q = gasto de flujo

C = coeficiente de descarga

A = área de restricción

V = velocidad del fluido después de la restricción

La presión diferencial es medida y convertida a unidades de flujo por medio de un aparato secundario de medición. El complemento del aparato medidor es el instrumento, ya sea indicador registrador, el cual convierte las señales transmitidas

por el medidor, que pueden ser mecánicas, eléctricas o neumáticas, en las unidades deseadas.

Este último instrumento, si recibe impulsos neumáticos del cuerpo medidor de flujo con transmisión neumática, recibe el nombre de convertidor diferencial, o tel-o-set, que es el tipo de instrumento utilizado para el control del flujo y de la presión.

El sistema indicador regulador neumático tel-o-set, consiste de tres unidades básicas: un transmisor, un receptor de estación y un controlador. El transmisor mide la variable del proceso y manda una presión de aire proporcional al receptor y al controlador. El receptor registra o indica la variable del proceso, transmite al controlador una presión proporcional al valor prefijado; esto provee al dispositivo para la conmutación manual-automático del switch y la regulación manual de la presión a la válvula de control. Por último, el controlador compara la señal de la variable del proceso con el valor prefijado y la posición del elemento de control final para mantener la variable del proceso en el punto deseado.

El instrumento provee transmisión remota del valor de la variable a un registrador indicador y a un controlador.

Por lo tanto, para la regulación automática del flujo,-

se puede usar un transmisor neumático de presión diferencial, - que está constituido por un cuerpo de medición y por una unidad neumática de transmisión a respuesta rápida, que puede convertir la presión diferencial en una señal neumática proporcional.

La señal puede ser transmitida a cualquier receptor -- neumático, a fin de registrar, indicar o regular la variable medida. La presión se mide por el transmisor de presión diferencial que manda la señal proporcional al cuadro, donde el receptor registra o indica la variable del proceso transmitiendo al controlador una presión proporcional al valor prefijado. Este compara la señal de la variable del proceso con el valor prefijado y el consiguiente movimiento de la válvula de control de - aire al fermentador para mantener la variable del proceso en el punto deseado.

El cuerpo de medición se compone de una sección central y un cabezal que forma la cámara de alta y baja presión (fig. - V-2).

La cámara de presión puede fijarse a la sección central en tres posiciones diversas, para obtener la conexión del proceso. Dicha conexión se hace por medio de tubería situada en un eje interno, de modo de acoplarse directamente o a presión, o - una unidad by-pass.

CUERPO DE MEDICION DEL TRANSMISOR

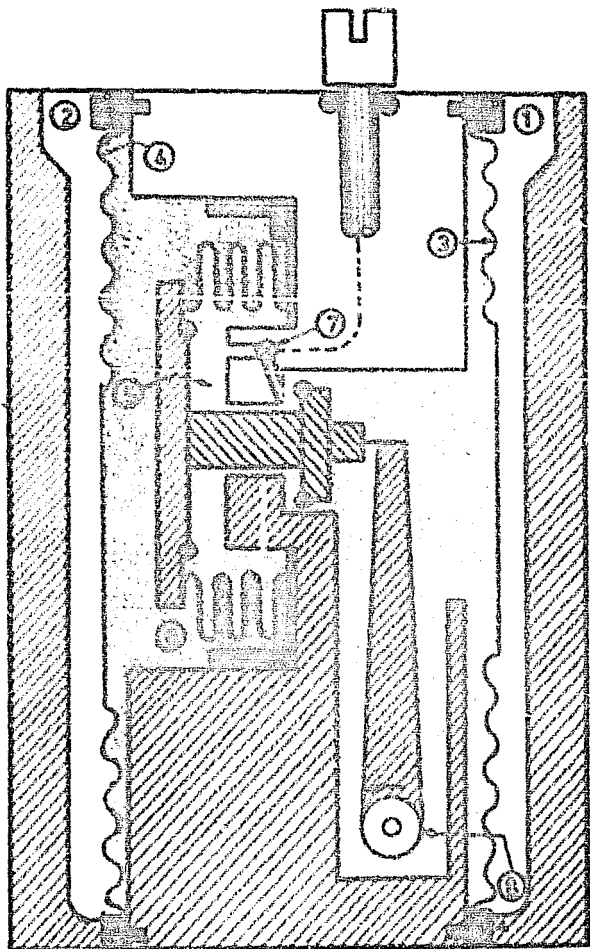


FIGURA N°V-2

CUERPO DE MEDICION

El funcionamiento del cuerpo de medición se ilustra en la figura V-2.

Las conexiones del proceso de alta (1) y baja (2) presión, están unidas a las dos cámaras por un cabezal. El diafragma (3) y (4) transfieren, respectivamente, la presión del fluido al silicón que llena la sección central del cuerpo de medición.

La alta presión acciona la parte interna (5), y la baja presión acciona la parte externa del elemento de medición.

Si no hay gasto o flujo, estas dos presiones son iguales. En presencia del flujo, la presión en la cámara de la izquierda, eso es, del lado de baja presión del líquido de llenado, disminuye; el elemento se mueve hacia la izquierda y el líquido de alta presión pasa a través de la válvula de estrechamiento.⁷

El movimiento del elemento de medición ejercerá una rotación proporcional sobre el eje de transmisión (6), por medio de unas levas de acoplamiento.

El eje de transmisión se extiende a la parte externa -- del cuerpo de medición a través del tubo de retención del esto-

pero que lo soporta. La unidad de transmisión está conectada - en la extremidad del eje.

UNIDAD NEUMÁTICA DE TRANSMISION

El sistema neumático de balanceamiento está formado por un relevador piloto, el cual convierte la presión diferencial - en una señal neumática proporcional variable de 3 a 15 psi.

El cuerpo de medición y la unidad de transmisión están unidas mediante una sola conexión, a través de la cual pasa el tubo del estopero del sistema de transmisión. El componente -- del transmisor está montado sobre una placa fijada a esta conexión.

Los ajustes de cero del cuerpo de medida, al igual que de sobrepresión, cuando el caso lo requiera, permiten cambios - amplios de la presión diferencial. Todos los ajustes son fácil- mente accesibles por la parte del frente, simplemente quitando- la cubierta del transmisor.

El punto en el cual se unen todas las conexiones exter- nas es el relevador piloto, es decir, el filtro y la restric- ción de suministro que van situadas en un hueco al lado de la - caja de protección, y es la unidad estándar usada en este tipo- de transmisor diferencial, así como en el de presión.

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSMISOR DIFERENCIAL

El funcionamiento de la unidad neumática del transmisor diferencial se ilustra en la figura V-3.

La barra primaria (1), que es de aluminio fundido, está fijada a la parte final del eje de transmisión del cuerpo de medición. Un aumento en la presión diferencial, atraviesa el elemento de medición y el eje de transmisión hace girar a la barra primaria en sentido contrario a las manecillas del reloj. Esta, a su vez, mueve el obturador (2) hacia la tobera (3) y causa un aumento de la presión en la parte interna de la misma. Dicha presión es transmitida al relevador piloto (4), provocando un aumento de la presión en la salida. La señal de salida es, por consiguiente, enviada a la cápsula de balanceamiento (5), donde ejerce una fuerza sobre la barra secundaria (6); esta fuerza es transmitida a la barra primaria que se transmite al punto de apoyo del ajuste del campo de medición (7) de modo de balancear el sistema.

Cuando el muelle amortiguador (8) se instala, debe regularse de modo de aplicar a la barra principal la fuerza de sobrepresión requerida.

Los ajustes gruesos del campo de medición se efectúan - aflojando una manivela y alejando el punto de apoyo largo a la-

UNIDAD NEUMÁTICA DEL TRANSMISOR

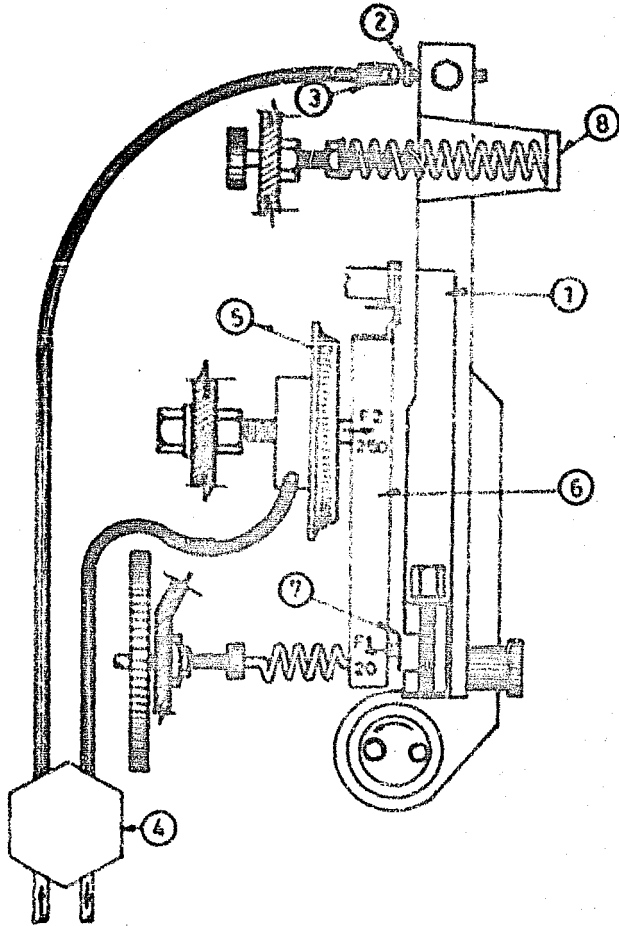


FIGURA Nº V-3

leva; conseguida la nueva posición, se fija nuevamente la manivela.

Una escala reportada sobre la barra secundaria indica aproximadamente la amplitud de variación del campo de medida; los ajustes finos se efectúan girando el tornillo micrométrico, sea con un desatornillador o con una llave fija.

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO: INDICADOR CONTROLADOR

Como se indicó anteriormente, el sistema de regulación automática neumática tol-o-set consiste de tres unidades: un transmisor, un indicador o registrador de estación y un controlador. Se habló del transmisor mencionando su función en el control automático, tanto del cuerpo de medición, como de la unidad neumática. A continuación se describe el sistema de control automático del registrador y controlador.

El registrador se compone de uno o dos elementos receptores neumáticos, que por medio de un sistema de palancas transmiten las deformaciones de sus fuellos, debido a la presión que reciben de los transmisores, a uno o dos punteros indicadores que están mecánicamente acoplados a las plumas de registro.

Para este sistema de control se usa un registrador de dos plumas, que tiene en la parte inferior un regulador de pre-

sión de aire. Esta presión proporcionada por este regulador, - puede usarse para accionar una válvula, o reajustar el punto de control de otro instrumento controlador automático. El segundo puntero, en este caso sin pluma, es usado para indicar la posición de la válvula del punto de control antes mencionado.

El registrador puede funcionar en conjunto con un controlador, adaptándole dos conmutadores neumáticos que permiten pasar de control automático a manual. Tiene además un manómetro tipo bourdon, en la parte superior, que indica continuamente la posición de la válvula de control. Además, una perilla - al frente del instrumento, que sirve para fijar el punto de control del regulador ciego cuando el control funciona automáticamente.

El ajuste grueso de amplitud de gama de este aparato se obtiene variando la posición del tornillo, que recibe el empuje del fuelle con respecto al pivote de la palanca que lo sostiene. El ajuste fino se obtiene variando la multiplicación de los brazos de palanca.

El ajuste de cero se obtiene mediante los tornillos que varían la posición de los punteros con respecto a la escala, -- sin variar los brazos del sistema de palancas.

El ajuste de alineamiento sirve para checar la calibra-

ción en los puntos intermedios de la escala, una vez que los puntos extremos fueron chequeados, por medio de los ajustes de cero y de amplitud de gama.

COMUTACION AUTOMATICA

El grupo de conmutación de este aparato, con control automático, está incluido en un pequeño tablero llamado de "by-pass" y colocado en la parte baja al frente del mismo. Está constituido de un conmutador de tres posiciones "manual-otro-automático", y de un segundo conmutador de dos posiciones "punto de control-válvula" y la consiguiente perilla del regulador de presión manual.

Para hacer el paso de automático a manual, cuando el aparato controla automáticamente el proceso, se tiene que la presión de salida del regulador de presión, fija el punto de control del conmutador. Esta presión es diferente a la presión que el controlador proporciona a la válvula. Así que, si se pasa instantáneamente de control automático a control manual, la válvula se moverá rápidamente. Este cambio brusco de la posición de la válvula provoca un desbalance, que viene a ser perjudicial en algunos procesos de gran velocidad de reacción y que necesitan un control muy exacto según sus características.

Para evitar lo anterior, antes de conmutar el proceso de

control automático a control manual, es necesario igualar la presión de salida del regulador de presión manual, con la que el controlador manda la válvula. Existe por lo tanto para esto una tercera posición en la conmutación en este aparato, la de "sello". En esta posición, la salida del controlador y la del regulador de presión manual están sellados. Por consiguiente, se puede variar la presión de la válvula, sin afectar el control y, consecuentemente, conmutar el proceso a control manual.

Análogamente, la posición de sello es necesaria cuando se desea pasar de control manual a control automático. Solamente habrá que pasar por la posición de sello para igualar la presión de salida del indicador de presión manual, a la que dará el correcto punto de control en el controlador, pasando después a la posición automática, de lo contrario, ocurrirá lo mismo indicado con anterioridad.

Construido con el regulador y conjunto de conmutación y accesible por la parte inferior de la caja del receptor, se coloca un interruptor selector de circuitos de tres posiciones, la acción del interruptor está seguida por un microinterruptor que se utiliza en este sistema, que requiere de interrupciones o conmutaciones. Este interruptor establece el circuito neumático apropiado, de tal manera, que cualquier receptor puede ser usado con cualquier modelo de controlador neumático, de balance

de fuerza. Puede usarse también para cualquier clase de instalación integral, como lo ilustra la figura V-4, local, o junto a la válvula de control.

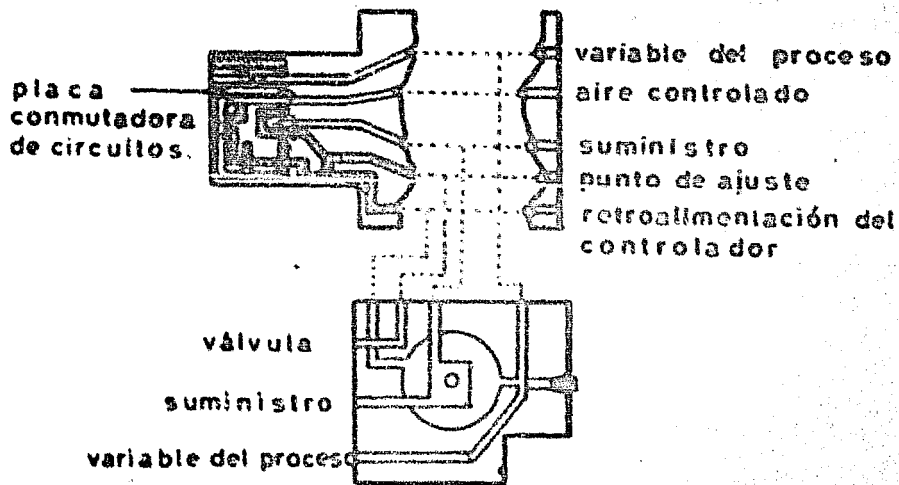
Este interruptor es conectado también al sistema de alarma en la estación de control, accionado cuando se presenta baja presión.

En la figura V-4 se ilustra el funcionamiento del sistema de conmutación.

1. La señal de la variable.
2. La señal de aire controlado.
3. Suministro.
4. Punto de ajuste.
5. Puerto de retroalimentación del controlador.

En la posición "automática", la salida del controlador está en comunicación con el elemento final de control, y la salida del regulador manual está comunicada con el punto de ajuste del control. En la posición de "cuello", quedan selladas la válvula y la salida del controlador. En la posición "manual" queda sellada la salida del controlador, mientras el regulador de presión está puesto en comunicación con la válvula de control.

En la caja del registrador se encuentran las tres tomas:



UNIDAD DE BY-PASS
 PARA CONTROLADORES DE RETROALIMENTACION
 EXTERNA

FIGURA N° V - 4

"válvula, alimentación y variable" en el proceso, a la izquierda del bloque del regulador manual. Las cinco tomas antes mencionadas son las que se encuentran en la parte posterior, y --- cuando el controlador está instalado directamente y atrás del aparato, están comunicados entre sí.

Como se advierte en la figura V-4, las dos posiciones del conmutador, "punto de control" y "válvula", sirven para la misma función. Ambos ponen en comunicación el segundo elemento receptor y el segundo puntero con la presión que determina el punto de control o con la de la válvula.

CONTROLADOR

Los controladores son instrumentos neumáticos en los -- que se afectan la comparación de una presión proporcional a la variable controlada con una presión proporcional al valor escogido como punto de control.

REGULACION AUTOMATICA DE PRESION

Con la posible excepción de la temperatura, la presión -- es probablemente la variable más importante que debe ser medida y controlada en procesos industriales.

La importancia que tiene la medición de la presión puede ser comprendida fácilmente, si se hace notar que en algunos-

procesos, un cambio de temperatura de medio grado centígrado, - puede resultar en un cambio de presión de 65 a 90 cm de agua. - En estos casos, por supuesto, el control del proceso por medio de la presión resulta mucho más exacto.

La presión se define como la fuerza aplicada en la unidad de área; también puede definirse como la altura a la cual se alzaría una columna de un líquido cualquiera.

A continuación se dan los términos más comúnmente usados en la industria, relacionados con la presión:

La presión atmosférica es la fuerza ejercida en una unidad de superficie de la tierra debida al peso de la atmósfera. - Esta varía, dentro de límites relativamente cortos, y por convención a la presión atmosférica al nivel del mar, se lo considera un valor estándar de 1 Kg/cm^2 , equivalente a la presión requerida para sostener una columna de mercurio de 760 mm, ó 29.92 pulgadas.

La mayor parte de los instrumentos utilizados para medir la presión, indican la diferencia entre la presión de un líquido encerrado y la de la atmósfera. Si la presión medida es mayor que la atmosférica, la diferencia indicada se conoce como presión manométrica. Si a la lectura de la presión manométrica se agrega la de la presión atmosférica, el resultado indicará -

presión absoluta.

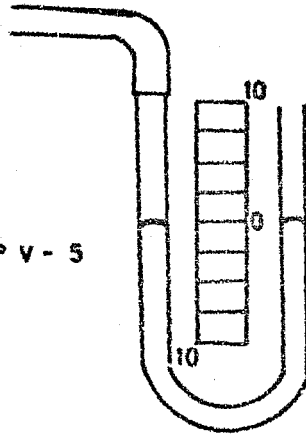
La presión menor que la de la atmósfera es denominada - presión negativa o vacío.

El instrumento más antiguo y al mismo tiempo uno de los más exactos para la medición de la presión, es el tubo en U. - Este se usa como patrón para establecer la precisión de todos - los modelos de instrumentos medidores de presión. En su forma - más simple, éste consiste de un tubo de vidrio en forma de U y - lleno con algún líquido de gravedad específica conocida.

Cuando se aplica una presión a través de una de las bo - cas del tubo, el nivel del líquido en ese brazo baja, mientras - que en el otro, que está abierto a la atmósfera, sube hasta que - el aumento de la altura iguala la presión aplicada. La diferen - cia de nivel del líquido medido en la escala, indica la presión, - como se advierte en la figura V-5.

La industria usa una gran variedad de elementos para me - dir la presión y la elección del tipo de elemento que debe usar - se, depende primordialmente de la gama dentro de la cual va a - efectuarse la medición. La naturaleza del medio en el que se - hace la medición, interviene tanto en la selección del elemento - como en el material usado en la construcción.

FIGURA N° V-5



CONTROL AUTOMÁTICO

De igual forma que el transmisor diferencial de presión para el control del flujo, el transmisor de presión seleccionado es del tipo tel-o-net de balance de fuerza no indicador. Mide la presión del proceso y transmite una señal neumática que es directamente proporcional a la presión medida. El instrumento provee transmisión remota del valor de la variable a un registrador indicador y a un controlador.

Este transmisor se selecciona particularmente para este tipo de proceso, ya que su control requiere de respuesta rápida. Utiliza como elemento sensible una cápsula de diafragma y un bourdon en espiral o un bourdon helicoidal seleccionado para obtener alta precisión. Está constituido por una válvula piloto-

para amplificar la señal neumática transmitida por el elemento-obturador-tobera.

Refiriéndose a la figura V-6, se explica el principio de funcionamiento del transmisor de presión manométrica, y sus partes constitutivas:

1. Dos balancines primario y secundario (C) y (E), respectivamente, que como punto de apoyo tienen dos pivotes.
2. Una cápsula de diafragma (L), a la que se aplica la presión del gas.
3. Un conjunto tobera (M) y obturador (O).
4. Un fuelle proporcional (A).
5. Dos resortes para el ajuste de cero o de la supresión (I).
6. Un termocompensador (G).
7. Una válvula piloto que se muestra en la figura V-7.

Con referencia a la figura V-6, se observa que la presión ejercida por el sistema en la cápsula de diafragma, se convierte en una fuerza hacia arriba. Esta fuerza aplicada al balancín primario por medio de un balín y del tornillo de empuje (J), resulta en un momento en sentido contrario a las manecillas del reloj. Al mismo tiempo, el obturador se acerca a la

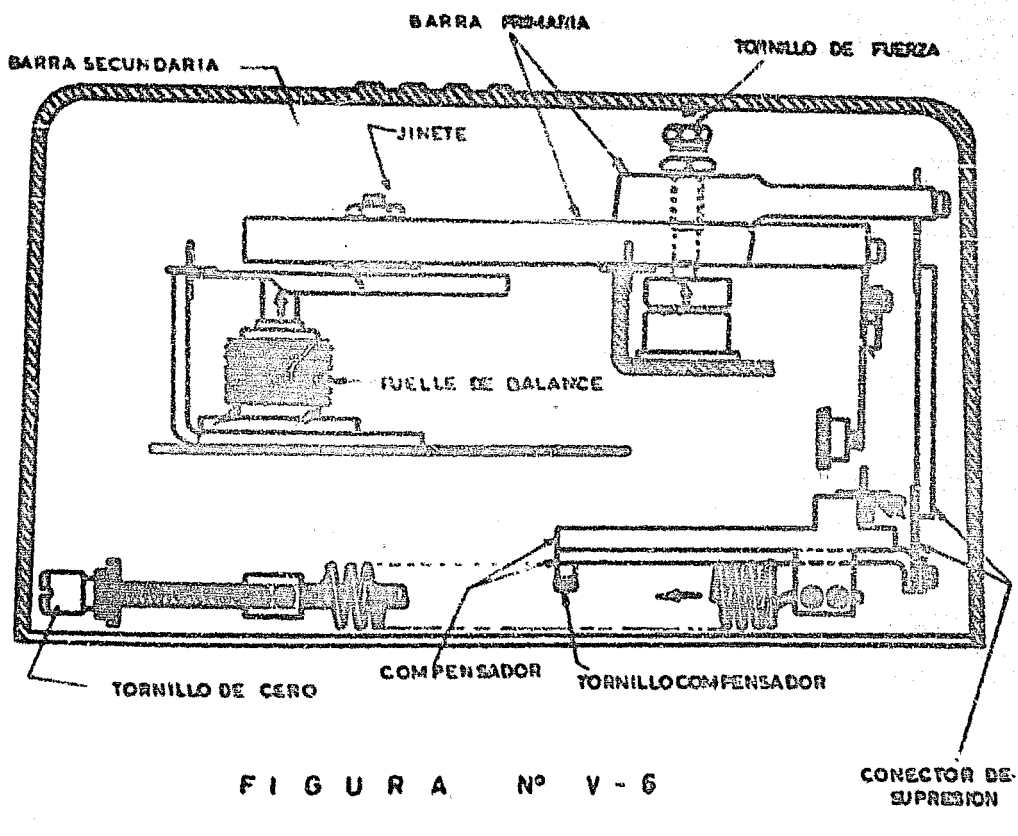


FIGURA Nº V - 6

TRANSMISOR DE PRESION MANOMETRICA

tobera, aumentando la presión del aire transmitido.

