

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“ESTRATEGIA DE CONTROL EN LA PLANTA DE FOSFATO  
BICALCICO DIHIDRATADO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**JACQUELINE LIISA VARGAS ROCA**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño para mi familia que esta siempre apoyándome en todo momento. Para mis amigos, profesores y compañeros de trabajo que me brindaron su amistad y confianza.

## **RESUMEN**

El propósito del presente informe es plantear las posibles estrategias de control durante el proceso de fabricación de fosfato bicálcico.

Primero se realiza una breve descripción de la planta, las materias primas utilizadas principalmente en el proceso, un resumen y características del proceso general del fosfato bicálcico, las características finales del producto, algunos equipos de la planta y el marco teórico de instrumentos de control.

Luego, en el proceso general de producción de fosfato bicálcico se logra identificar los tres subprocesos donde se pueden aplicar estrategias para mejorar el control del proceso, permitiendo finalmente un proceso más estable y un producto más homogéneo.

## INDICE

<b>I.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>II.- GENERALIDADES .....</b>	<b>5</b>
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PRODUCTOS DE PLANTA QUÍMICA .....	5
2.2 MATERIAS PRIMAS PRINCIPALES .....	9
2.2.1 Roca Fosfórica $\text{Ca}_5(\text{OH},\text{F})(\text{PO}_4)_3$ .....	9
2.2.2 Caliza .....	11
2.2.3 Acido Clorhídrico .....	13
2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	14
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO .....	29
<b>III.- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS IMPORTANTES.....</b>	<b>30</b>
3.1 ELEVADOR DE CANGILONES .....	30
3.2 FAJA TRANSPORTADORA .....	31
3.3 ESPESADOR .....	32
<b>IV.- INSTRUMENTOS DE CONTROL .....</b>	<b>34</b>
4.1 DEFINICIONES .....	34
4.2 ESTRATEGIAS DE CONTROL .....	47
4.2.1 Control Cascada.....	47
4.2.2 Control de relación .....	49
4.2.3 Control de Retroalimentación (feedback).....	52
4.2.4 Control de acción adelantada (feedforward) .....	54
<b>V.- ESTRATEGIAS DE CONTROL EL PROCESO .....</b>	<b>55</b>
<b>VI.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>VII.- BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
ANEXO 1.....	63
ANEXO 2.....	65

## I.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad el fosfato bicálcico es la más concentrada fuente de fósforo y calcio biológicamente asimilable utilizado en la formulación de la alimentación para la cría de diferentes especies animales.

Se utiliza para las aves de corral, ganado vacuno, cerdos y todas las especies animales.

El proceso de fabricación de fosfato bicálcico consiste en el ataque de la roca fosfórica con caliza y ácido clorhídrico. La reacción transforma el pentóxido de fósforo en fosfato bicálcico dihidratado que es secado y envasado.

Actualmente la planta funciona a su máxima capacidad, además los despachos se producen diariamente llegando a no tener stock.

Actualmente existe un porcentaje del producto terminado observado por control de calidad al no cumplir con las especificaciones requeridas, produciendo reprocesos, afectando los índices de producción. Como el proceso es de naturaleza dinámica, siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño. Por este motivo el presente informe pretende la introducción de estrategias de control de procesos que permitan prevenir cualquier rechazo del producto terminado. Es decir controlar en el menor tiempo la mayoría de perturbaciones que afecte el proceso de producción y garantizar la calidad del producto.

Se describe las características de las materias primas necesarias, las características del producto terminado y luego se plantea las estrategias de control a emplear.

## II.- GENERALIDADES

### 2.1 Descripción General de los Productos de Planta Química

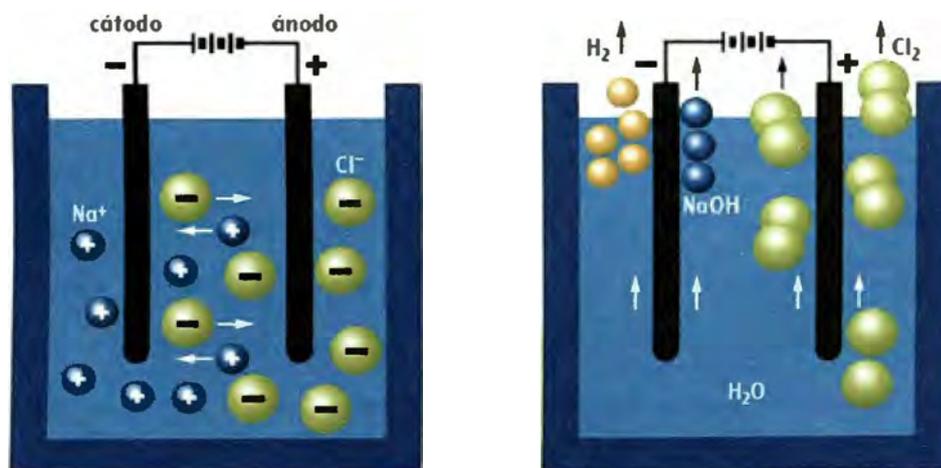
En la planta química a partir del cloro se produce diferentes productos como el ácido clorhídrico, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, soda caústica, cloruro férrico y fosfato bicálcico.

El cloro se produce mediante la electrólisis del cloruro de sodio, produciéndose cloro en estado gaseoso, hidrógeno e hidróxido de sodio (Véase figura 2.1).



El proceso de electrólisis consiste en aplicar una corriente eléctrica a una sustancia iónica, separando de esta manera sus iones.

El proceso se realiza en una celda con dos electrodos: el polo positivo (ánodo) y el polo negativo (cátodo), de tal forma que al aplicar la corriente los iones positivos son atraídos hacia el cátodo y los iones negativos son atraídos al ánodo.



Fuente (1)

Figura 2.1 Electrólisis del cloruro de sodio.

Actualmente existen tres tipos diferentes de tecnologías de electrólisis en la fabricación de cloro:

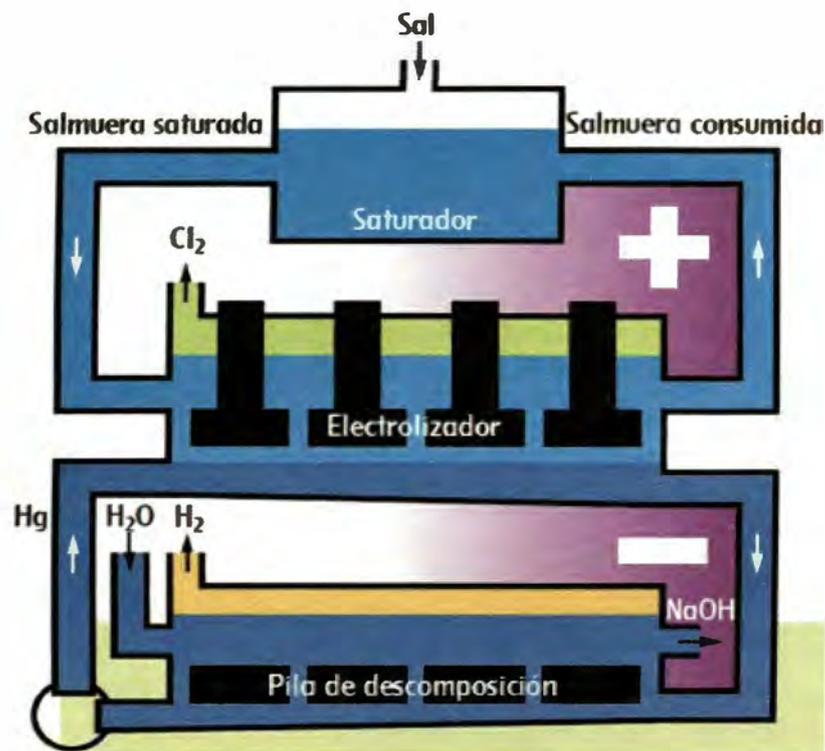
- Electrólisis con celda de mercurio.
- Electrólisis con celda de diafragma.
- Electrólisis con celda de membrana.