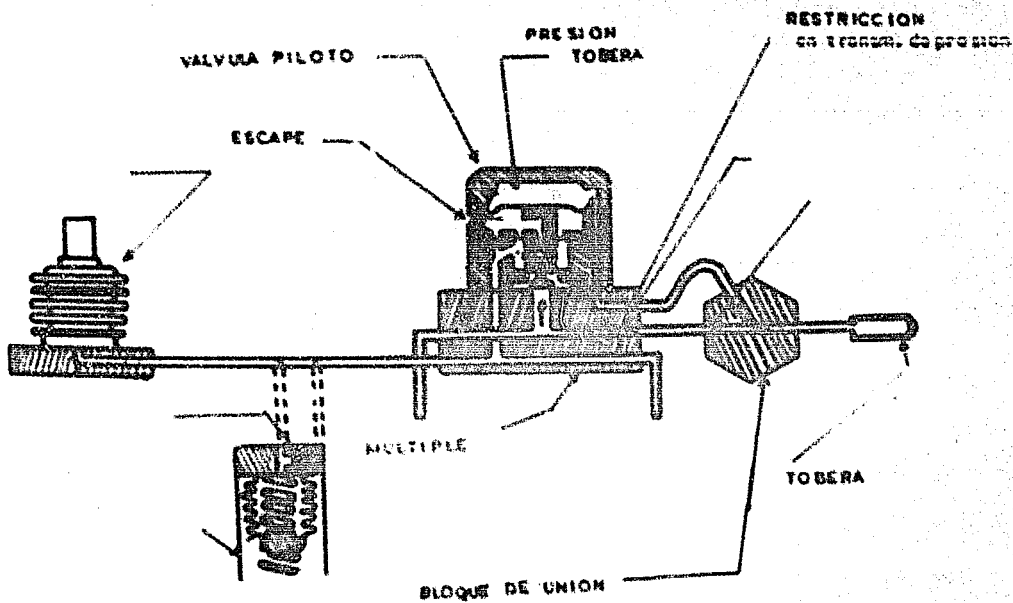
Esta misma presión se amplifica por una válvula piloto, y transmitida al fuelle retroalimentador. La fuerza resultante de esta presión se aplica al balancín secundario, en sentido -- contrario a la fuerza ejercida por la cápsula de diafragma. Se llega así a un equilibrio de las presiones, tanto de la cápsula de diafragma como a la del fuelle retroalimentador. Esto garan-- tiza una proporcionalidad de la presión transmitida con la va-- riable medida, según un coeficiente de multiplicación que depen-- de de la relación de los brazos de palanca restantes de la posi-- ción del jinete de ajuste de gama (D).

El resorte de supresión y de ajuste de cero, equilibra-- la fuerza inicial debida a la presión en la cápsula de diafrag-- ma. El cero del aire transmitido (3 psi) corresponderá a la -- presión mínima de la gama.

Este transmisor no necesita la compensación de tempera-- ra, el tornillo de ajuste (H) está situado en la posición en -- que no compensa por temperatura, es decir, en su posición más -- cercana al pivote.

La figura V-7 ilustra el sistema de transmisión neumáti-- ca.

La presión que se establece en la tobera al acercarse o



CIRCUITO NEUMATICO

FIGURA N° V-7

alejarse el obturador de ella, se transmite a la cámara de presión superior de la válvula piloto. Esto causa un movimiento del obturador de la válvula hasta que la presión que se establece en la cámara inferior está en proporción directa con la de la tobera, según una relación que es igual a la relación de las áreas de los diafragmas que limitan dichas cámaras. La función de la válvula piloto es la de poner la línea de transmisión y el elemento del aparato receptor en comunicación directa con la atmósfera o con la alimentación, según necesite disminuir o aumentar la presión. Las variaciones de presión así se pueden verificar más rápidamente, debido a la mayor cantidad de aire que se puede suministrar o sacar de la línea.

La unidad anticipatoria sirve para compensar los atrasos debidos a la transmisión neumática que pueden resultar dañinos al control. Se recomienda para cuando el receptor y controlador están instalados a gran distancia del transmisor y el proceso tenga velocidad de reacción muy elevada.

Para comprender el funcionamiento del conjunto de acción anticipatorias, supongamos que haya un aumento en la presión medida. Esto provoca, como se mencionó, un aumento de presión en la tobera. Este aumento de presión es transmitido a través de la línea de transmisión del aparato receptor, y a través de la unidad anticipatoria al fuelle retroalimentador, que-

está compuesta por:

1. Una válvula de aguja instalada en serie, con relación a la línea que va de la válvula piloto al fuelle retroalimentador.
2. Una capacidad variable, que consiste en el fuelle y dos resortes de balance, puestos en paralelo a la línea después de la válvula de aguja.

El aumento de presión antes descrito no puede entonces transmitirse instantáneamente al fuelle retroalimentador.

El volumen de aire necesario para que se verifique el aumento de presión tiene que pasar a través de la válvula de aguja. Además, debe pasar un volumen de aire adicional para llenar el fuelle de la unidad anticipatoria, después de la dilatación que se verificará en la misma, por efecto del aumento de presión. Entonces, el incluir dicha unidad provocará un atraso en la respuesta del fuelle retroalimentador, que, como se sabe, da una acción contraria a la de la cápsula de diafragma y, por lo tanto, contraria al aumento de la presión transmitida. Atrásándose así la acción restablecedora del fuelle retroalimentador por cierto periodo de tiempo, la acción de la cápsula de diafragma queda desbalanceada y en forma superior a la que debería de ser. El resultado es una amplificación temporal de la -

variable, que desaparecerá en el momento que, al terminar la variación de presión que el circuito de la válvula piloto, al fuelle retroalimentador entre en balance.

CALIBRACION DEL TRANSMISOR

La exactitud de este transmisor es de 0.5% de la amplitud de gama. Para su calibración se requiere un calibrador de peso muerto.

El comienzo de la gama, o sea, el punto más bajo de la amplitud requerida, se ajusta con el tornillo de cero. La parte alta de la escala, o sea, el punto más alto de la amplitud de gama requerida, se ajusta con el jinete deslizable en la barra primaria. Esto es solamente un ajuste grueso. El ajuste fino se lleva a cabo con el tornillo que mueve el fuelle del balance.

La presión del aire transmitido debe medirse con un manómetro graduado en milímetros de mercurio.

Puesto que para el control automático, tanto del flujo como de la presión, se requiere del mismo tipo de instrumento, es decir, del registrador y controlador con excepción del transmisor, no se menciona en esta parte correspondiente a la presión, ya que la función de los aparatos es la misma en ambos ca

tos; la del registrador indica la variable del proceso y transmitir al controlador una presión proporcional al valor prefijado; mientras que el controlador compara la variable del proceso con el valor prefijado y la posición del elemento final del control para mantener el valor de la variable del proceso en el punto deseado.

En la figura V-8 se ilustra el diagrama correspondiente al transmisor, registrador y controlador para el control de las dos variables.

REGULACION AUTOMATICA DE LA ESPUMA

Durante la fermentación aerobia, la introducción de grandes cantidades de aire para proveer de oxígeno a los microorganismos para su desarrollo, causa grandes problemas con la espuma. Los procesos de fermentación anaerobia generan gases como resultado del metabolismo de los organismos anaerobios.

Actualmente, los espacios reservados en el fermentador para este problema de espuma y aereación, son más fácilmente aprovechables por el uso de agentes antiespumantes químicos que pueden ser adicionados durante el periodo de fermentación, ya sea manual o automáticamente.

La espuma causa dificultades de control cuando se efectúa

FIGURA N° V - 8

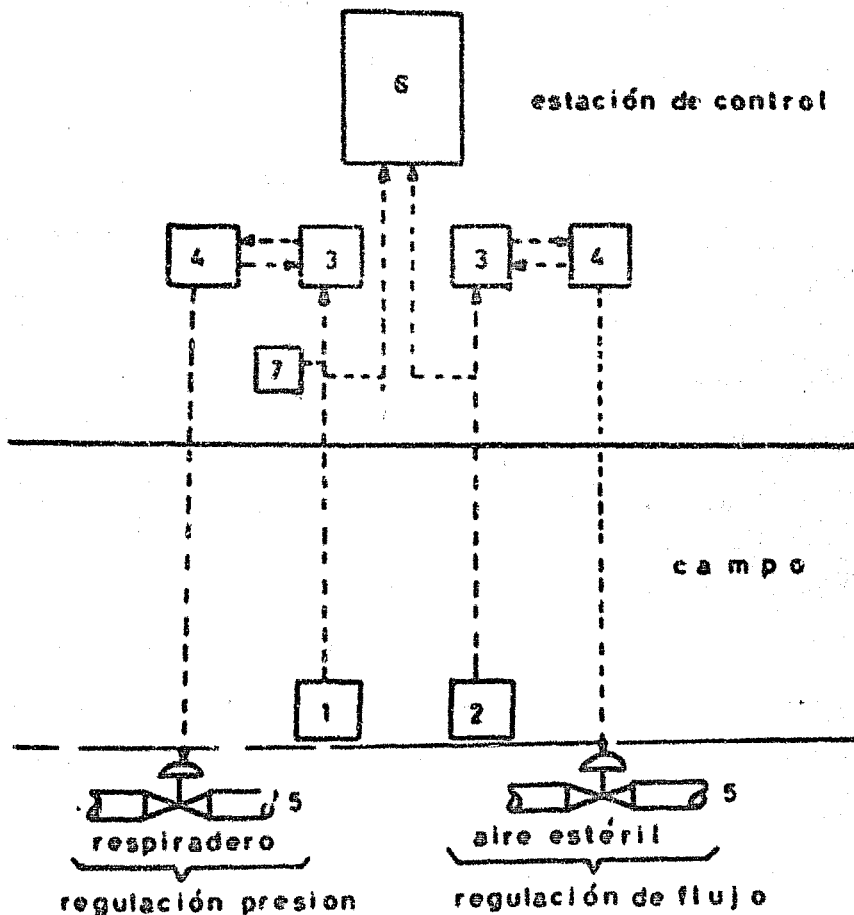


DIAGRAMA DE INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE FLUJO Y PRESIÓN

- 1. transmisor de presión
- 2. transmisor de presión dif.
- 3. registradores
- 4. controladores

- 5. válvulas de control
- 6. cuadro de alarmas
- 7. microinterruptor

túa la transferencia de cultura de tanque en cultivos de fermentación aeróbica continua. La alta resistencia debida al gran número de películas de líquido en contacto con las paredes de las tuberías requiere de la aplicación de presión de un rango de varias veces el valor que la requerida para el movimiento del líquido. Superficies activas de sustancias se usan generalmente para inhibir la espuma, entre ellas están: los silicatos, aceites minerales y vegetales, alcoholes, ésteres y varios ácidos.

Un agente antiespumante perfecto será aquel que destruya la espuma instantáneamente, y que tenga un efecto por largo tiempo y estar exento de efectos fisiológicos.

Se ha encontrado que la rapidez de transferencia de oxígeno decae en un 50% después de la adición de aceite. El logaritmo del decremento de $K_L a$ es una función del logaritmo de los espesores de películas de aceite en la interfase líquido-aire-burbujas. El decremento de la rapidez de transferencia de oxígeno baja también la posibilidad de utilización del mismo. Se han hecho estudios⁽²⁾ sobre la influencia desfavorable de los agentes antiespumantes en el metabolismo de los microorganismos, en los que se ha encontrado que varios ácidos formados por la descomposición enzimática de los aceites son los factores inhibitorios. El efecto tóxico de los aceites es proporcional al

contenido de lipasas en el medio.

La adición manual de los antiespumantes ha tenido varias desventajas y es, por lo tanto, reemplazado por el contacto automático con electrodos de alambre.

El sistema más comunmente usado para el control de la espuma es el que emplea electrodos de alambre con la espuma. El principio es el siguiente:

Un electrodo se coloca en la parte superior del tanque y un segundo a una distancia arriba del líquido, en una superficie aislada eléctricamente de las otras partes del fermentador, aplicando una corriente a este circuito abierto.

El circuito se cierra cuando la espuma alcanza el segundo electrodo (posición más alta), activando de esta manera el sistema relevador, el cual controla la válvula electromagnética que abre regulando el flujo del antiespumante al interior del fermentador.

La velocidad del flujo del agente antiespumante es controla por medio de una válvula de solenoide colocada en la tubería de descarga al fermentador. La válvula está controlada por un aparato amplificador registrador, el cual, cerrado el circuito, abre la válvula por una fracción de minuto hasta que el an-

tiempumante caiga, para lo cual se dispone de un registrador se-
ñalador para los intervalos de tiempo prefijados. Estos inter-
valos entre las dosificaciones particulares están determinados-
por el relevador retardador, el cual no permanece siempre abieg-
to, sino sólo cuando el circuito está cerrado. De esta manera,
se provee un exceso de antiespumante.

El equipo de control automático para esta regulación se
compone de lo siguiente:

Un controlador de nivel Versa-Tram, conmutador de con-
tactos consistente de un relevador electrónico, cuya aplicación
es mantener niveles de líquidos. Uno o más detectores de prue-
ba (electrodos) están en contacto con el líquido controlado, --
los cuales pueden ser suficientemente conductores para formar -
parte del circuito eléctrico.

El relevador electrónico suministra a los detectores un
pequeño potencial de corriente alterna. Cuando el nivel del lí-
quido alcanza el detector correcto, uno de los cuales puede ser
el conductor, el circuito se cierra y una corriente fluye (ma--
nor de dos miliamperes).

La válvula electromagnética está formada por un solenoi-
da, que se activa cuando pasa a través de él una corriente eléc-
trica, el núcleo del electromagneto actúa contra la presión del

resorte de la válvula, haciendo posible el flujo del líquido an
tiespumante.

La velocidad de flujo es controlada por medio de una re--
sistencia capilar durante el periodo de operación. El tiempo -
de operación y los intervalos entre las dosificaciones particu--
lares pueden ser regulados y determinar el flujo total.

Por último, viene la parte más importante del sistema -
controlador e indicador de nivel que está formado por el siste--
ma de circuito relevador destinado a realizar la secuencia de -
la regulación de nivel, como puede observarse en el esquema de--
la figura V-9.

FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO

Colocados los electrodos uno en contacto con el nivel -
del líquido, otro a cierta distancia del nivel de espuma, y el--
último a una altura mayor, se conectan entre sí, y éstos al in--
dicador de nivel que recibe una señal eléctrica que es amplifi--
cada y mandada al circuito relevador; éste, a su vez, activa al
solenoides de la válvula electromagnética que abre o cierra en -
intervalos indicados por el registrador de tiempo en fracciones
de minuto.

El propio circuito relevador está conectado a la esta--

ESQUEMA DE LA SECUENCIA DE LA REGULACION DEL NIVEL

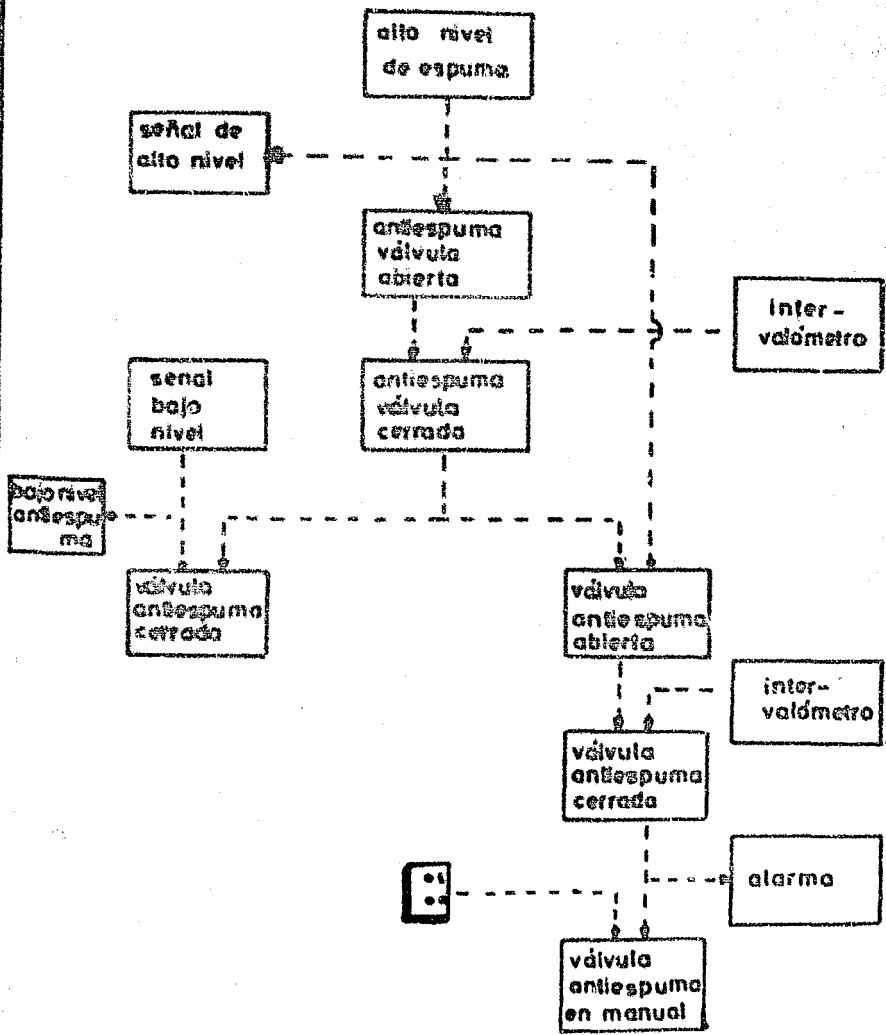
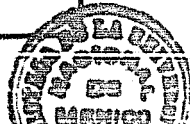


FIGURA N° V-9



ción general de control a un sistema de señales luminosas que -
son de: alto nivel, bajo nivel y alarma de nivel.

La secuencia del control es la siguiente: cuando se tie
ne alto nivel en la estación general de control, indica dicho -
efecto con la consiguiente abertura de la válvula para el paso-
del agente antiespumante.

Se cierra la válvula antiespumante después de un tiempo
prefijado por el registrador de tiempo.

La válvula antiespumante permanece cerrada si no se man
tiene la señal de alto nivel.

Si permanece la señal, se abre nuevamente después de un
tiempo prefijado. Esta reabertura de la válvula permanece ----
abierta por un tiempo prefijado por un segundo regulador de ---
tiempo, y después se cierra.

Si después del segundo funcionamiento de la válvula an-
tiespuma el nivel todavía persiste alto, funciona la señal de -
alarma de nivel. Si esto se verifica, la válvula puede ser re-
gulada manualmente.

Si, por el contrario, la señal luminosa de bajo nivel -
de espuma permanece, la válvula antiespuma se encuentra cerrada.

FUNCIONAMIENTO MANUAL

Con el conmutador auto-manual sobre la posición manual, la operación es abrir la válvula por medio de un botón que se adapta para tal propósito: el restablecimiento de la válvula para automático se verifica después de un tiempo prefijado.

O sea que, tanto en el funcionamiento automático como en el manual, la válvula del antiespumante funciona sólo en presencia de la señal de alto nivel.

Esta secuencia del control está representada esquemáticamente por el diagrama de bloques de la figura V-9.

Este es el sistema más comúnmente utilizado en la industria de la fermentación para el control de espuma por medio de agentes químicos antiespumantes.

Como se mencionó anteriormente, la espuma resulta durante la aereación y agitación, dependiendo su carácter de la composición del medio, pH y temperatura. Por lo tanto, es importante el conocimiento de las propiedades de la espuma de los respectivos cultivos para los propósitos de control en forma de espuma excesiva.

Existen otros métodos para la destrucción de la espuma por medios mecánicos, tales como discos, propelas o impulsores,

platos o elementos cónicos que pueden ser colocados en la fle--
cha del agitador, arriba de la superficie del líquido. Estos -
aparatos sólo son efectivos en contra de espumas fluidas. La -
espuma es lanzada contra las paredes del recipiente por la fuer-
za centrífuga a alta velocidad a la periferia y así destruida.

Igualmente, con esos aparatos, pequeñas cantidades de -
agentes antiespumantes pueden agregarse, trabajando con ciertos
medios nutrientes ricos en substancias despumantes, o por inyec-
ción de excesivas cantidades de aire.

CONTROL AUTOMÁTICO DE LA TEMPERATURA

La importancia que tiene esta variable en el desarrollo
de la fermentación se expuso ya en capítulos anteriores, y pue-
de decirse que durante el transcurso del proceso se necesitará-
de un control para mantenerse en un valor constante.

Es necesario aclarar que el proceso fermentativo tiene-
como condición fundamental efectuarse, en condiciones estériles,
es decir, el medio de cultivo o caldo de fermentación deberá es-
tar exento de cualquier otro microorganismo que no sea el que -
va a producir el antibiótico.

Para alcanzar tal condición de esterilidad existen di--
versos métodos; en este caso particular se logra a base de man-

tener durante un periodo de tiempo determinado una temperatura, generalmente superior a 100°C. Después de este periodo de esterilización, se somete al fermentador a un enfriamiento que conducirá a la temperatura de operación, que oscila alrededor de - 30°C.