Las tres tecnologías actualmente se aplican para la obtención del cloro en la industria.

a) Electrólisis con celda de mercurio:

Fue la primera técnica utilizada en la industria para la producción de cloro y soda caústica. Es un procedimiento desarrollado principalmente en Europa, debido a que se utiliza en el 64% de las empresas europeas.

El mercurio actúa como cátodo, amalgamando el sodio elemental (lo atrapa en su interior). Esta amalgama cuando se pone en contacto con agua libera el sodio, desprendiendo hidrógeno y formando el hidróxido de sodio en solución. El mercurio desamalgamado se recircula para ser reutilizado nuevamente. (Véase figura 2.2).



Fuente (1)

Figura 2.2 Celda de mercurio para obtención de  $\text{Cl}_2(\text{g})$ .

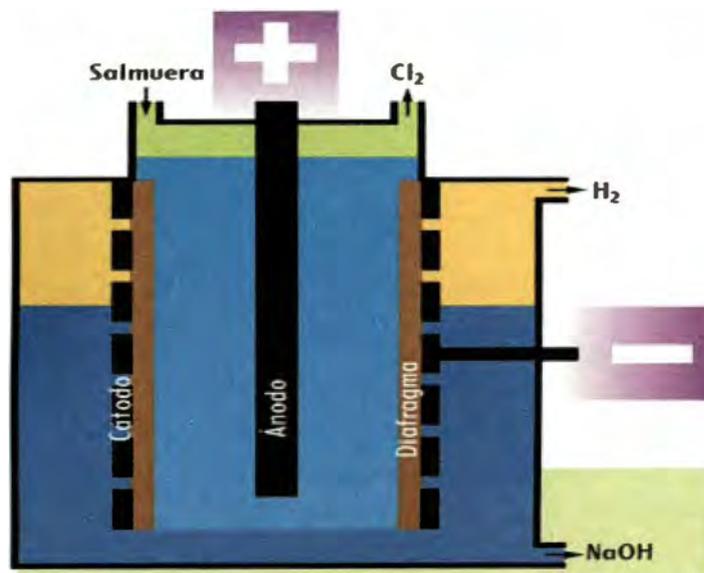
Con este proceso se consiguen productos muy puros, pero al utilizar mercurio se requiere de controles y medidas de seguridad específicas para la protección de los trabajadores y del medio ambiente.

Esta tecnología es utilizada y exige un control riguroso de las emisiones de mercurio, en cumplimiento del Programa de Adecuación del Medio Ambiente.

b) Electrólisis con celda de diafragma:

Fue la primera técnica elaborada en el laboratorio. Este procedimiento se implantó principalmente en Estados Unidos. Necesita menor energía que la anterior tecnología. Sin embargo, para obtener una soda cáustica comercial se necesita un procedimiento adicional, por lo tanto supone un encarecimiento del proceso.

Una membrana especial actúa como medio de separación entre las dos soluciones presentes (la salmuera de cloruro de sodio en contacto con el ánodo y la solución de hidróxido de sodio en contacto con el cátodo). (Véase figura 2.3).



Fuente (1)

Figura 2.3 Celda de diafragma.

c) Electrólisis con celda de membrana:

Este proceso se empezó a desarrollar a partir de los años 70. La celda está dividida en dos compartimientos por medio de una membrana que permite el paso de iones a través de ella. El consumo de energía es parecida al de

las celdas con diafragma y la soda caústica que se produce es de alta pureza, sin embargo los costos de fabricación son muy elevados y menos contaminantes, en contraste con la celda de mercurio. (Véase figura 2.4).