Los instrumentos necesarios para un control automático-para la temperatura son: un indicador registrador en el cual se pueda registrar gráficamente el ascenso de la temperatura, con lo que se tiene un índice de la eficiencia de la esterilización, así como de los sistemas de calentamiento y enfriamiento. Y un controlador que asegure un valor constante en la temperatura -- complementará la automatización del control de esta variable. - Durante el proceso, la temperatura generalmente tenderá a subir, a causa de las reacciones bioquímicas que se están efectuando - en el fermentador: por esto, el controlador regulará el flujo - de agua fría a la camisa del fermentador. El controlador más - adecuado es del tipo neumático por la disponibilidad que se tie- ne de aire a presión en la planta de antibióticos.

El sistema de control de la temperatura se compone, pri- meramente, de un elemento sensible que consiste en un termóme-- tro de resistencia, cuya medición de la temperatura se basa en- el principio de la resistencia variable de un puente de wheat-- stone, es decir, el termómetro constituye en sí la resistencia-

variable de dicho puente. A una temperatura de 0°C, el puente está balanceado, pero al haber un cambio de temperatura, la resistencia del termómetro produce un desbalanceo, que es medido por un galvanómetro calibrado en unidades de temperatura (ver - fig. V-10). Las resistencias A, B y C son fijas y están hechas de un material que no varía con la temperatura ni con las varia ciones térmicas ambientales, mientras que la resistencia D que es la que constituye el elemento sensible, varía con la temperatura.

La lectura que la resistencia D ofrece por el paso de la corriente, es señalada por un galvanómetro, el cual no debe presentar desviación alguna cuando la resistencia D es cero o a la temperatura ambiente.

Cuando varía la temperatura de D, se produce en circuito galvanométrico un paso de corriente proporcional a la varia ción térmica. El galvanómetro generalmente consiste en una bobina móvil construida generalmente con alambre de níquel o de platino aislado con seda. Usualmente, la alimentación de corriente al galvanómetro es de 110 volts.

La acción del controlador se inicia cuando la aguja del galvanómetro se mueve debido a una varia ción en la temperatura. Esta varia ción es, a su vez, tomada por un registrador que por-

TRICENTRO DE RESISTENCIA

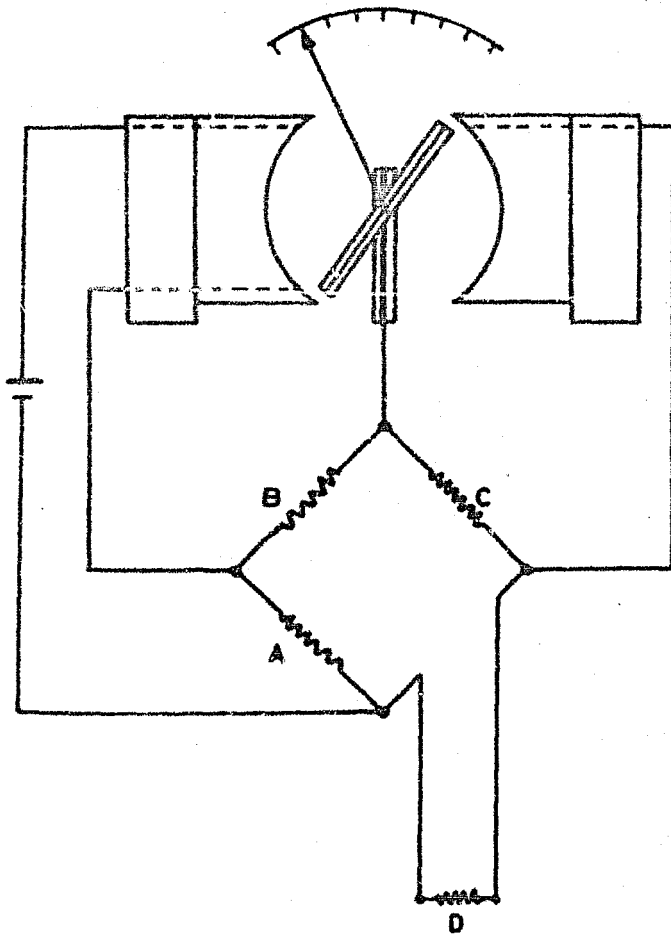


FIGURA N° V-10

TERMOMETRO DE RESISTENCIA

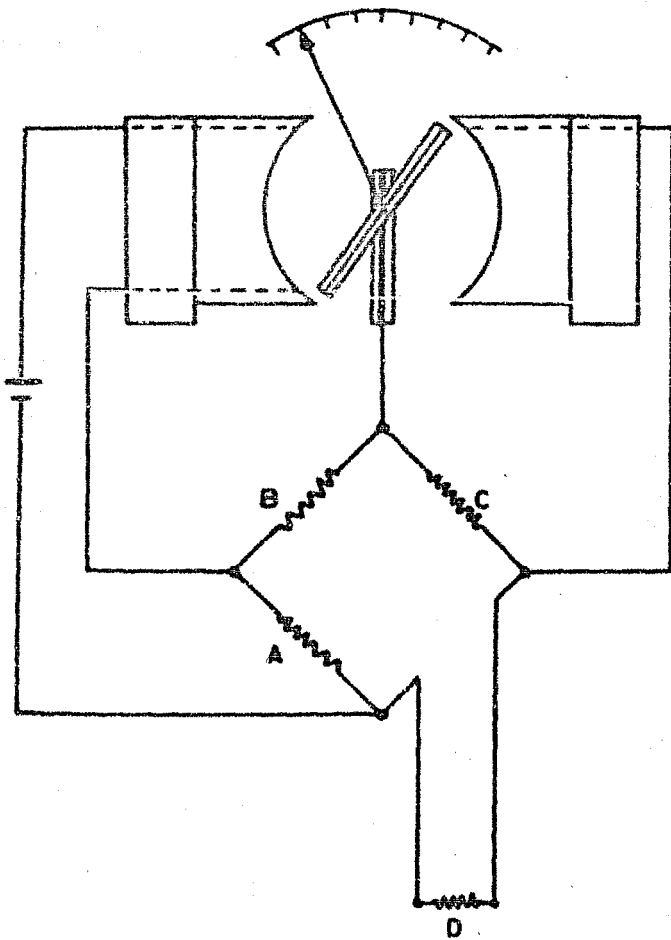


FIGURA N° V-10

medio de una pluma va marcando sobre una carta la trayectoria de la temperatura y a su vez acciona al obturador sobre la tobera para regular la cantidad de aire a la válvula que controla el flujo de agua a la cámara del fermentador. Esto está esquematizado en la figura V-11.

Puede verse que la cantidad de aire que llega a la válvula de control final depende de qué tanto se aleja el obturador de la tobera.

Se observará también que hay una restricción en la línea de suministro y dicha restricción es de un tamaño tal que, cuando la tobera queda totalmente descubierta por el obturador, no existe presión alguna entre la restricción y la tobera, ya que, de no estar esta restricción, el suministro de aire sería para fines prácticos ilimitado y, en consecuencia, aún con la tobera completamente abierta, la presión en la válvula no bajaría hasta la atmosférica.

El funcionamiento en conjunto del controlador puede observarse en el esquema de la figura V-12.

FUNCIONAMIENTO

El elemento sensible, o sea, el termorresistor, al producir un cambio en la temperatura provoca un movimiento en la

sistema básico de control de dos posiciones

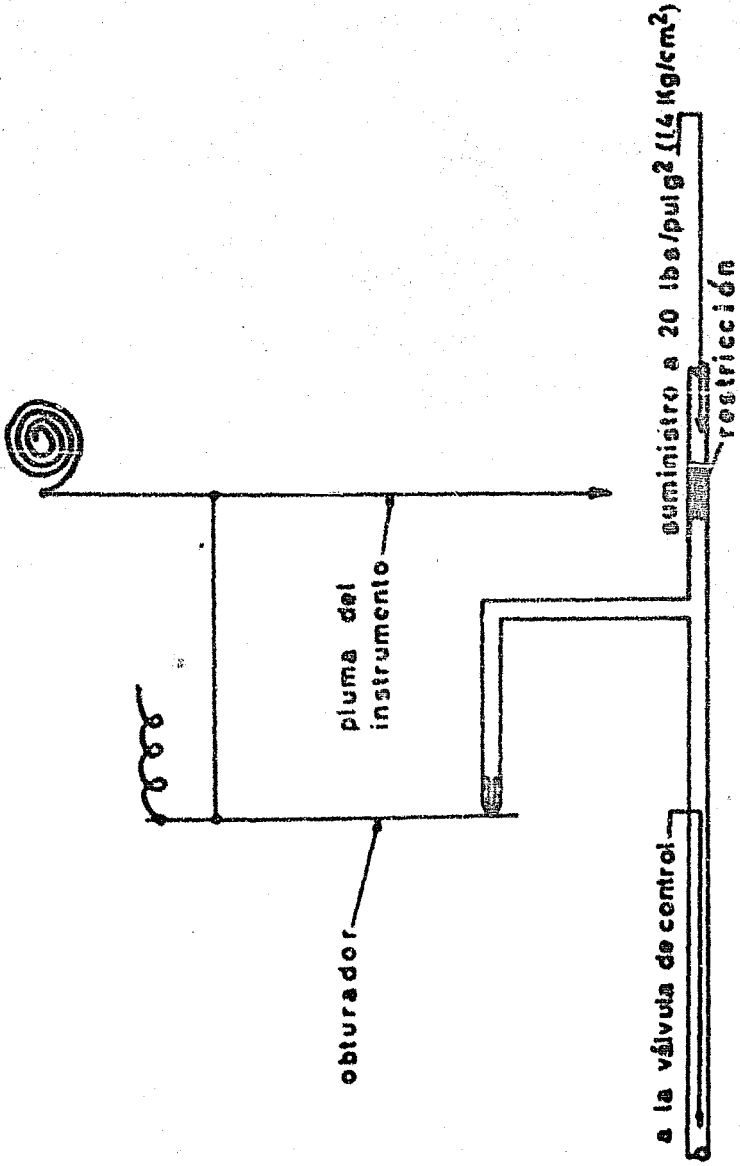


FIGURA N° V - 11

pluma del registrador, la cual a su vez, por medio de un juego de palancas, accionará al obturador para alejarse o acercarse a la tobera.

Un acercamiento o un alejamiento del obturador a la tobera traerá como consecuencia una regulación de la presión sobre la válvula del diafragma, por medio de una válvula piloto que enviará a la mencionada válvula de diafragma la cantidad precisa de aire para que abra lo necesario el paso de agua fría para mantener la temperatura en el punto establecido (ver fig. V-12).

En la válvula piloto, cuando el obturador cierra la tobera del instrumento y origina una contrapresión sobre el exterior del fuelle grande de la válvula piloto, obliga a dicho fuelle a bajar y, como el fuelle pequeño y el orificio de desfogue se encuentran unidos al fuelle grande, todo el sistema bajará y el orificio de suministro quedará descubierto debido a que el orificio de desfogue empujará el obturador recubierto con neopreno lejos del orificio de suministro, permitiendo a la válvula recibir la presión de la línea. Esta presión se conduce a la válvula de diafragma y al más pequeño de los fuelles internos.

Tan pronto como la presión a la válvula de diafragma y-

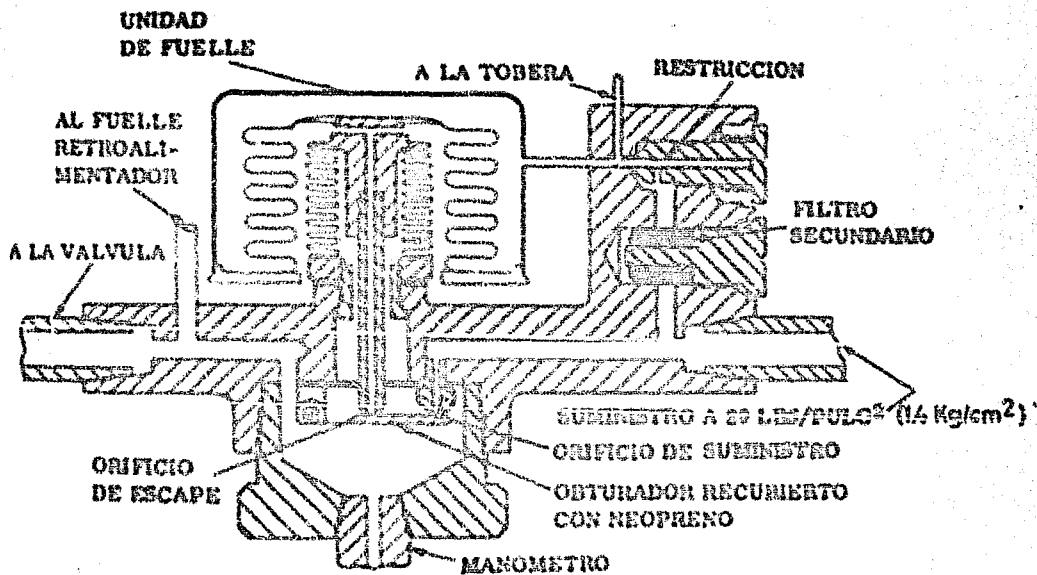


FIGURA N° V - 12

VALVULA PILOTO

al fuelle interno de la válvula piloto aumenta, este último fuelle comienza a oponerse a la acción del fuelle grande, contrarrestándolo hasta que queda establecida la relación 5 a 1 entre ambos fuelles. Cuando esto ocurre, ambos fuelles han regresado lo suficiente como para que el orificio de desfogue se retire del obturador y el orificio de suministro se cierre nuevamente.

En un segundo caso, cuando la pluma ha movido al obturador del instrumento lejos de la tobera, permitiendo que el aire suministrado por la restricción a la tobera se descargue a la atmósfera. Debe tenerse en cuenta que la tobera del instrumento se encuentra en condiciones de poder descargar a la atmósfera todo el aire que puede suministrar la restricción, dado que el diámetro de la tobera es el doble del diámetro de la restricción. Con la tobera del instrumento descargando esta presión a la atmósfera, toda la presión sobre el fuelle grande de la válvula piloto, será descargada también la atmósfera a través de la tobera, obligando al fuelle grande a subir debido a la presión que aún existe en el interior del fuelle pequeño. Este último fuelle sube también llevando consigo al orificio de desfogue, al cual separa del obturador en la válvula piloto. Esta acción permite que el aire sobre el diafragma de la válvula de diafragma, lo mismo que el aire del fuelle pequeño pueda escapar a la atmósfera a través del espacio entre ambos fuelles.

Esta descarga de aire se prolonga hasta que toda la presión en la válvula de control se ha descargado a la atmósfera o hasta que la relación 5 a 1 se establezca entre los dos fuelles, lo cual permite que el obturador cubra de nuevo tanto el orificio de descarga como el de suministro.

CONTROL PROPORCIONAL

En el caso del control de la temperatura en donde interesa que las variaciones alrededor del punto de control establecido no sean mayores de 0.5°C , es imprescindible que el controlador trabaje en forma proporcional para evitar un ciclaje del tipo de un controlador de dos posiciones.

En este tipo de controlador hay una y solamente una posición de la válvula para cada posición de la pluma dentro de la gama abarcada por las posiciones de "abierta" y "cerrada" de la válvula: a esta gama se le llama banda proporcional y su amplitud se expresa generalmente en porciento de la escala total del instrumento.

El ampliar la banda proporcional es un medio mecánico empleado en los instrumentos de control para obtener movimientos más pequeños de la válvula de control, para un movimiento dado de la pluma al alejarse del punto de control.

En el control de la temperatura interesa que dicha variable no cambie más de 1°C , ya arriba o abajo del punto de control, lo cual se consigue haciendo uso de un controlador que corrija automáticamente la desviación de la pluma, es decir, con-
reajuste automático.

Este tipo de controlador resulta ser el más adecuado, porque corrige automáticamente cualquier desviación de la pluma respecto del punto de control. La acción de este controlador principia precisamente cuando se presenta esta desviación de la pluma del punto del control y termina hasta que la pluma y el punto de control coinciden nuevamente; es decir, modifica la presión de aire a la válvula en la magnitud necesaria para mantener o regresar la pluma al punto de control, independientemente de los cambios habidos en el proceso. (Ver diagrama del controlador en la fig. V-13.)

El controlador consiste en un fuelle que es el proporcional del lado izquierdo de la figura V-13, dentro del cual existe un pequeño fuelle y a la derecha se encuentra un juego de fuelles similar. El espacio entre los fuelles se encuentra lleno con aceite, y ambos espacios comunicados por un tubo con una válvula de aguja. El fuelle exterior de la derecha que se ve en la figura V-13 se halla abierto a la atmósfera y sujeto a la presión de un resorte.

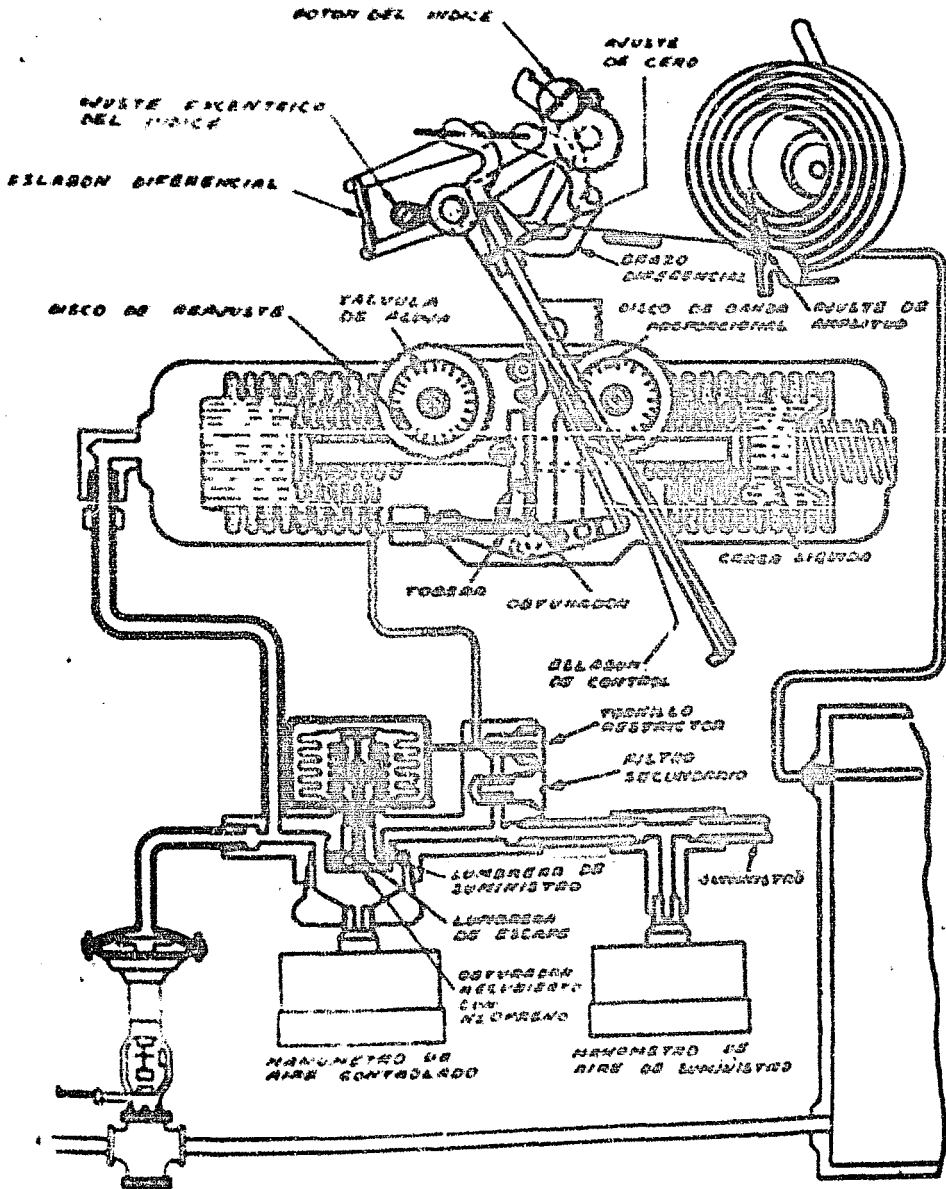


FIGURA Nº V-13

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CONTROLADOR

Los dos fuelles internos están provistos con resortes - compensados y rígidamente unidos por medio de una barra; esta - última por medio de un fulcro para el obturador.

Cuando un cambio de carga provoca que el obturador se - mueva hacia la tobera, se produce un aumento en la presión del - fuelle grande del lado izquierdo. El efecto inmediato de este - aumento de presión se transmite por medio del aceite al pequeño - fuelle interior, provocando que ambos fuelles se muevan hacia - la derecha, comprimiendo el resorte del pequeño fuelle izquier - do y estirando el resorte en el pequeño fuelle derecho. El re - sorto exterior del fuelle grande derecho también se comprime. - La acción combinada de los dos fuelles pequeños desplazándose - hacia la derecha, constituye la acción proporcional de la uni - dad, y al realizarse, separa el obturador de la tobera. Si no - se realizara esta acción, la pluma se establecería en un cierto - punto lejos del punto de control, pero si la pluma debe regre - sarse al punto de control, la válvula debe abrirse algo más. - Esta segunda acción se origina debido al desbalance que existe - entre los líquidos de los dos fuelles debido al aumento en la - presión en el fuelle izquierdo. Este desbalance entre ambos - fuelles ocasionará un flujo de aceite saliendo del fuelle de la - izquierda y pasando por la válvula de aguja hacia el fuelle de - recho. Este flujo de aceite permite que los dos fuelles inter -

nos comiencen a regresar hacia la izquierda, con lo cual el obturador se regresa lentamente hacia la tobera, cambiando la presión en la válvula de control, aun cuando la pluma permanezca estacionaria.

La unidad se encuentra en tal forma ajustada, que cuando la pluma regresa al punto de control, las presiones entre ambos fuelles son iguales y no fluye aceite. Si la pluma no regresa el punto de control, el aceite continuará fluyendo, moviendo gradualmente la válvula de control hacia la posición de "totalmente abierta", tratando de regresar la pluma al punto de control.

Si la pluma aleja el obturador de la tobera, sucede exactamente lo mismo, sólo que en sentido contrario.

La velocidad con la cual el reajuste automático opera depende de la abertura de la válvula de aguja, la cual es graduable por medio de un disco numerado de 1 a 10 en forma semejante al selector de banda proporcional. Si el disco se encuentra en la posición 10, la válvula se encuentra totalmente cerrada y no hay prácticamente acción de reajuste; en cambio, en la posición 1, se tiene la respuesta más rápida.

En consecuencia, este tipo de controlador percibe, por decirlo así, la duración y la magnitud de la desviación de la

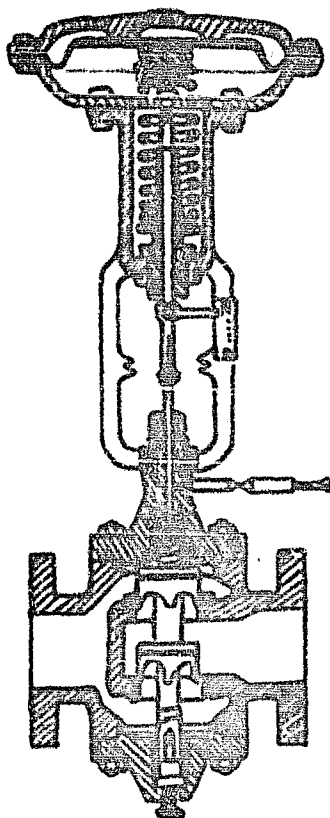
pluma respecto al punto de control y corregir completamente ambas características a base de establecer una gama completa de la válvula de control, para mantener el proceso en el punto de control.

ELEMENTO DE CONTROL FINAL

Este elemento viene a ser la válvula de control, que en este caso es del tipo de diafragma (fig. V-14). El tipo adecuado de válvula de control será aquel que en caso de una falla de aire, se tengan en el proceso las consecuencias menos perjudiciales: es decir, en el caso de la temperatura, una falla en el suministro de aire tendría consecuencias menos graves si la válvula de control quedara completamente abierta, o completamente cerrada, lo cual implicará un calentamiento en el medio fermentativo con peligro de descomposición del antibiótico o muerte del micelio, por lo cual es recomendable una válvula de acción directa, que permanecerá abierta completamente en caso de ocurrir una falla de aire.

DERIVACION INTEGRAL

La derivación integral consiste en una válvula de 4 pasos y un regulador de presión, y tiene dos funciones principales: la primera es proporcionar una derivación para el controlador neumático, con la posibilidad de poder cambiar de "control-



válvula de diafragma

FIGURA N° V-14

por instrumento" a "control manual" sin modificar la presión -- del aire controlado, permitiendo el ajuste o reemplazo del controlador neumático; la segunda es proporcionar un control ma--- nual de proceso.

En la figura V-14 se puede observar la conexión de la -- derivación al controlador. Puede verse que en el controlador -- la presión de aire controlado se mantiene en la unidad de con--- trol del instrumento en la operación manual como en la opera--- ción automática, lo que permite que el reajuste siga trabajando cuando el proceso está bajo control manual; en esta forma, el -- controlador puede disponer de control total al regresar de con--- trol manual a automático.

Cuando la válvula está en posición de automático, el -- flujo de aire a través del instrumento y del tablero para deri--- vación, se realiza en la forma ilustrada en la figura V-15. El aire para control manual termina en la válvula selectora, lugar donde queda cerrado. El aire de suministro se conecta por me--- dio de la válvula selectora al manómetro de aire suministrado y a la válvula piloto. El aire que va de la válvula piloto a la unidad de control, pasa primero por la válvula selectora. El -- aire a presión controlada sale de la válvula piloto y, por me--- dio de la válvula selectora, llega al elemento final de control. El proceso, por tanto, está bajo control automático.

Cuando la válvula selectora se halla en posición manual, el flujo de aire a través del instrumento y del tablero para derivación se efectúa como muestra la figura V-16. El aire controlado manualmente queda conectado por medio de la válvula selectora con el elemento final de control y con la unidad de control. Esto permite que el reajuste automático se equilibre de acuerdo con la presión de aire del control manual. El suministro de aire al instrumento queda conectado por medio de la válvula selectora con el manómetro de aire de suministro y con la válvula piloto. Tanto la presión que va de la válvula piloto a la unidad de control como la presión de aire controlado que sale de la válvula piloto, terminan en la válvula selectora, donde quedan obstruidas. El proceso está bajo control manual; el regulador de presión en el tablero para derivación controla la posición del elemento final de control.

Cuando la válvula selectora se encuentra en la posición de prueba, el flujo de aire a través del instrumento y del tablero para derivación es como se muestra en la figura V-17. El aire para control manual queda conectado por medio de la válvula selectora al elemento final de control. El aire de suministro queda conectado por medio de la válvula selectora con el manómetro de aire de suministro y con la válvula piloto. La presión que va de la válvula piloto a la unidad de control pasa primero por la válvula selectora. Por lo tanto, es posible pro

FIG. V-15

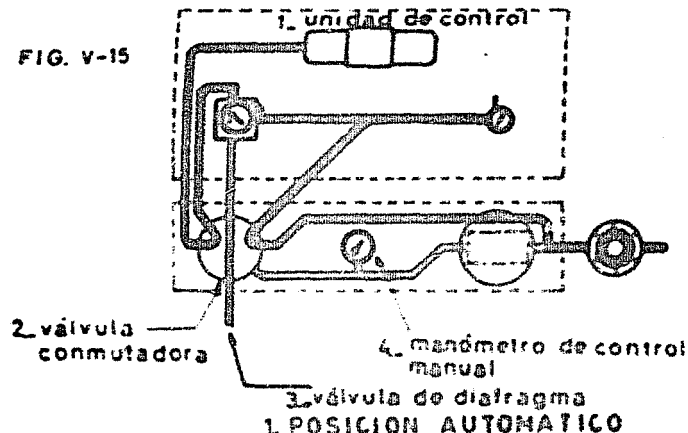
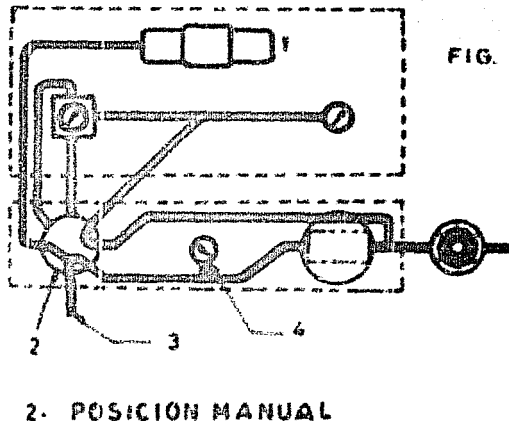


FIG. V-16



100

FIG. V-17

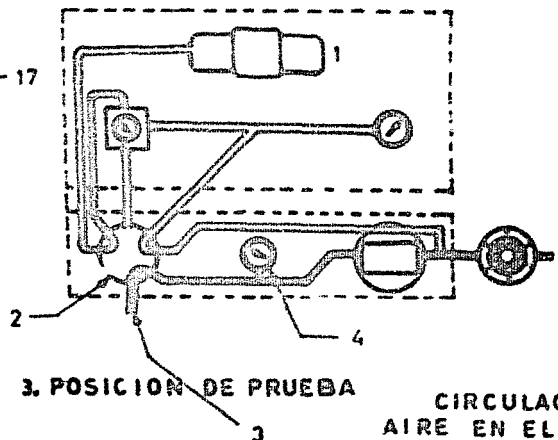
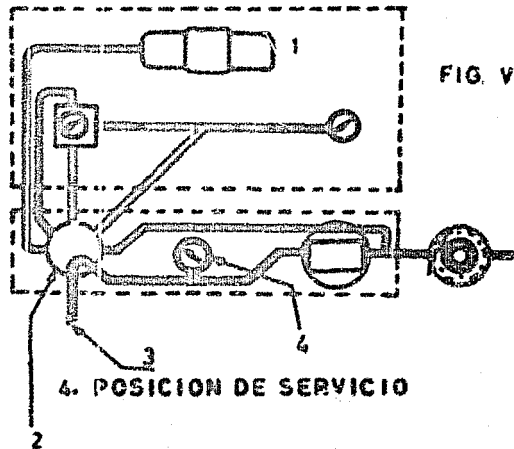


FIG. V-18



CIRCULACION DE
AIRE EN EL TABLERO
PARA DERIVACION
(BY PASS)

bar y ajustar el controlador neumático cuando la válvula selector está en la posición de prueba en tanto que el proceso se está controlando manualmente.

Cuando la válvula selector se encuentra en la posición de servicio, el flujo de aire a través del instrumento y del tablero para derivación se lleva a cabo como se muestra en la figura V-18. El aire para control manual se conecta a través de la válvula selector con el elemento final de control. El aire de suministro al instrumento queda bloqueado en la válvula selector. Todas las conexiones del instrumento quedan bloqueadas en la válvula selector. Dado que entra aire al instrumento, es posible dar servicio al mismo y reemplazar las partes necesarias o revisar la calibración del sistema de medición. Si se desea quitar el instrumento del tablero, con objeto de repararlo, puede hacerse mantenimiento, mientras tanto el proceso está bajo control manual.

CONTROL DEL pH CON ELECTRODO ESTERILIZABLE

GENERALIDADES SOBRE MEDICION Y CONTROL DEL pH

Ciertas soluciones tienen la propiedad de poseer mediciones electroquímicas tales como pH, dependiendo del efecto que tienen ciertos compuestos al disociarse en solución acuosa en forma de partículas diminutas cargadas eléctricamente conoci

das como iones.

Este grupo de compuestos denominados electrólitos, incluyen todos los ácidos y álcalis comunes, y prácticamente todas las sales.

Algunos electrólitos se ionizan completamente; otros, parcialmente. Igualmente, el agua pura se ioniza en cierto grado, produciendo pequeñas concentraciones de iones hidrógeno H^+ e iones hidroxilo OH^- . En el agua pura estas concentraciones son iguales prescindiendo de la temperatura. Además, el producto de las concentraciones de esos iones en alguna solución de agua es constante y es igual a 10^{-14} moles/litro de solución a $25^\circ C$.

A cambio de temperatura, el grado de ionización cambia también.

BALANCE DE IONES HIDROGENO E HIDROXILO

De este efecto han resultado las siguientes conclusiones: hay siempre un balance dinámico entre las concentraciones de iones hidrógeno e hidroxilo. Los ácidos son, por lo tanto, soluciones en las cuales las concentraciones de iones hidrógeno son altas, y están fuera de balance los iones hidroxilo. Lo inverso es verdadero para soluciones básicas o alcalinas.

Una solución puede ser más o menos ácida por medio de la adición de un electrolito, el cual contribuye a la concentración del ion hidrógeno libre. Por otro lado, la fuerza ácida de una solución puede ser decrementada a través de la adición de una sustancia, la cual absorbe iones hidrógeno libres, dando origen a la mayor libertad de iones hidroxilo.

Los términos débil y fuerte, aplicados a ácidos y bases son puramente indicaciones relativas del balance entre iones hidrógeno e hidroxilo.

DESARROLLO DE LA ESCALA DEL pH

Para evitar el uso de números negativos y fracciones, se creó una escala bajo la definición de $\text{pH} = -\log_{10} (\text{H}^+)$, es decir, el pH es numéricamente equivalente al logaritmo de la concentración de iones hidrógeno con signo negativo. El pH del agua pura es 7, puesto que hay 10^{-7} moles de iones hidrógeno en un litro de agua a 25°C y el $\log_{10} = -7$.

La tabla V-1 indica la escala de pH.

CONCENTRACIONES	IONES H	pH	
10.0	10 ⁺¹	-1	Acido fuerte
1.0	10 ⁻⁰	0	
0.1	10 ⁻¹	1	
0.01	10 ⁻²	2	
0.001	10 ⁻³	3	Incremento de
0.000,1	10 ⁻⁴	4	acidez
0.000,01	10 ⁻⁵	5	
0.000,001	10 ⁻⁶	6	
0.000,000,1	10 ⁻⁷	7	Neutro
0.000,000,01	10 ⁻⁸	8	
0.000,000,001	10 ⁻⁹	9	
0.000,000,000,1	10 ⁻¹⁰	10	
0.000,000,000,01	10 ⁻¹¹	11	Incremento de
0.000,000,000,001	10 ⁻¹²	12	alcalinidad
0.000,000,000,000,1	10 ⁻¹³	13	
0.000,000,000,000,01	10 ⁻¹⁴	14	Base fuerte

TABLA V-1. Escala de pH

La concentración de iones (OH⁻) puede determinarse por la fórmula:

$$[H^+] [OH^-] = 10^{-14}$$

SISTEMA DE MEDICION

El método de medición electrométrico de pH está presentado en la figura V-19. Se usan electrodos y un compensador de temperatura. Uno cambia de potencial con un cambio de pH; el otro desarrolla un potencial de referencia constante. En aplicaciones industriales los más comunmente usados son los electrodos de vidrio.

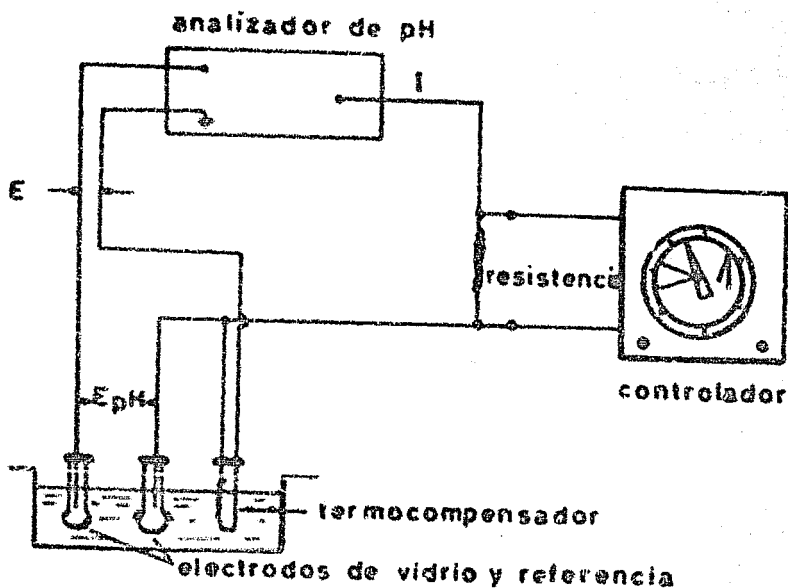


diagrama del circuito para la medición del pH

FIG. V-19

El electrodo de referencia es generalmente del tipo de plata-cloruro de plata. Puede tolerar altas temperaturas mejor que el tipo de mercurio-calomel.

Cuando los dos electrodos son sumergidos en una solución electrolítica contenida en una celda, el voltaje de salida es la suma algebraica de los voltajes desarrollados por cada electrodo. El potencial de salida, E_{pH} , es alimentado a un amplificador de alta impedancia. La fase de salida o corriente producida I del amplificador pasa a través de la resistencia

del compensador de temperatura etc., desarrollando un voltaje a través de la resistencia del compensador de temperatura, la cual balancea el voltaje de entrada. Esta acción de balanceo mantiene el flujo de corriente en la entrada del circuito a un valor muy bajo. El termocompensador, como la resistencia compensadora de temperatura, deben mantenerse sumergidas en la solución de prueba. Sus cambios en la resistencia compensan los efectos de temperatura en los electrodos. La corriente también fluye a través de una resistencia registradora, produciendo un voltaje de salida, la cual actúa sobre un potenciómetro. Este sistema mide exactamente el pH a la temperatura de operación.

MEDICION Y CONTROL DE pH

La concentración de iones hidrógeno, pH, es el parámetro más generalmente medido y controlado, el cual es directamente leído en el curso de un proceso de fermentación.

En el control automático de la concentración de iones hidrógeno en el curso de los cambios de pH por el metabolismo celular, es medido y registrado o es medido y simultáneamente controlado. Un sistema automático consiste básicamente de tres partes, que son:

1. Los electrodos, medidores de vidrio y calomel.

2. El aparato compuesto de la medición: registrador y controlador.
3. Los recipientes para soluciones ácidas y alcalinas.

En cultivos microbiológicos, el pH está generalmente -- controlado por uno u otro, un álcali o ácido, y solamente en ca sos especiales por medio de ambas soluciones simultáneamente.

El control de las soluciones está relacionado con los recipientes y la ayuda de válvulas de diafragma electromagnéticas con velocidad de flujo ajustable, y válvulas controladas -- neumáticamente a través de un relevador activado por un campo o una válvula solenoide. La dosificación será gradual y carrará según la indicación del electrodo para evitar las desviaciones -- alrededor del valor controlado.

Para el control automático continuo en la medición de -- pH, se requiere que los electrodos estén en contacto constante con el caldo químico, previa inserción en el medio por controlar. En el fermentador se considera peligroso, porque reprosenta un riesgo constante por grado de contaminación en producciones batches: sin embargo, para este control, se ha hecho espe-- cialmente un electrodo esterilizable, sumergido en el caldo fermentado y usando vapor para su esterilización.

En la cámara destinada para el electrodo, se coloca el-

electrodo de vidrio resistente a altas temperaturas. Está provisto de 2 metros de cabo especial, siendo su campo de medida de 0 a 10 de pH y la temperatura máxima de ejercicio de 10 a 130°C.

El electrodo de referencia consta de un alambre de plata-cloruro de plata fundido en platino, con las mismas características que el electrodo de vidrio.

Para la presión de igualación en este electrodo, se coloca un tapón de hule en un tubo de vidrio que va insertado dentro del recipiente de cloruro de potasio. Un tubo capilar invertido se coloca dentro del tubo de prueba, el cual está lleno de lana de vidrio para evitar la entrada del contenido del fermentador, lo que requiere de especial atención en su construcción. El electrodo de referencia es práctico, no así el electrodo de vidrio, ya que ocasiona roturas por el paso de la humedad en el tope de los electrodos. Esta humedad no es del fermentador, sino del vapor que entra a la cámara a través de la abertura de los alambres. Para resolver este problema de esterilización con vapor, se seleccionaron los electrodos de control de pH, según se muestra en la figura V-20 junto con el termocompensador, cuyas características de operación son iguales para el electrodo de vidrio mencionadas anteriormente.

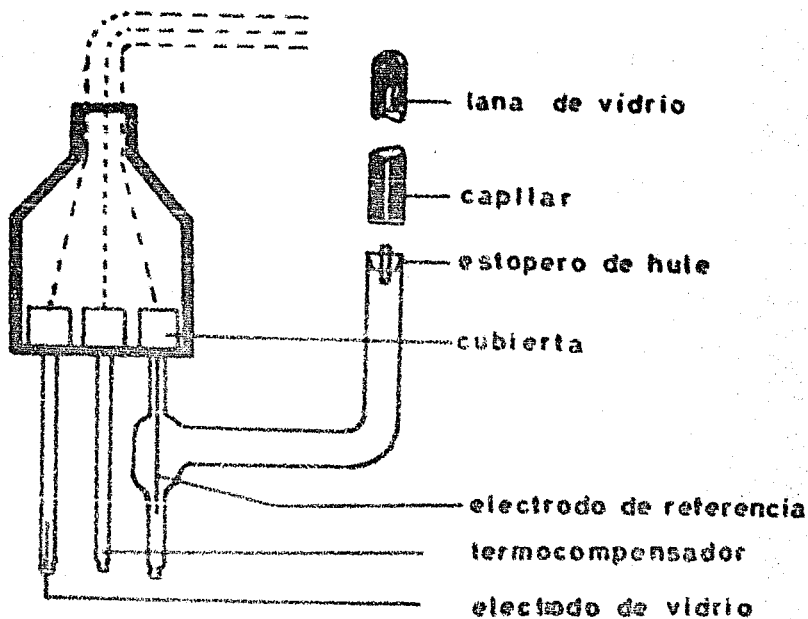


FIG. V-20

Los electrodos van montados en el fermentador en contacto con el caldo a medir sobre portaelectrodos, particularmente, cuyo material es acero inoxidable.

La medición del pH se hace por conexión de los electrodos a una amplificación de pH recomendado para instalación donde la distancia entre registrador y electrodos es más de 200 -- pies, el rango de medida es de 0 a 14 de pH, y la señal de corriente al registrador es de 4 a 20 ma; corriente 115 V 50/60 - ha.

El analizador está provisto también con un sistema de -

alarma.

El analizador se conecta a su vez a un controlador registrador indicador electrónico del tipo Air-o-line. Este controlador reúne las funciones de banda proporcional ajustable en un amplio margen y reajuste automático en la misma unidad. La banda proporcional es ajustable desde dos posiciones hasta 150; el ajuste automático tiene una gran variedad de colores.

Existen dos funciones que lleva a cabo esta unidad: la primera es efectuar una acción correctiva en la válvula de control, acción que es proporcional a la desviación de la pluma -- respecto al índice de control; la segunda es efectuar una acción correctiva más completa proporcional tanto al tiempo transcurrido como a la desviación de la pluma con respecto al índice de control.

El posicionamiento de la válvula de control es proporcional a la desviación de la pluma respecto al índice de control. Además, el funcionamiento de reajuste es flotante, de modo que cualquier tendencia del proceso a producir una desviación característica en el registro del controlador, es automáticamente contrarrestada por un movimiento correspondiente de la válvula de control.

Esta unidad mantiene un control exacto del pH en cual--

quier proceso en el que la combinación de retrasos y cambios en la demanda no es muy grande. Debe operarse en forma tal que la banda proporcional sea lo más angosta posible y con una acción de reajuste tan rápida como lo permita el proceso, sin que se presenten oscilaciones sostenidas.

Este tipo de control, como se mencionó en el control -- del flujo, presión y temperatura, requiere de la derivación de control (by-pass) consistente en una válvula de cuatro vías, un manómetro y un regulador de presión; dos son sus funciones principales:

a) La primera es proporcionar una derivación para el -- control neumático, con la posibilidad de poder cambiar de control por instrumento a control manual sin modificar la presión del aire controlado, permitiendo ajuste o reemplazo del controlador neumático.

b) La segunda es proporcionar un control manual del proceso.

Puede usarse también como registrador controlador e indicador de pH, un registrador universal electrónico de varios puntos, ya que puede registrar con facilidad de 2 a 24 puntos -- mediante el simple cambio de conexiones, así como de la apropiada ruta indicadora del instrumento.

quier proceso en el que la combinación de retrasos y cambios en la demanda no es muy grande. Debe operarse en forma tal que la banda proporcional sea lo más angosta posible y con una acción de reajuste tan rápida como lo permita el proceso, sin que se presenten oscilaciones sostenidas.

Este tipo de control, como se mencionó en el control -- del flujo, presión y temperatura, requiere de la derivación de control (by-pass) consistente en una válvula de cuatro vías, un manómetro y un regulador de presión; dos son sus funciones prin cipales:

a) La primera es proporcionar una derivación para el -- control neumático, con la posibilidad de poder cambiar de con-- trol por instrumento a control manual sin modificar la presión-- del aire controlado, permitiendo ajuste o reemplazo del contro-- lador neumático.

b) La segunda es proporcionar un control manual del pro ceso.

Puede usarse también como registrador controlador e in-- dicador de pH, un registrador universal electrónico de varios -- puntos, ya que puede registrar con facilidad de 2 a 24 puntos -- mediante el simple cambio de conexiones, así como de la apropia-- da ruta indicadora del instrumento.

Este aparato es de gran versatilidad y utilidad en procesos industriales, donde el número de puntos por registrar cambia frecuentemente, o donde sea necesaria la substitución de los elementos sensibles o el campo de medida.

Para este caso se recomienda, por la razón de conectarlo a los microinterruptores para la señal de alarma para alto y bajo nivel, que consta del indicador visual escrito bajo control, e iluminado posteriormente de dos lámparas en paralelo. El circuito de alarma realiza la siguiente secuencia:

CONDICION	LUZ	SIRENA
Normal	Apagada	Callada
Alarma	Pulsante	En sonido
Reconocimiento	Fija	Callada

El pH controla de esta manera en forma adecuada, causando mínima variación durante el proceso de la fermentación por la adición del ácido o la base. En la gráfica V-1 se demuestra lo anteriormente dicho, por dos fermentaciones para un antibiótico de las mismas características. Dicha gráfica presenta la línea gruesa y que es controlada automáticamente, según lo antes descrito. La fermentación sin control de pH está representada por la línea punteada bajo las mismas condiciones.

El medio usado en ambas normalmente causa una elevación

en el pH después de 68 a 92 horas de desarrollo, con una descomposición y una caída en la producción.

El control puede ser \pm unidades de variación en el pH - deseado, por lo tanto, cada sensibilidad grande puede estar ahorra acompañada rutinariamente con este sistema de control del pH.

El control satisfactorio en producción ha sido obtenido a varios niveles de pH, entre el rango de 4.5 a 7.5.

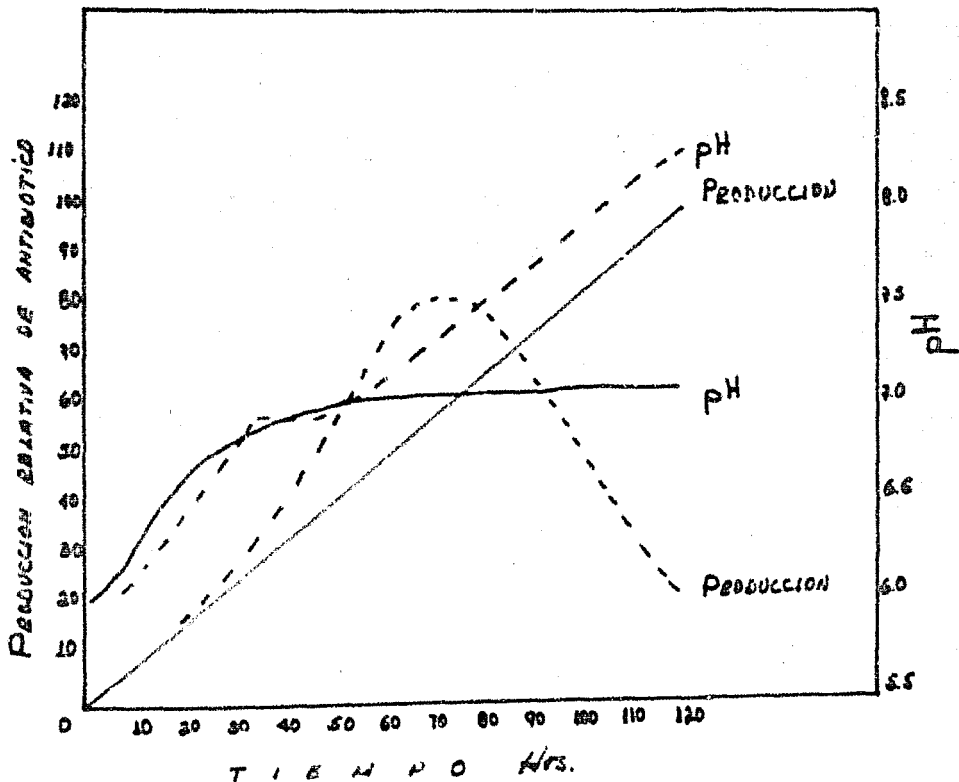
CONTROL DE LAS SUBSTANCIAS NUTRIENTES

El abastecimiento de las sustancias nutrientes al fermentador se programa de acuerdo con los resultados que aporta - el autoanalizador, ya que en ellos se refleja la necesidad en -- forma cuantitativa, que tiene el medio fermentativo de esa solución.

Para el caso de la producción de antibióticos, las subtancias nutritivas se alimentan en forma líquida, es decir, en el tanque alimentador se mezclan el sólido soluble, en agua generalmente, y se tiene en continua agitación, con lo cual se -- tiene una solución perfecta.

Las tuberías que comunican al tanque alimentador con el fermentador, se esterilizan con vapor de 2 Kg/cm^2 , previamente a la adición de los nutrientes.

Variación del pH durante la fermentación por adición de ácido o base.



GRAFICA V-I

Una vez cargado el tanque alimentador, se esteriliza si multáneamente con su carga, calentado con vapor, hasta alcanzar la temperatura de esterilización. Posteriormente se le enfría a unos 30°C y se le mantiene con una presión superior a la del fermentador (usualmente el doble), para producir por medio de esa diferencia de presiones el flujo de la solución. Ver la fi gura V-21.

La dosificación de cada nutriente se regulará por medio de unos rotámetros del tipo que se ilustra en la figura V-21.

Este rotámetro, debido a las características de su arma zón, permite la posibilidad de esterilizarlo simultáneamente -- con la línea.

CARACTERISTICAS DEL ROTAMETRO

El tubo medidor está descubierto por una funda de acero inoxidable. En la parte inferior tienen un tapón de rosca perfectamente empacado, destinado a la limpieza o inspección del rotámetro.

Un anillo indicador magnético recorre la superficie interior del tubo de vidrio de la escala de precisión. Los anillos en ambos extremos del tubo de la escala protegen del polvo o basurillas y evitan empañamiento o corrosión.

ROTAMETRO PARA REGULACION DE NUTRIENTES

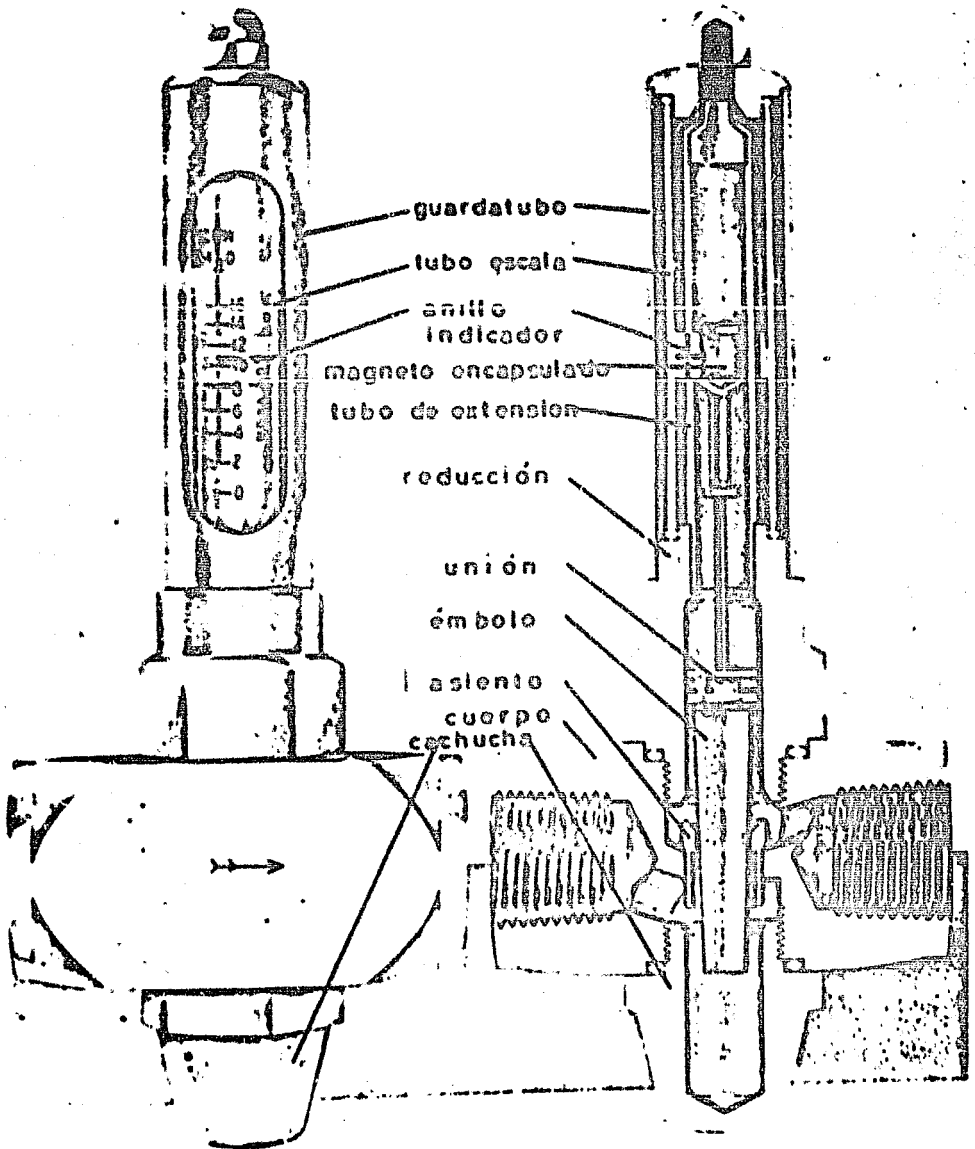


FIGURA Nº V - 22

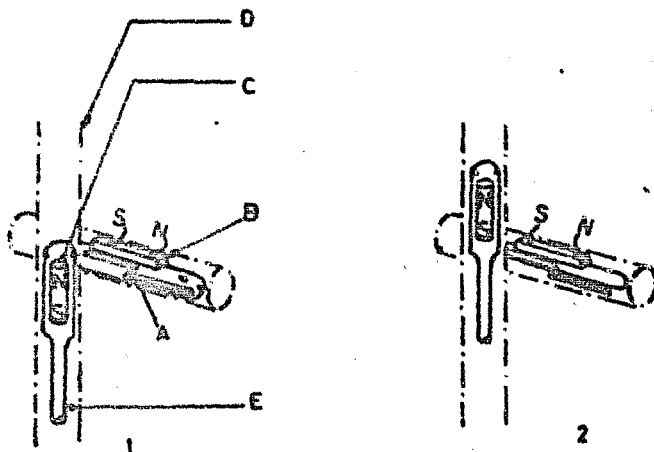
Como complemento a este rotámetro y para tener un margen de seguridad en este control, es necesario contar con una alarma que en forma visible o audible controle de una manera auxiliar, siempre que el flujo alcance un máximo o un mínimo. -- Ver la figura V-22.

El circuito eléctrico de la alarma está sellado herméticamente y opera en una atmósfera de hidrógeno. El relevador está debidamente encerrado en una cubierta de plástico. Los componentes están montados en una fuerte base de aluminio y poseen una alta resistencia al golpe y a la vibración.

En la figura V-22 se puede observar que A es un interruptor de boquilla que está unido por medio de un material aislante con el magneto inductor. Este magneto, mientras no fuerza lo suficiente para cerrar el interruptor, tiene fuerza suficiente para mantenerse cerrado; C es un magneto encapsulado en la parte superior de la varilla del flotador. Atraviesa de arriba hacia abajo en la extensión del tubo D, como va cambiando el flujo a través del medidor.

En los diagramas anteriores se muestra el interruptor montado, de manera que cierre con un aumento del flujo. Cuando la extensión flotante del magneto C está en la posición mostrada en el diagrama 1 de la figura V-22, o más bajo, la acción --

OPERACION DE LA ALARMA



- A. interruptor de boquilla
- B. asiento del magneto
- C. extensión del flotador magnético
- D. extensión del tubo
- E. extensión de la varilla del flotador

FIGURA N° V - 22

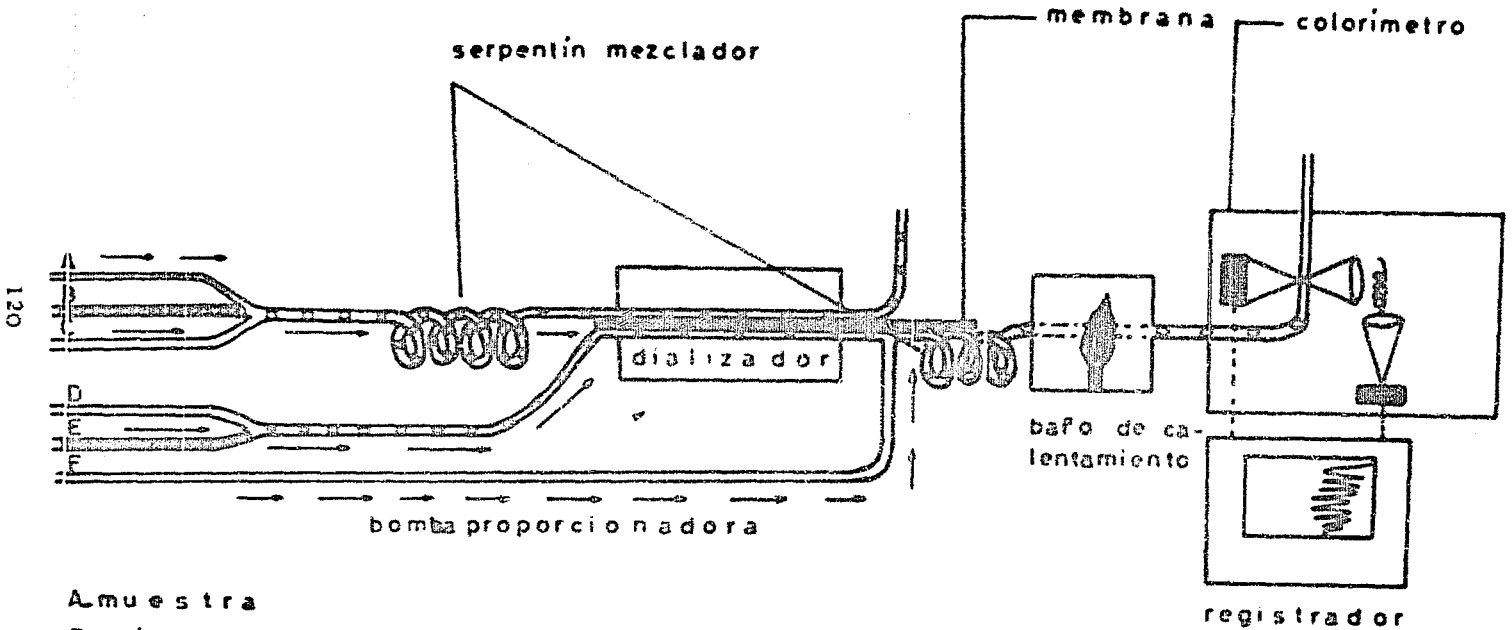
combinada de los polos norte y sur reduce la acción "cerradora" del interruptor y permanece abierto. Cuando la extensión flo-- tante del magneto aumenta a la posición mostrada en el diagrama debido al flujo incrementado, refuerza al magneto inductor B lo suficiente para cerrar el interruptor A. Si el flotador continúa aumentando, el magneto inductor B mantiene el interruptor A cerrado. Permanece cerrado hasta que un descenso en el flujo - al magneto C a una posición que permita al polo norte debilitar el campo del magneto hasta que el interruptor abre.

CONTROL CONTINUO DEL SISTEMA (AZUCAR, NITROGENO Y TITULO) POR MEDIO DE UN AUTOANALIZADOR

El control y análisis automático de procesos biológicos es mucho más complejo que los procesos químicos normales.

La complicación consiste en el cambio con el tiempo de la concentración de los compuestos particulares y de las propiedades físicas y químicas durante el cultivo batch. El microorganismo biológico es muy sensible a las condiciones externas de reactivos por su variabilidad y adaptabilidad. Un proceso biológico complejo es a menudo solamente parcialmente aclarado y - no ofrece suficientes datos para el control automático.

La determinación automática y su consecuencia lógica, - control de la concentración de algunos nutrientes fundamentales



- A_muestra
- B_aire
- C_reactivo
- D_reactivo
- E_aire
- F_reactivo

CIRCULACION DE REACTIVOS EN EL AUTOANALIZADOR

como azúcar, nitrógeno y título del proceso requiere del diseño de nuevos instrumentos con elementos sensibles ajustados para trabajar bajo condiciones estériles.

Para lograr dicho propósito, el autoanalizador es una perfecta aplicación para los principios de análisis colorimétricos continuos para la automatización práctica del sistema. Su operación es automática y bajo supervisión humana con alto grado de exactitud y reproducibilidad.

Consta de siete separados módulos, los cuales pueden colocarse o arreglarse en el mejor espacio disponible; en línea recta uno tras otro, o ensamblados en cuatro, conectados solamente por tubos de plástico.

La función de cada unidad se describe a continuación; las partes son:

1. Frasco de reactivos
2. Plato muestreador
3. Bomba dosificadora
4. Dializador
5. Baño de calentamiento
6. Colorímetro
7. Registrador de gráficas

Un diagrama de bloques indica la forma de colocación del

aparato en la figura V-23.

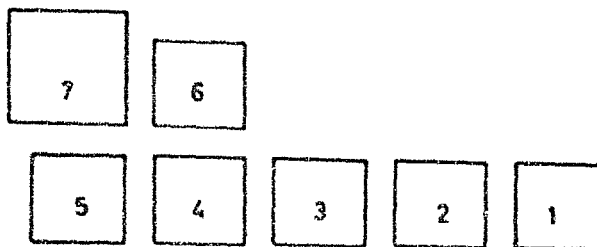


FIG. V-23

FRASCOS DE REACTIVOS

Se colocan en ellos los reactivos específicos para cada determinación en particular, es decir, reactivos para la determinación de azúcar, nitrógeno y título del caldo fermentado. -- Se utilizan solamente las sustancias para cada caso, haciendo el cambio respectivo de los mismos cuando se desee conocer cualquiera de las tres variables.

PLATO MUESTREADOR

Las muestras se colocan en pequeños vasos sobre el plato. En éstos no es necesario medir una determinada cantidad de muestra o ponerla, sino que esta cantidad puede ser tomada al azar.

Cuando las muestras son depositadas, el plato comienza su rotación, con una rapidez seleccionada de antemano según el-

número de análisis por hora que se deseen.

Estándares conocidos acompañan a las muestras desconocidas como controles. Por razones evidentes de lectura, los estándares conocidos con intercalados con las muestras desconocidas en intervalos periódicos. En el campo del sistema ambas están sujetas exactamente a las mismas condiciones con las que empezarán y hasta su terminación: los estándares actúan como controles infalibles al final de la lectura. Por ejemplo, en la determinación del nitrógeno, la primera muestra entrará con una concentración de 10 mg %, la veinteaava a 30 mg % de concentración y al final del control a 100 mg %. Estos tres estándares - tratados en la primera forma, y siguiendo exactamente el mismo proceso para las muestras desconocidas, dará una respuesta final con la exactitud de la lectura analítica.

Entre sus inmersiones en las muestras sucesivas, el gancho recogedor aspira aire continuamente. Esta acción es extremadamente importante y sirve con un doble propósito:

1. Mantiene una barrera entre las muestras como van fluyendo a través de los varios pasos, previniendo así que una muestra se contamine con otra.

2. Las burbujas de aire actúan con una influencia sacadora en el sistema tubular, barriendo continuamente residuos de

número de análisis por hora que se deseen.

Estándares conocidos acompañan a las muestras desconocidas como controles. Por razones evidentes de lectura, los estándares conocidos son intercalados con las muestras desconocidas en intervalos periódicos. En el campo del sistema ambas están sujetas exactamente a las mismas condiciones con las que empezarán y hasta su terminación: los estándares actúan como controles infalibles al final de la lectura. Por ejemplo, en la determinación del nitrógeno, la primera muestra entrará con una concentración de 10 mg %, la veinteaava a 30 mg % de concentración y al final del control a 100 mg %. Estos tres estándares - tratados en la primera forma, y siguiendo exactamente el mismo proceso para las muestras desconocidas, dará una respuesta final con la exactitud de la lectura analítica.

Entre sus inmersiones en las muestras sucesivas, el gancho recogedor aspira aire continuamente. Esta acción es extremadamente importante y sirve con un doble propósito:

1. Mantiene una barrera entre las muestras como van fluyendo a través de los varios pasos, previniendo así que una muestra se contamine con otra.

2. Las burbujas de aire actúan con una influencia sacadora en el sistema tubular, barriendo continuamente residuos de

las paredes del tubo de la muestra precedentes. De esta forma, el sistema se está autolimpiando y se preserva intacta la identidad de las muestras.

Una ventaja del autoanalizador se presenta por la siguiente consideración: en los procesos químicos convencionales los estándares correspondientes del proceso se hacen después de etapas separatorias, de precipitación o destilación; de este modo, las pérdidas o ganancias incurridas en estas etapas preliminares delante de los estándares son reflejadas en las lecturas. Sin embargo, en el autoanalizador los estándares y muestras son bombeados en la misma rama flúida, siendo tratados bajo idénticas condiciones, así la comparación es absoluta.

BOMBA DOSIFICADORA

El material por analizar puede entrar al aparato por diferentes formas: por aspiración continua del gancho recogedor en una corriente flúida. Por aspiración de una copa o tubo muestreador, y directamente de un organismo viviente.

El corazón técnico del autoanalizador es la múltiple bomba proporcionadora. Puede bombear continuamente ocho flúidos separados (incluyendo aire o varios gases) simultáneamente, en el cual cada portador individual varía en relación de entrada de ocho a uno.

La bomba consiste de dos rodillos paralelos de acero inoxidable con espacios cilíndricos, que impide sobrellevar continuamente la carga por medio de un salto a la bomba. A través de este sistema, un diverso grupo de tubos flexibles de diferentes volúmenes determina la velocidad de flujo en cada rama. Así, el volumen entregado de cada material que entra a la prueba puede variarse pasando a través de un tubo con volumen específico, como se ilustra en la figura V-24. A medida que los cambios viajan a través del sistema, los rodillos avanzan los líquidos dentro del mismo en la proporción exacta requerida por la técnica de la prueba. La separación de los tubos es uniforme, simultánea y completamente absorbida para concertar así la entrega proporcionada exacta y reproducida de prueba a prueba.

Para el cambio de una prueba a otra, el sistema se limpia cuidadosamente simplemente levantando los tubos de reactivos y sumergiéndolos en agua destilada. Esta agua se bombea a través del sistema, por un minuto o más, para el lavado de la misma. El bombeo se detiene y el múltiple ya limpio se coloca nuevamente para una nueva técnica de prueba con el consiguiente cambio de reactivos.

Está claro que de la descripción anterior, la operación del autoanalizador está basada en la dosificación dinámica de todos los materiales que entran a la prueba. Las líneas de flujo

jo de alimentación proporcionan los reactivos correctos y son bombeados continuamente dentro del sistema. La línea que está interrumpida periódicamente, es la línea de bombeo de la muestra y que solamente los suficientes cambios de muestras y bombeo de aire, entre estas líneas, guardan separación entre ellas, separación y libres de contaminación. El autoanalizador siempre producirá un resultado exacto si los flujos permanecen constantes

SERPENTIN DE MEZCLADO

En cada punto del sistema donde se juntan dos diferentes líquidos, hay un serpentín de mezclado. El propósito de este mezclador es para proveer una muestra homogénea diluida por análisis.

DIALIZADOR

El dializador en el autoanalizador está en función continua de la concentración. No hay otra variable que la concentración del material investigado en las muestras. Cada muestra bajo prueba está sujeta exactamente a las mismas condiciones antes de entrar al dializador y exactamente a la misma exposición de tiempo que pasan a través de él.

El dializador consta de un par de platos de plástico en contrados, cuyas superficies están acanaladas y coinciden a la

perfección para proveer un canal continuo cuando los platos se ponen en contacto. Con una membrana de celofán colocada entre ellos, los platos son unidos simultáneamente, dejando la vía -- continua separada solamente por la membrana semipermeable.

La trayectoria del dializador tiene 67" de largo, proporcionando una gran superficie de presentación a la membrana dializadora.

La corriente fluida entra por la parte superior del espiral, mientras que la corriente flúida de los reactivos desarrolladores de color (u otros materiales, según la técnica seguida), entran por la mitad inferior (fig. V-24). En el curso de su trayectoria paralela los constituyentes difusibles del -- problema pasan a través de la membrana semipermeable para entrar en la corriente de reactivos. Al término del circuito la corriente reactiva emerge conteniendo una proporción del volumen total de los constituyentes difusibles en la muestra problema.

El resto de la muestra pasa a un recipiente donde se -- vuelve al proceso. Si el tiempo y el área de exposición a la diálisis son exactamente los mismos para ambos estándares conocidos y para los problemas, la relación de la cantidad total de material dializado variará solamente con su concentración

Después de salir del dializador, la corriente fluida del reactivo (con los constituyentes difundidos de la muestra) pueden unirse a otro reactivo (catalizador desarrollador de color, etc.). La corriente mezclada fluye entonces hacia el baño de calentamiento.

BAÑO DE CALENTAMIENTO

En esta parte es donde la reacción del color se desarrolla. Es imperativo que el calentamiento de la corriente fluida se mantenga dentro de ciertos límites muy estrictos: de otra manera, los materiales que entran a diferentes tiempos podrían estar sujetos a diferentes temperaturas durante su paso. Por lo tanto, serían leídas inexactamente, debido a que no fueron tratadas exactamente igual. Y esto es el concepto esencial del autoanalizador: cualquier cosa que entre al sistema debe ser tratada idénticamente en cada etapa de su trayectoria hasta el final.

Sóloamente en esta forma puede ser la relación final de lecturas reproducible y digna de confianza.

Para asegurar esta última medida de exactitud, el baño de calentamiento del autoanalizador tiene una temperatura base de 93°C, la cual se mantiene $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Este control remarcablemente preciso se debe a un número

de refinamientos en el diseño. El calentador de inmersión es controlado por un termostato de contacto de mercurio sumergido. Para asegurar una temperatura uniforme a través de su volumen total, el líquido dentro del baño se conserva en constante agitación por medio de un agitador continuo. Un termómetro externo proporciona una indicación constante de la temperatura existente y una luz piloto indica la operación 1-0.

Al entrar al baño, la corriente fluye a través de un serpentín de vidrio, aproximadamente de 40 pies de largo, diámetro exterior de 2.6 mm y 1.6 mm de diámetro interno. El serpentín está sumergido en un baño caliente de dietilenglicol sin evaporación. Para la mayoría de las pruebas se llevará alrededor de minutos para pasar a través del calentamiento; el tiempo será más largo o más corto en proporción a la corriente que está fluyendo.

Debe comprenderse que no es necesario desarrollar el potencial del color completo por calentamiento más prolongado. Por el contrario, es suficiente que los estándares y problemas sean calentados exactamente lo mismo.

COLORIMETRO

El colorímetro del autoanalizador expresa gráficamente el nivel de concentración de las muestras que pasan a través de

61. Como la concentración del material investigado varía el color lo hace también, resultando un aumento o disminución de la luz transmitida. El instrumento es del tipo de doble rayo, utilizando dos celdas fotoeléctricas separadas; una como referencia y la otra para medir.

La corriente que sale del baño de calentamiento entra al colorímetro por medio de una cuba de flujo que se muestra en la figura V-25. La mirilla de observación en la cuba de flujo es rectangular en su sección transversal, aproximadamente 6 mm del frente hacia atrás y 3 mm de ancho (existen otras medidas para acomodarlas a la sensibilidad de otros materiales en particular varían de 1 a 10 mm de profundidad). Corre hacia abajo del lado del tubo de ingreso ocupando el nivel de la primera represa. Al alcanzar este nivel fluye la siguiente cámara, aumenta en la segunda represa y entonces sale. La cámara que está entre la primera y segunda represas constituye la mirilla de observación sobre la cual el rayo del colorímetro se enfoca, como se advierte en el diagrama del sistema óptico (fig. V-25).

En el punto de entrada a la cuba de flujo los segmentos estándares y problema de la corriente flúida han sido separados mecánicamente por los segmentos de aire que atraviesan a lo largo de ellos. Este aire se le permite ahora escapar ventilando por medio de las terminales abiertas de la cuba de flujo. Esta

SISTEMA OPTICO DEL COLORMETRO

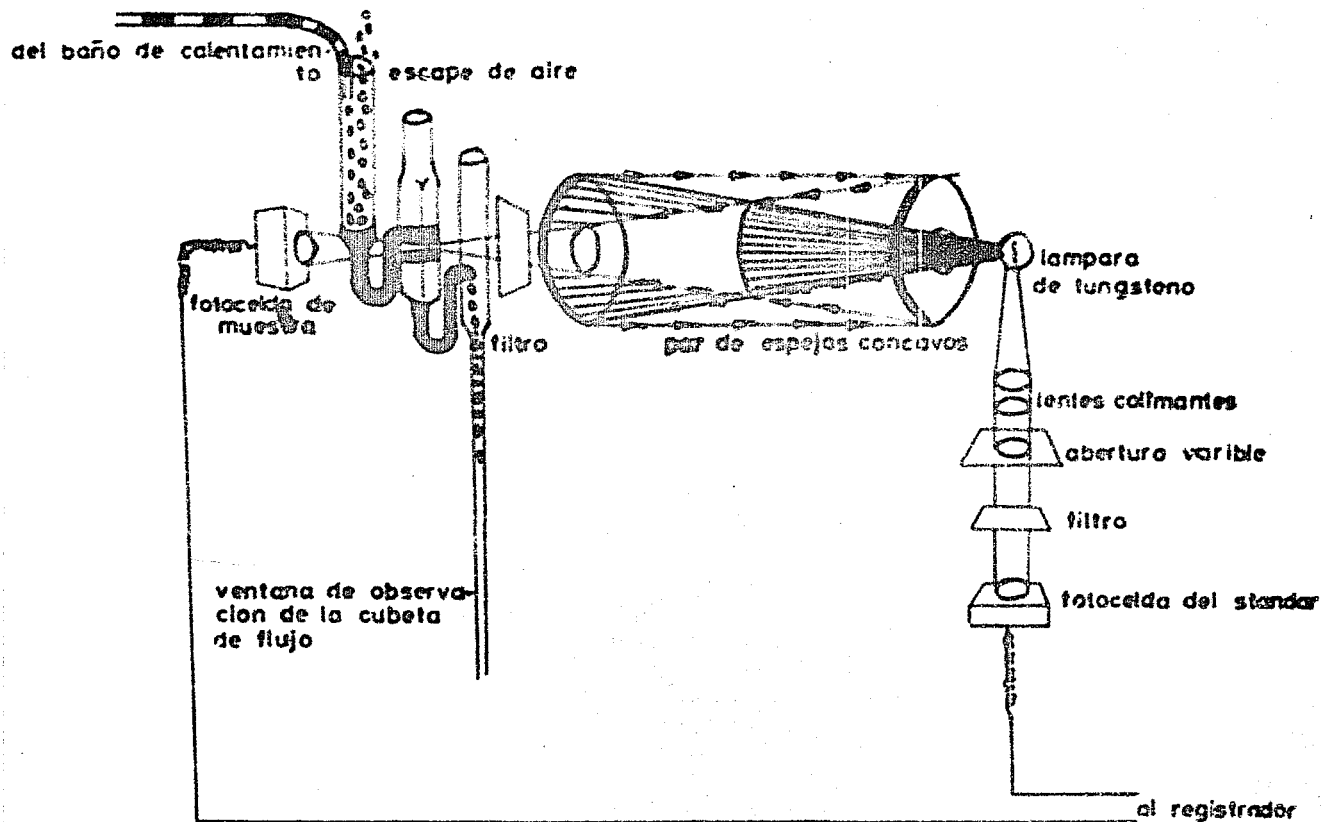


FIGURA N° V-20

ventilación no sólo permite el efecto de sifón, u otros en la represa, sino que contribuye a un flujo más tranquilo que asegurará un registro libre de flúidos electrónicos debidos a turbulencia en la corriente.

Sistema óptico. La salida de la lámpara de filamento de tungsteno es dividida y colimada para proveer dos rayos de luz, uno de los cuales se introduce a una fotocelda por separado. Una fotocelda se usa para medir los estándares conocidos, y la otra como una comparación. El registrador llega a ser parte del circuito y es usado como un indicador de balance nulo.

En el lado de la muestra en observación, es recogida la luz por un espejo reflejada y entonces enfocada sobre la fotocelda por una cara del espejo; cada espejo tiene una abertura central para pasar la luz. Este sistema de espejos excluye la aberración cromática de los lentes que resultaría en distorsiones del color con efectos adversos en la lectura. También alarga la trayectoria de la luz, dando una mayor profundidad de foco en la mirilla de observación. En consecuencia, el foco actual del rayo no es crítico, pero puede ser aproximado sin afectar el resultado final. En el lado del control del estándar, donde la profundidad del foco y la aberración son insignificantes, se substituyen unos lentes colimantes por el sistema reflector de espejos dobles del lado de la muestra.

La luz que cae sobre las fotoceldas de la muestra y estándares es filtrada por medio de un filtro de interferencia de banda estrecha de la longitud de onda deseada; cualquier variación en la salida de luz será compartida igualmente por ambas.

Una apertura de balanceo en el lado de estándar se ajusta para equilibrar la salida de las dos fotoceldas. El ajuste final se hace en un potenciómetro calibrado para 100% de transmisión.

Las dos fotoceldas se colocan en un circuito de balance nulo, actuando el registrador como un registrador de balance nulo. El sistema óptico se ilustra en la figura V-25.

SISTEMA REGISTRADOR

El registrador del autoanalizador es del tipo industrial modificado para registrar relaciones, operando como una parte integral del circuito colorimétrico. Consta de un sistema de relación balanceada en el que los estándares y las muestras que pasan a través de él son continuamente medidos contra una referencia fija. En efecto, grafica una curva de calibración para sus concentraciones respectivas como una función del logaritmo de la transmisión.

En este sistema de relación balanceada, factores tales -

como: cambios en la intensidad de la luz, debidos a fluctuaciones de voltaje en la línea o en la lámpara, cambios de temperatura, etc., producen solamente irregularidades en el registro.

Consecuentemente, esto requiere una gráfica manual tediosa en papel logarítmico para su interpretación.

Sin embargo, en el registrador del autoanalizador, el porcentaje de concentración es distribuido sobre la carta, es decir, incrementos iguales de concentración producen deflexiones iguales en la pluma.

Esta, particularmente, está acompañada por una única aguja indicadora deslizable que, por apropiados golpecitos y evasiones, producen las lecturas en la carta que representan el logaritmo de la transmisión y los resultados pueden ser graficados directamente en papel lineal.

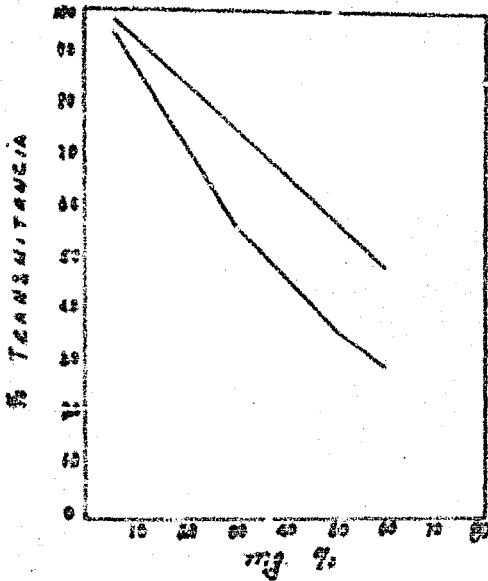
En las gráficas siguientes se muestran los resultados obtenidos de los registros:

En la gráfica 1 se presentan los estándares de urea nitrógeno, como se obtienen directamente del instrumento registrador y el registro lineal cuando se grafica sobre papel lineal.

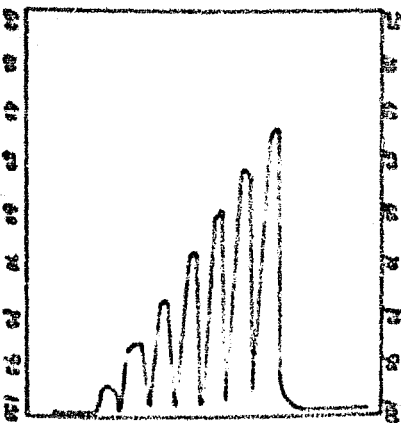
En esta curva de urea nitrógeno, las compensaciones de la aguja son presentadas en la cima de los valores. Adviértase

la distribución lineal de este registro en comparación al registro normal.

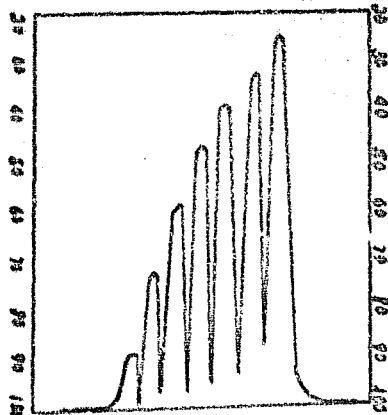
La gráfica 3 presenta una curva típica de estándares -- urea nitrógeno. Debido a la ley de Beer (el logaritmo relacionado entre transmisión y concentración), hay una comprensión de los valores al final de la carta.



GRAFICA DE ESTANDARES UREA-NITROGENO
CON RESULTOS SOBRE PAPEL LINEAL.



CURVA DE UREA-NITROGENO CON
CONDENSACIONES DE LA AGUA
EN LA CIMA DE LOS VALLES.



CURVA DE ESTANDARES UREA -
NITROGENO CON COMPRESION DE
LOS VALLES AL FINAL.

RESULTADOS GRAFICOS POR EL REGISTRO SOBRE PAPEL
LINEAL

CAPITULO VI

DISPOSICION GENERAL DE LOS APARATOS Y REQUISITOS PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LOS MISMOS, EN EL CONTROL AUTOMATICO

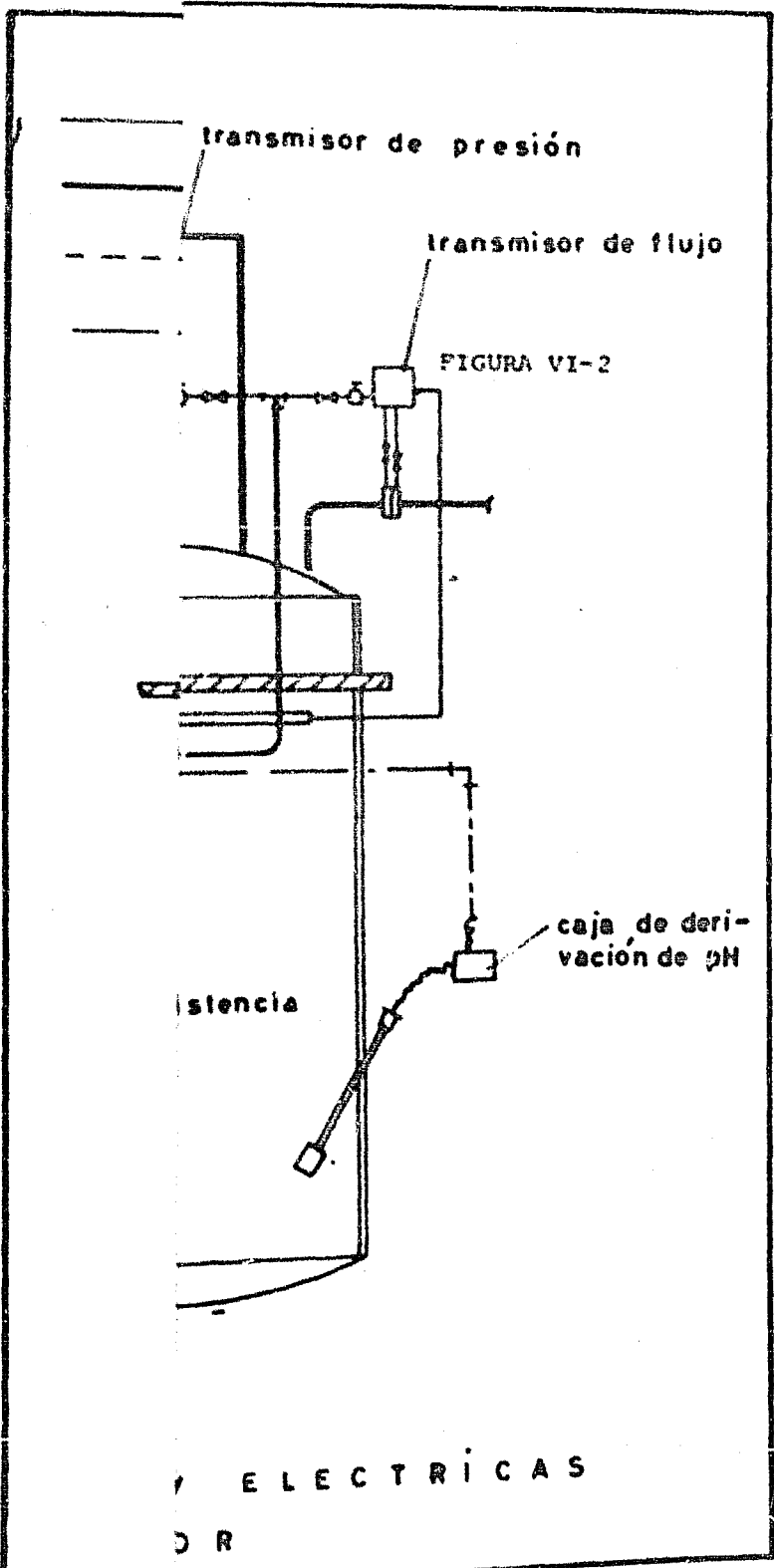
**Indicaciones generales
Aire
Diagramas
Mantenimiento**

Todos los aparatos del control automático deben seguir ciertas normas para su instalación, para su mantenimiento y para su correcto funcionamiento.

Los aparatos indicadores y controladores, junto con los dispositivos de control remoto y el sistema de alarmas, se colocan en un cuarto especial de control para eliminar los efectos desfavorables en estos instrumentos sensibles. Los elementos de control van colocados en paneles o estación de control, para que los efectos de operación tengan una vista inmediata del curso de las variables que son controladas y al mismo tiempo decisivas para la correcta operación del proceso.

Para el control del flujo de aire, el transmisor de presión va colocado en la parte superior del fermentador, además de la alimentación de aire de suministro al propio transmisor y la salida de la señal neumática al cuadro o estación de control, donde es recibida por el indicador y por el controlador (fig. VI-1).

El transmisor de flujo, por su parte, va adyacente a la brida de las placas de orificio, como se observa en el diagrama de la figura VI-2. Dicho transmisor posee un mecanismo releva-



ELECTRICAS
D R

dor neumático que transforma las unidades de flujo medido en incrementos de presión de aire dentro de los límites de 2 a 15 -- psi. El equipo de transmisión de la presión tiene también el - microinterruptor del sistema de alarma para la presión que va - al cuadro de control.

Para la regulación del nivel, los tres portaelectrodos- se colocan en la parte superior del fermentador, a una altura - determinada del nivel del caldo fermentado. Estos electrodos - van conectados al regulador de nivel que a su vez está conecta- do con el circuito relevador adaptado para realizar la secuen- cia de la regulación automática del nivel. Está conectado tam- bién al sistema de alarma de nivel.

En el control de la temperatura y del pH, la termorre- sistencia y el electrodo van colocados dentro del fermentador - por necesidad de estar en contacto continuo con el caldo de fer- mentación. La termorresistencia transmite al registrador de -- temperatura los cambios ocurridos en la medición de esta varia- ble durante el proceso. Para el caso del pH es análogo con la- diferencia de que la señal del electrodo pasa a través del am- plificador de pH y la señal de éste se manda al registrador in- dicador de varios puntos conectados también con el sistema de - alarma para bajo y alto pH.

En el control de los nutrientes, los rotámetros con sus dispositivos de alarma están conectados directamente en la línea de alimentación al fermentador y el control, que en realidad será semiautomático, se tendrá directamente sobre la tubería y en el cuadro de control se tendrá la señal de alarma, ya sea mediante el encendido de una luz en el tablero general de control o el sonido de una chicharra.

Todos los instrumentos indicados: registrador controlador de temperatura, el microinterruptor para baja y alta presión, el indicador controlador de presión y flujo, el regulador de nivel con su circuito relevador con conmutación automanual para la regulación del nivel, el registrador de pH de varios puntos, y el grupo señalador de alarmas, van montados en el cuadro general de control, como se muestra en las figuras VI-3 A y VI-3 B.

El sistema azúcar, nitrógeno y título que es controlado por el autoanalizador, no se incluye en el cuadro por ser independiente de todo el sistema neumático. El autoanalizador puede colocarse en el laboratorio o junto al fermentador, para el desarrollo del análisis continuo, dependiendo esto naturalmente del mejor espacio disponible para este aparato y donde las condiciones ambientales contribuyan más a la conservación y mantenimiento del aparato. Por razones de control general, se reco-

En el control de los nutrientes, los rotámetros con sus dispositivos de alarma están conectados directamente en la línea de alimentación al fermentador y el control, que en realidad será semiautomático, se tendrá directamente sobre la tubería y en el cuadro de control se tendrá la señal de alarma, ya sea mediante el encendido de una luz en el tablero general de control o el sonido de una chicharra.

Todos los instrumentos indicados: registrador controlador de temperatura, el microinterruptor para baja y alta presión, el indicador controlador de presión y flujo, el regulador de nivel con su circuito relevador con conmutación automanual para la regulación del nivel, el registrador de pH de varios puntos, y el grupo señalador de alarmas, van montados en el cuadro general de control, como se muestra en las figuras VI-3 A y VI-3 B.

El sistema azúcar, nitrógeno y título que es controlado por el autoanalizador, no se incluye en el cuadro por ser independiente de todo el sistema neumático. El autoanalizador puede colocarse en el laboratorio o junto al fermentador, para el desarrollo del análisis continuo, dependiendo esto naturalmente del mejor espacio disponible para este aparato y donde las condiciones ambientales contribuyan más a la conservación y mantenimiento del aparato. Por razones de control general, se reco-

DISPOSICION DE INSTRUMENTOS EN CUADRO

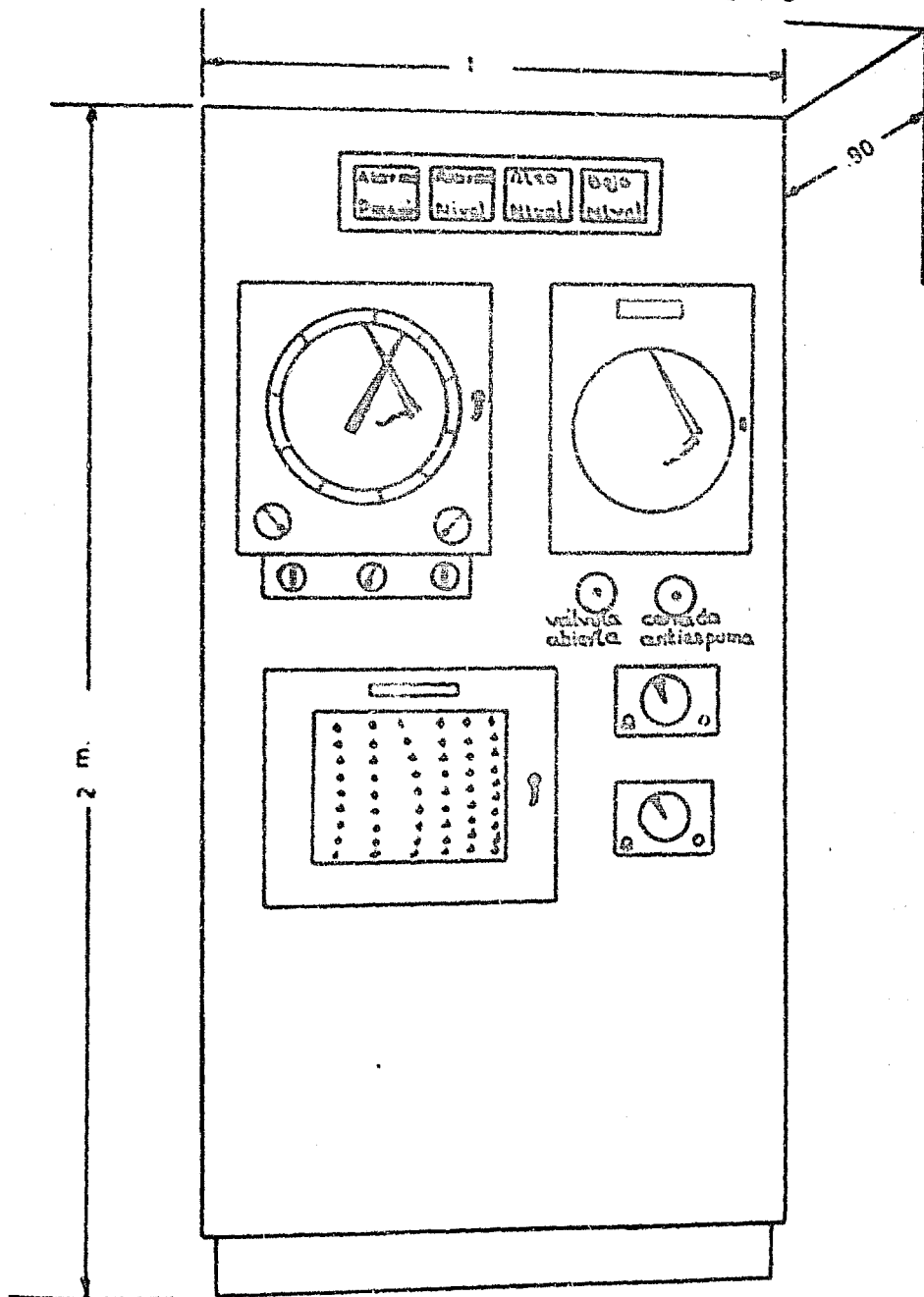


FIGURA Nº VI- 3A

DISPOSICION DE INSTRUMENTOS EN CUADRO

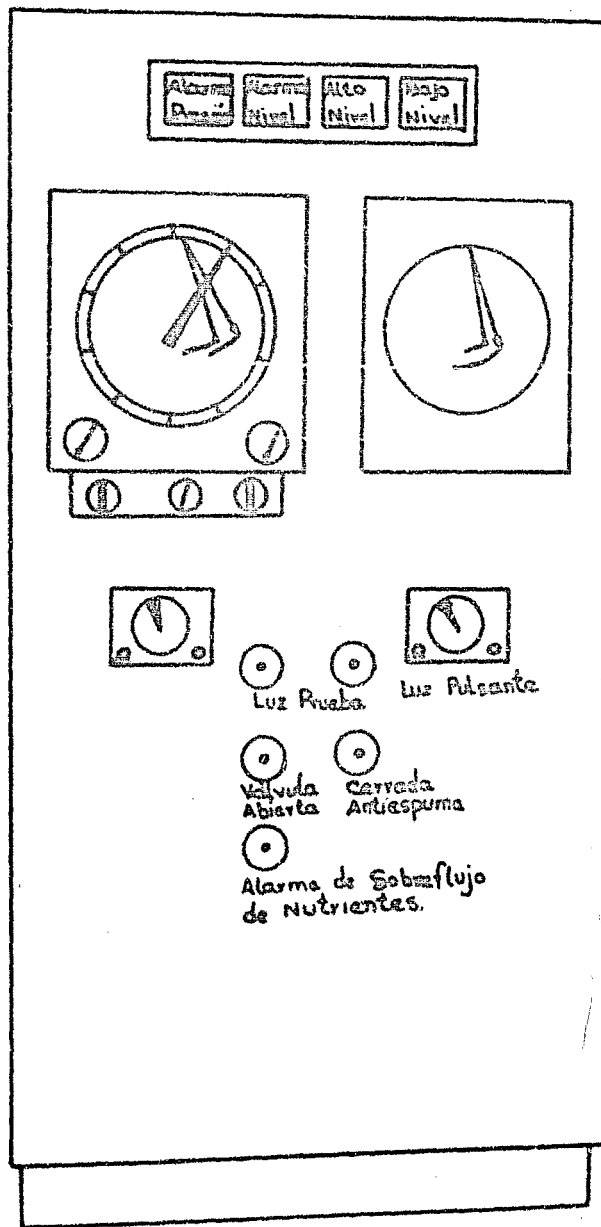


FIGURA N° VI - 3B

mienda colocarlo a un lado de la estación general de control para una mejor recopilación de datos de las variables controladas en el proceso.

Respecto a los requisitos que deben cumplirse para el correcto funcionamiento de los instrumentos, se hace mención a continuación de los factores más importantes:

AIRE

Debido a que el control automático del fermentador se hace en la mayor parte de las variables a base de instrumentos neumáticos, debe dedicarse una atención especial al aire que se suministra a dichos aparatos. Debe pues tenerse como condición especial, contar con aire limpio, pues la presencia de agua o aceite pueden producir un funcionamiento poco confiable y un aumento en el costo de mantenimiento.

Desde el momento en que los accesorios para control neumático regulen el aire de suministro al controlador y completan la acción final de control, es de capital importancia hacer una instalación adecuada para obtener un funcionamiento satisfactorio.

Los accesorios para el suministro de aire son: un filtro primario, un regulador de presión, una válvula de control y

tuberías para el sistema de control (ver la fig. VI-4).

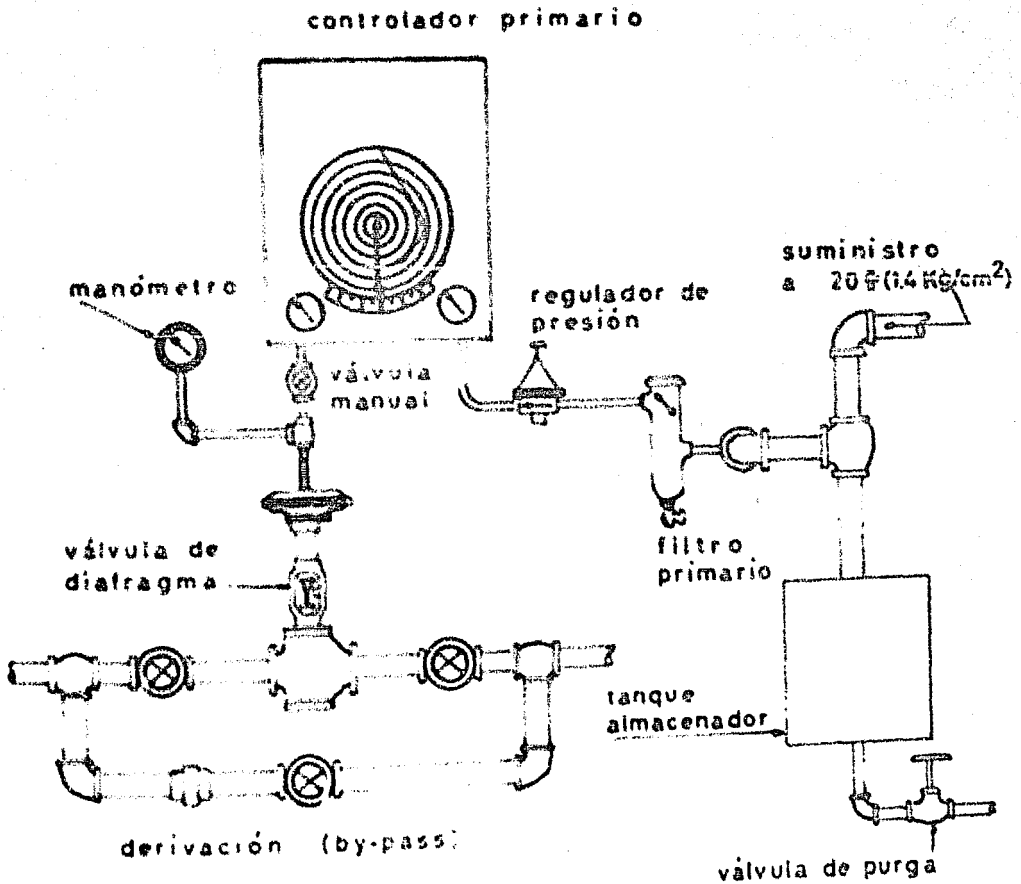
El aire debe ser limpio y seco y con una presión disponible de 20 a 150 psi. Además, debe mantenerse a una temperatura superior al punto de congelación, ya que cualquier condensación o cualquier humedad congelada que llegue al controlador, - producirá funcionamiento defectuoso.

Las conexiones deberán estar apartadas de gases o vapores corrosivos del ambiente que pudieran causar ataque al material de cualquier accesorio.

Una variación de presión de 30 psi, o más, la línea de suministro, quedaría fuera de la capacidad del regulador; consecuentemente, no podría proporcionar una presión constante de suministro. Para evitar esto, utiliza un acumulador neumático en la línea de suministro principal, como se muestra en la figura VI-4. Este tanque debe ser de tamaño tal que pueda amortiguar las variaciones de presión.

Se utiliza un filtro individual en el suministro de aire en cada controlador, para eliminar las impurezas contenidas en él.

Si el aire contiene mucha humedad y aceite, la purga en el fondo del filtro debe dejarse parcialmente abierta o a perma



Instalación de los accesorios de control

FIGURA N° 71-4

nencia, en forma de purga continua.

El suministro de aire al instrumento debe regularse a partir de la presión inicial, hasta obtener 20 psi. Se debe -- instalar un regulador de presión para controlador neumático; su ubicación debe ser entre la salida del filtro y la entrada al instrumento.

Las tuberías neumáticas para el sistema de control, se muestran en la figura VI-4. Los accesorios adicionales comprenden una válvula reductora de presión (normalmente fijada a 30 psi, o sea, 2.11 Kg/cm²), los manómetros necesarios, válvulas y conexiones. Un regulador independiente forma parte de la instalación de cada instrumento (colocado en la parte posterior) con el cual se reduce la presión a 20 psi que es la necesaria. El regulador independiente puede conectarse tanto en serie como en paralelo con la derivación integral del controlador.

MANTENIMIENTO

Los instrumentos de control neumático requieren de poco mantenimiento; sin embargo, hay ciertas precauciones generales que deben seguirse:

Ninguna unidad neumática debe aceitarse, ya que el aceite tiende a ponerse gomoso y en estas condiciones recoge polvo-

y obstruye las toberas, orificios y tuberías.

Todas las trampas para drenaje y depósitos de drenaje -
deben drenarse frecuentemente, de modo de mantener el agua fue-
ra de la línea; si la humedad es excesiva, pueda hacerse neces~~a~~
rio dejar abierta a permanencia alguna llave de purga.

Si las restricciones, válvulas de aguja o toberas se ~~ta~~
pan debido a partículas de polvo, pueden limpiarse con alambres
de calibre fino.

Las tuberías y conexiones deben revisarse con espuma de
jabón, para comprobar que no haya fugas, ya que éstas no pueden
tolerarse entre el controlador y la válvula de control.

Cuando un sistema de control funciona erráticamente, ~~de~~
ben revisarse otros componentes del sistema, antes de hacer ---
ajustes en la unidad de control. Generalmente, es preferible -
hacer los ajustes del controlador independientemente de los ---
otros componentes en el sistema neumático.

CAPITULO VII

DIAGRAMAS Y COSTOS

Costo de operación sin la automatización
Costo del equipo de control automático
Costo de operación con la automatización
propuesta
Observaciones
Diagramas

Para poder justificar la inversión que se va a hacer en la automatización del fermentador, es preciso tener la certeza de que se van a reducir los costos de manufactura.

Con objeto de evaluar tales ahorros, es necesario comparar los costos con o sin la automatización propuesta. Para tal efecto, se tomará como base el periodo de un año de operación.

COSTO DE OPERACION SIN LA AUTOMATIZACION

Si la planta, como en este caso, produce en forma continua, se tendrán los siguientes gastos de mano de obra:

PUESTO	\$/día	\$ totales/día
3 Operadores	55	165
3 Ayudantes	40	120
3 Supervisores	80	240
3 Analistas	60	180
1 Mecánico (mantenimiento)	70	70
1 Jefe	150	<u>150</u>
TOTAL MANO DE OBRA (3 TURNOS) \$		925

Gasto de mano de obra en un año:

\$ 925/día por 30 días/mes por 12 meses/año = 334 000 \$/año

No se consideran costos de materia prima ni de servicios, porque no se verían afectados con la instalación del control automático.

Antes de comparar el costo anual anterior con el costo anual del equipo automatizado, es necesario saber primeramente el valor del equipo de control que se propone instalar para que, basándose en la cantidad y calidad del nuevo equipo, se hagan los ajustes necesarios en el personal, con lo que se modificará el gasto de mano de obra.

COSTO DEL EQUIPO DE CONTROL AUTOMATICO

1. Control del flujo de aire:

1 Transmisor de presión diferencial	\$ 10 000.00
1 Registrador controlador neumático	13 000.00
1 Válvula de control tipo diafragma	<u>7 000.00</u>
SUBTOTAL (1)	\$ 30 000.00

2. Control de la presión:

1 Transmisor de presión	\$ 6 000.00
1 Registrador controlador neumático	13 000.00
1 Microinterruptor	700.00
1 Válvula de control tipo diafragma	<u>7 000.00</u>
SUBTOTAL (2)	\$ 26 700.00

3. Control de la espuma:

1 Regulador de nivel	\$ 1 500.00
1 Portaelectrodo	250.00
1 Válvula de solenoide	1 800.00
1 Circuito relevador	<u>6 500.00</u>

SUBTOTAL (3) \$ 10 050.00

4. Control de la temperatura:

1 Termómetro de resistencia	\$ 1 500.00
1 Controlador registrador neumático proporcional, integral y derivativo	40 000.00
1 Válvula de control tipo diafragma	<u>7 000.00</u>

SUBTOTAL (4) \$ 48 500.00

5. Control del pH:

1 Electrodo esterilizable	\$ 1 500.00
1 Electrodo de referencia esterilizable	1 500.00
1 Electrodo termocompensador	800.00
1 Portaelectrodos	1 000.00
1 Amplificador de pH, escala 0-10	15 000.00
1 Válvula de control tipo diafragma	4 000.00
1 Registrador indicador potenciométrico	58 000.00
1 Sistema de alarmas	<u>6 000.00</u>

SUBTOTAL (5) \$ 87 800.00

6. Control de nutrientes:

3 Rotámetros con sistema de alarmas	\$ 10 500.00
3 Válvulas Klinger esterilizables	<u>300.00</u>
SUBTOTAL (6)	\$ 10 800.00

7. Control de título, azúcar y nitrógeno:

1 Autoanalizador con sistema registrador	<u>\$ 105 000.00</u>
SUBTOTAL (7)	\$ 105 000.00

8. Control general:

1 Tablero de control general	<u>\$ 70 000.00</u>
SUBTOTAL (8)	\$ 70 000.00

SUMA TOTAL:

CONTROL	SUBTOTAL
Flujo aire	1 \$ 30 000.00
Presión	2 26 700.00
Espuma	3 10 050.00
Temperatura	4 48 500.00
pH	5 87 800.00
Nutrientes	6 10 800.00
Azúcar, nitrógeno y título	7 105 000.00
General	8 <u>70 000.00</u>
COSTO TOTAL DE EQUIPO	<u>\$ 388 850.00</u> *****

Si el equipo para la automatización se deprecia a 10 --
años, se tendrá un costo anual por depreciación de:

$$\frac{388850}{10} = 38885 \text{ \$/año}$$

Será necesario también contar con una persona que se en-
cargue exclusivamente del mantenimiento y buen funcionamiento -
de todos los instrumentos que componen este equipo de control.-
Dicha persona puede ser un técnico perfectamente entronado en -
el manejo de estos aparatos.

COSTO DE OPERACION CON LA AUTOMATIZACION PROPUESTA

GASTO DE MANO DE OBRA

PUESTO	\\$/día	\\$ totales/día
3 Ayudantes	40	120
3 Supervisores	80	240
1 Técnico instru- mentos	100	100
1 Mecánico (mante- nimiento)	70	70
1 Jefe	150	<u>150</u>
TOTAL MANO DE OBRA (3 TURNOS) \\$		680

Gasto de mano de obra en un año:

$$680 \text{ \$/día} \times 30 \text{ días/mes} \times 12 \text{ meses/año} = 245\ 000 \text{ \$/año}$$

Todos los instrumentos son monofásicos y tienen un con-
sumo promedio de corriente de 1.0 Amp y se tienen 110 y en la -
línea:

$$\begin{aligned} \text{Potencia (watts)} &= \text{consumo en amperes} \times \text{voltaje en línea} \\ &= 1.0 \text{ A} \times 110 \text{ V} = 110 = 0.11 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Once elementos consumen energía eléctrica y ésta cuesta a razón de 0.15 \$/Kw-hr y se tiene entonces un gasto anual de potencia de:

$$\begin{aligned} 0.11 \text{ Kw/elemento} \times 11 \text{ elementos} \times 0.15 \text{ $/Kw-hr} \times 24 \text{ hr/día} \\ \times 360 \text{ días/año} = 1\,442 \text{ $/año} \end{aligned}$$

COSTO TOTAL DE OPERACION (ANUAL)

Mano de obra:	\$ 245 000.00
Potencia:	<u>1 442.00</u>
	\$ 246 442.00
+ Depreciación:	<u>31 885.00</u>
TOTAL	\$ 285 327.00

DIFERENCIA EN EL COSTO DE LA OPERACION MANUAL Y CON AUTOMATIZACION

$$334\,000 - 285\,327 = 48\,673 \text{ $/año}$$

OBSERVACIONES

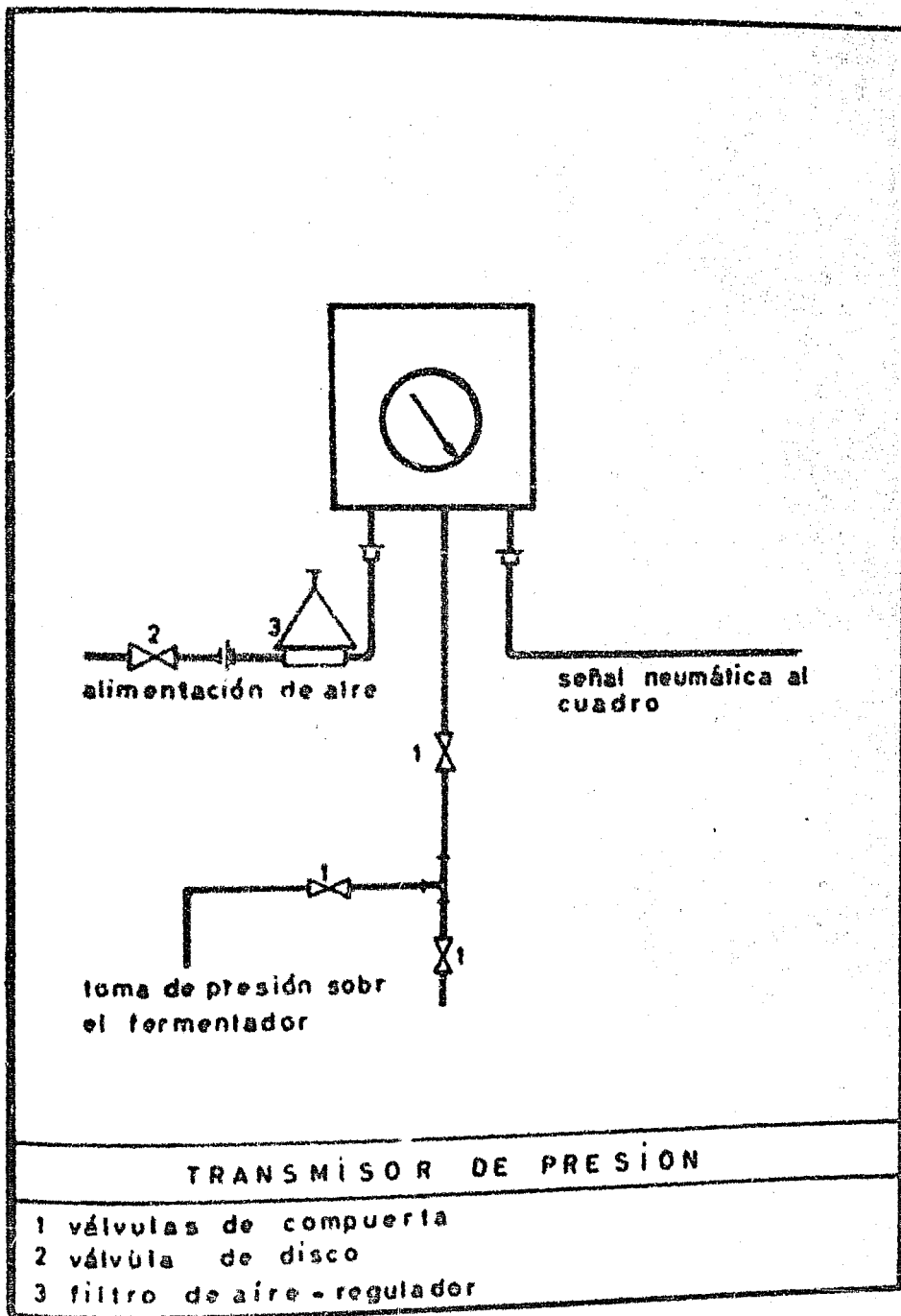
-Como la fermentación constituye la primera etapa para obtener el antibiótico, los costos de operación se calcularon - tomando en cuenta la forma en que van a afectar exclusivamente a esa parte del proceso.

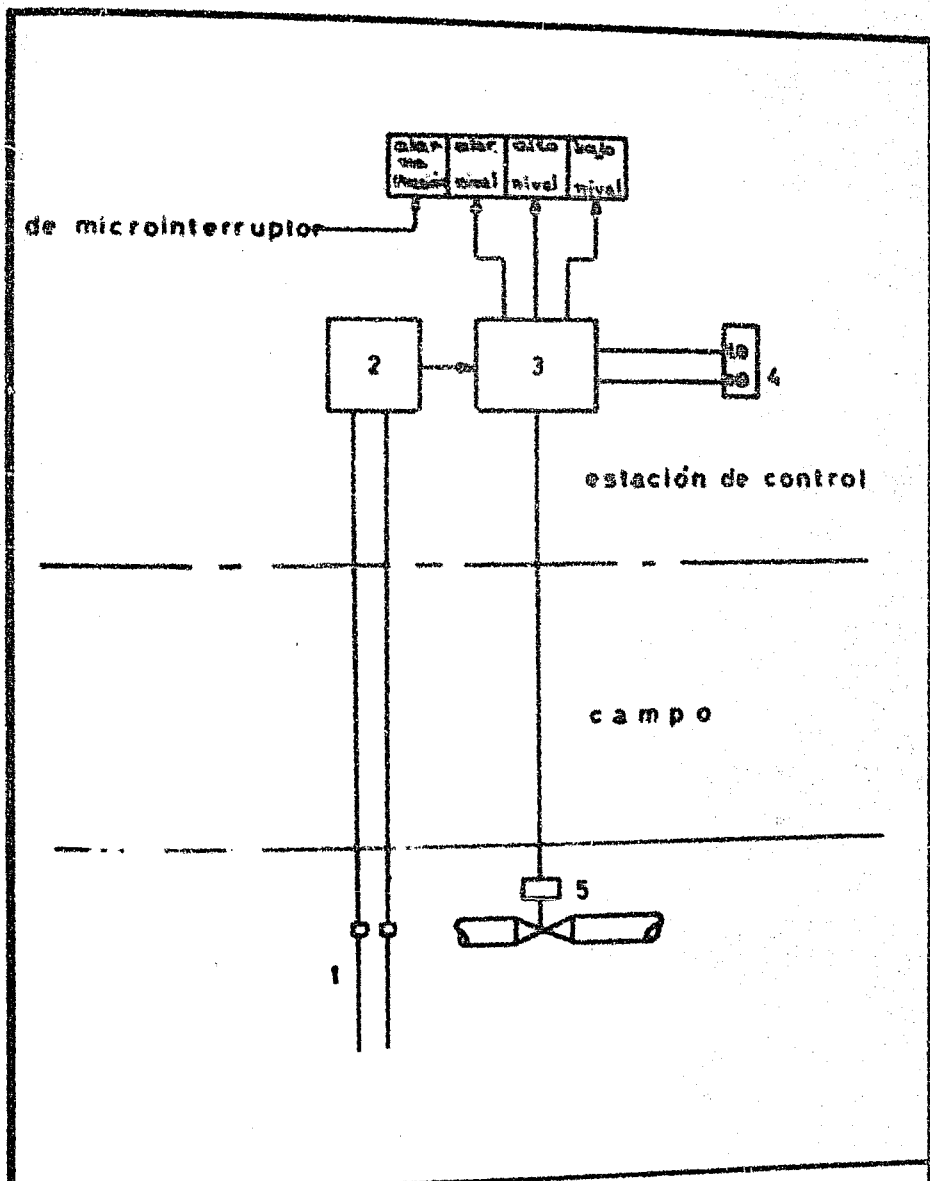
-Por lo tanto, la cantidad de 48673 \$/año, constituye el ahorro en costo de producción, que se va a tener en el departamento de fermentación, por cada tanque automatizado.

-Para considerar los costos de producción, se tomaron en cuenta solamente el costo de operación (que incluye mano de obra y mantenimiento), servicios (que se verá modificado únicamente por el pequeño aumento en el consumo de potencia) y el costo de depreciación del equipo.

-Los demás servicios como agua, vapor y aire no se verán afectados en sus costos por la automatización.

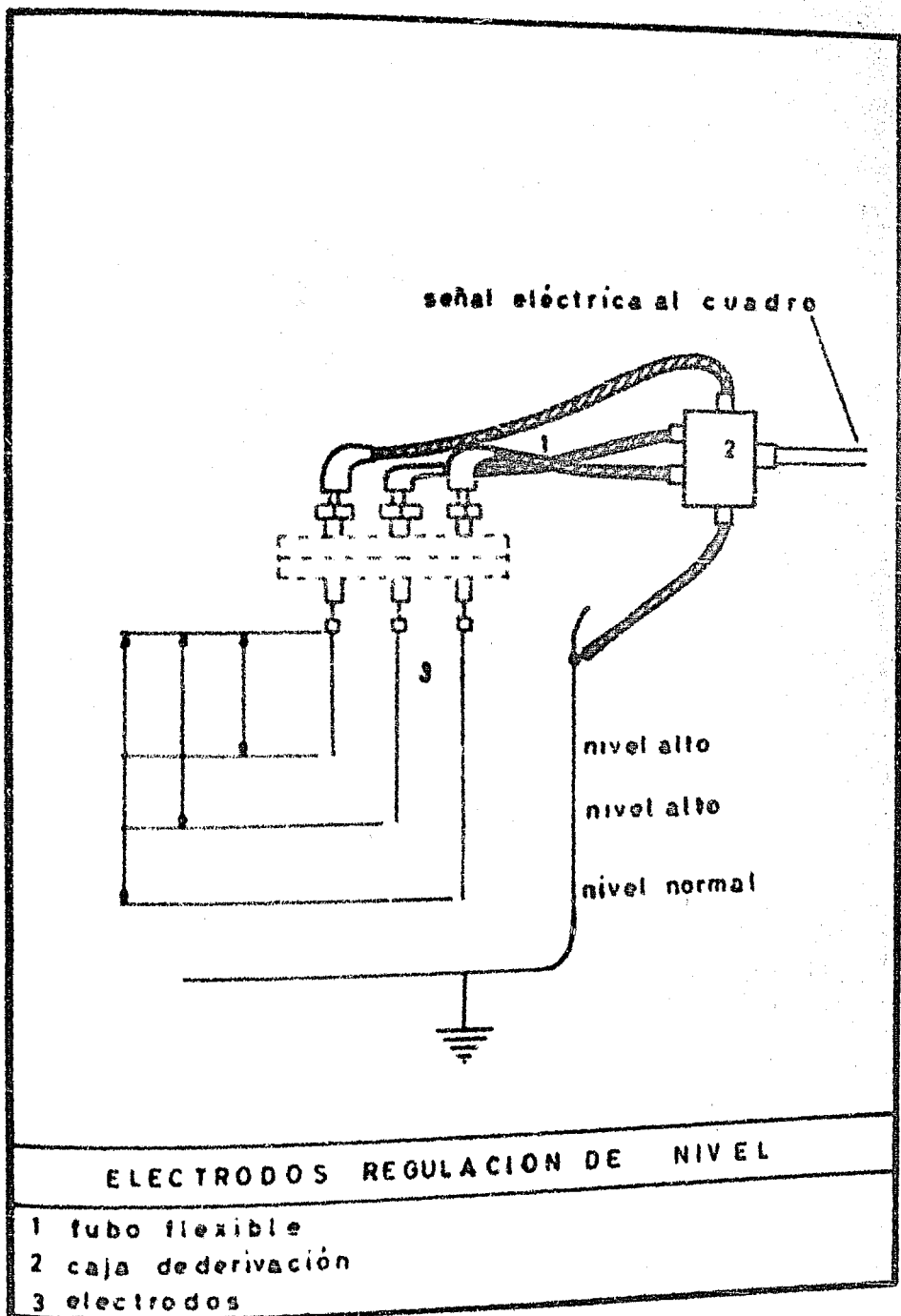
-El estudio económico se ha hecho considerando la automatización de un solo fermentador. Sin embargo, cada controlador tiene la posibilidad de controlar simultáneamente hasta cinco fermentadores, lo que sería un factor determinante en el caso de querer aumentar el número de fermentadores, para la adquisición del citado equipo de control.

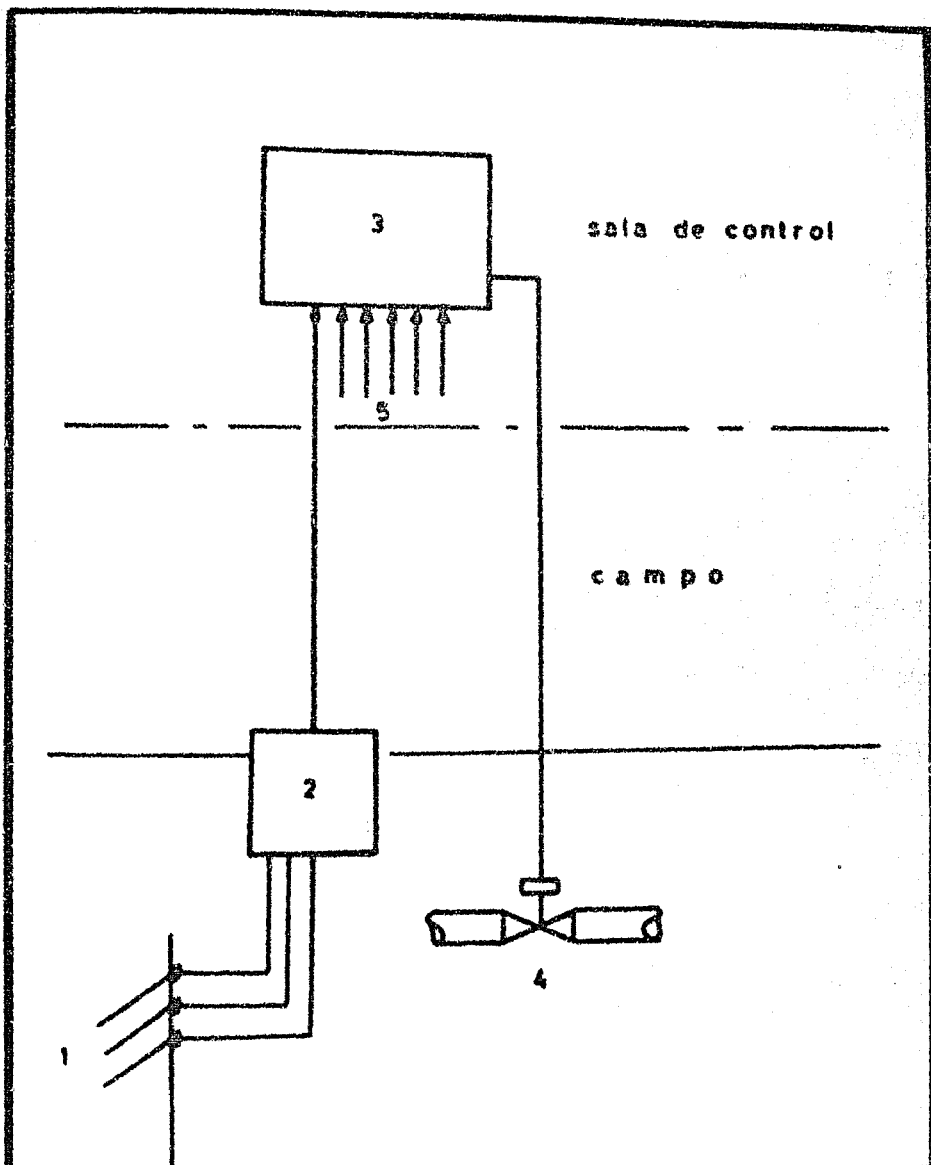




DÍAGRAMA DE INSTRUMENTOS PARA NIVEL

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1 electrodos | 4 circuito eléctrico |
| 2 regulador de nivel | 5 válvula de control |
| 3 circuito relevador | |





DIA GRAMA DE INSTRUMENTOS PARA pH

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1 electrodos | 4 válvula de control |
| 2 amplificador | 5 señales al registrador |
| 3 registrador controlador | |

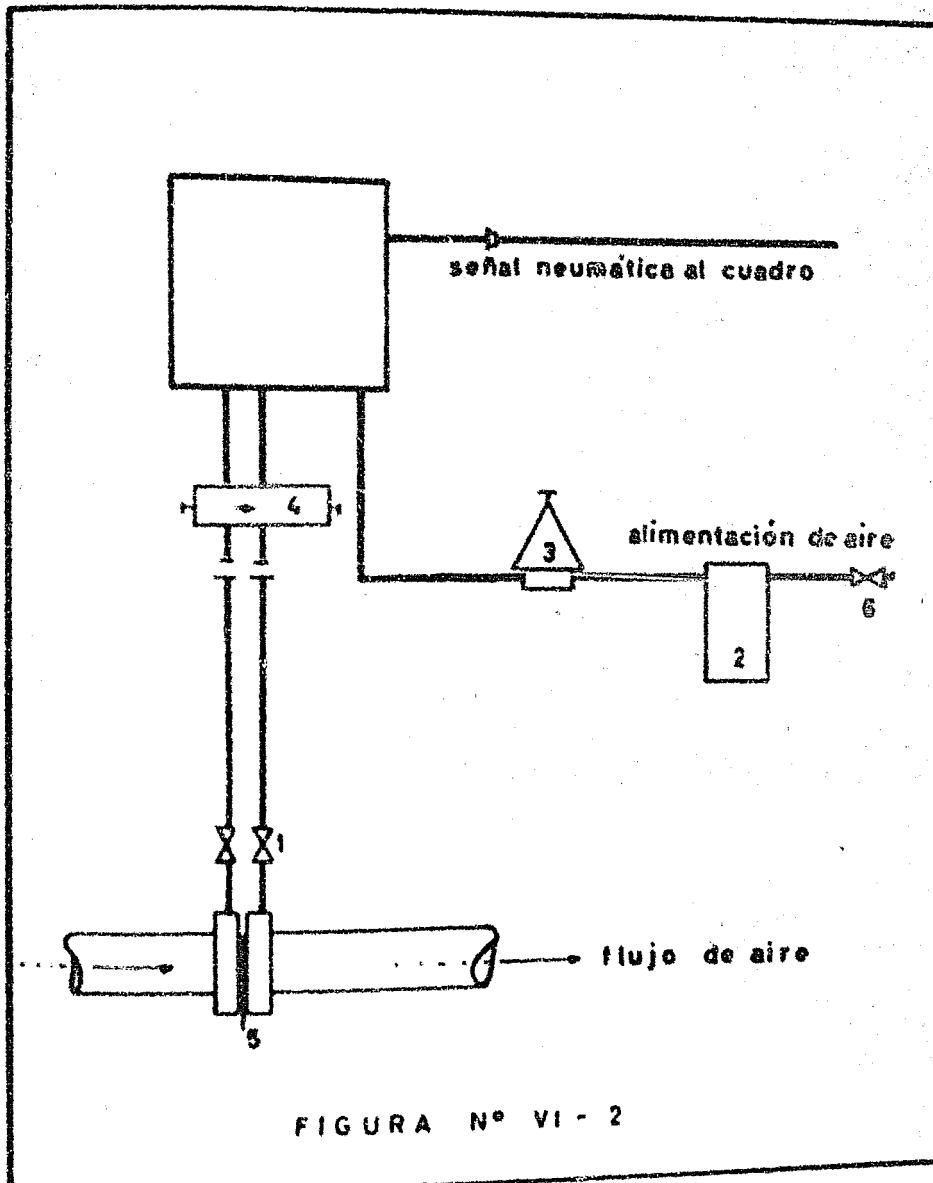


FIGURA N° VI - 2

TRANSMISOR DE FLUJO

- 1 válvulas compuerta
- 2 filtro
- 3 regulador presión

- 4 multiple de tres válvulas
- 5 placa de orificio
- 6 válvula de disco

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

1. El ahorro que se tiene anualmente con la automatización propuesta es de \$ 48 673, que viene a ser el 12.5% del costo total del equipo de automatización.

2. El costo de mano de obra (directa y supervisión) se reduce en un 27%.

3. Se tiene un gasto adicional de potencia, para fines prácticos, insignificantes, pues alcanza apenas 0.5% del costo de operación.

4. Dada la importancia que tiene la esterilidad del fermentador en el proceso, con la automatización de dichos tanques, se disminuyen en forma considerable los riesgos de contaminación y se asegura un control más estricto del proceso:

- a) La presión controlada en límites más estrechos, asegura mediante los dispositivos del controlador, una red de seguridad contra organismos contaminantes.
- b) El flujo de aire controlado con la precisión necesaria, proporcionará al microorganismo la cantidad exacta de oxígeno que necesita para su desarrollo y productividad.
- c) El control automático de la espuma evitará que el pa

1. El ahorro que se tiene anualmente con la automatización propuesta es de \$ 48 673, que viene a ser el 12.5% del costo total del equipo de automatización.

2. El costo de mano de obra (directa y supervisión) se reduce en un 27%.

3. Se tiene un gasto adicional de potencia, para fines prácticos, insignificantes, pues alcanza apenas 0.5% del costo de operación.

4. Dada la importancia que tiene la esterilidad del fermentador en el proceso, con la automatización de dichos tanques, se disminuyen en forma considerable los riesgos de contaminación y se asegura un control más estricto del proceso:

- a) La presión controlada en límites más estrechos, asegura mediante los dispositivos del controlador, una red de seguridad contra organismos contaminantes.
- b) El flujo de aire controlado con la precisión necesaria, proporcionará al microorganismo la cantidad exacta de oxígeno que necesita para su desarrollo y productividad.
- c) El control automático de la espuma evitará que el pa

so del aire arrastre espuma, impidiendo así que se humedezca la descarga del aire y de esta forma se suprime una posibilidad más de contaminación.

- d) La temperatura controlada también entre límites estrechos y corregida en forma proporcional, evitará cambios súbitos de esta variable que pudieran dañar el desarrollo del microorganismo o causar su muerte.
- e) El control automático del pH, contribuirá en gran parte a la buena marcha de la fermentación, pues si se mantiene en un rango estrecho, la corrección continua que le da el controlador, permite que el caldo conserve el pH constante. Sin la automatización, se tomaría una muestra al fermentador cada hora para medir pH, es decir, deberían pasar 60 minutos como mínimo para hacer una corrección en cada caso necesario. Este problema queda eliminado con el controlador automático del pH.
- f) La dosificación de las sustancias nutrientes por medio de los rotámetros dosificadores que alimentarán en forma precisa al fermentador; su sistema de alarma indicará cualquier desviación que se presente en el flujo de la solución. Estos rotámetros resuelven el problema de estar abriendo cada hora una serie de válvulas para alimentar un pequeño volumen difícil -

de medir visualmente.

- g) El autoanalizador proporcionará en forma continua in formación gráfica sobre la marcha de la fermentación utilizando una cantidad mínima de muestra y reactivos y reduce las necesidades de personal para estos análisis.

5. El trabajo de supervisión se simplifica enormemente dando al jefe y al supervisor un margen de tiempo disponible para el estudio de los resultados gráficos que le proporcione el equipo de control.

6. De los incisos anteriores puede concluirse que los beneficios que reportará el equipo de control automático, no se traducirán directamente en la obtención de títulos altos de antibióticos, pero sí contribuirán a que la fermentación se desarrolle en condiciones estériles, lo cual es un paso grande para llegar a los buenos títulos de antibiótico en el caldo fermentado.

BIBLIOGRAFIA

1. JORGENSEN A.
Microbiología de las fermentaciones industriales.
Aguilar, 1954.
2. MALEK I. & ZDENEK F.
Theoretical and methodological basis of the continuous culture of microorganisms. Academic Press. -
London, 1967.
3. PASTORBIESSI G.
Elementi di calcolo per macchinario di impianti -
chimici. Edizioni Murein, Milano, 1961.
4. PERRY J.
Chemical Engineering Handbook. McGraw-Hill, 1964.
5. PRESCOTT S.
Industrial Microbiology. McGraw-Hill, 1966.
6. RAINBOW C. & ROSE A.
Biochemistry of the industrial microorganisms. --
Academic Press, London, 1966.
7. SANCHEZ MARROQUIN A.
Principios de Microbiología Industrial, 1962.
8. STEEL R.
Biochemical Engineering. McMillan, 1948.
9. UNDERKOPFLER L. & HICKEY J.
Industrial fermentations. Chemical Publishing, Co.
Inc. 1954.
10. WAKSMAN S.
The Actynomicetes. Academic Press, London, 1965.
11. WEBB F.
Biochemical Engineering. Van Nostrand, London, --
1964.

REVISTAS

13. CHEMICAL ENGINEERING
McGraw-Hill. 62:12 (1955); 63:158 (1956); 65:234
(1957)
14. CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS
51:540 (1955)
15. INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY
44:435 (1952); 49:122 (1957)
16. LA QUIMICA E L'INDUSTRIA
47:1078 (1965)

FOLLETOS, BOLETINES Y CATALOGOS

17. FOXBORO. Catálogo general.
18. HONEYWELL. Boletines M95-5 y PIB-4.
19. TECHNICON. Autoanalyzer.
20. WALLACE & TIERNAN. Catálogo 510.200.