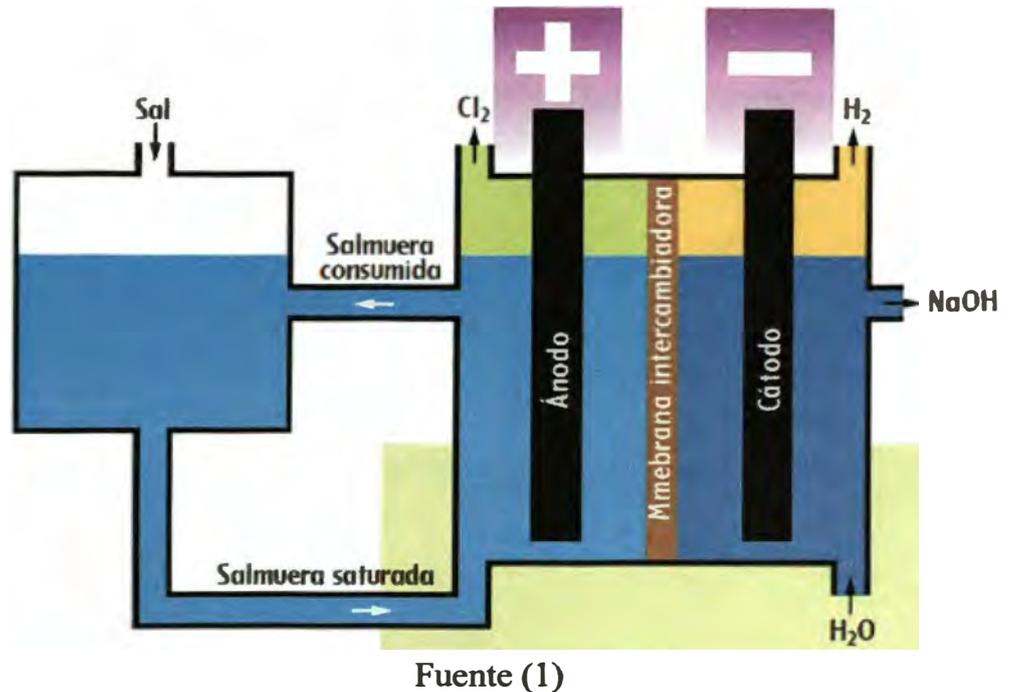


Figura 2.4 Electrólisis con celda de membrana

La soda caústica tiene múltiples aplicaciones. Contribuye en numerosos procesos como la elaboración de pasta de papel, confección de fibras textiles. Se utiliza en la elaboración de jabones metálicos “duros” (base de algunas grasas lubricantes convencionales), obtención de tensoactivos, para neutralizar aguas ácidas, regenerar resinas de intercambio iónico, en la limpieza de botellas de bebidas, en la eliminación de colorantes, en galvanoplastia, en el reciclado de papel y en la obtención del zinc y aluminio.

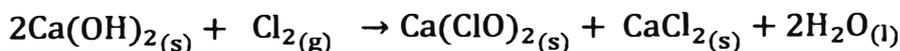
También se puede obtener cloruro de hidrógeno, haciendo reaccionar el gas hidrógeno con el cloro en fase gas. La absorción del cloruro de hidrógeno formado en la etapa anterior mediante un flujo controlado de agua que recircula en contracorriente. Se obtiene finalmente como subproducto ácido clorhídrico usado en la obtención de diferentes cloruros,

preparación de emulsiones catiónicas, en la industria del plástico, corrección de pH de aguas residuales, obtención de sílice activada; en la industria alimenticia, elaboración de glutamato monosódico, hidrólisis de almidón, refinación de caña de azúcar; acondicionamiento de superficies metálicas, minería y petróleo, etc <sup>(1)</sup>.

El hipoclorito de sodio es obtenido mediante la reacción exotérmica controlada del cloro gaseoso con el hidróxido de sodio en solución acuosa. Este producto es usado en la desinfección, esterilización, detoxificación, decoloración y deodorización de aguas industriales, potables y de piscinas; además como blanqueador y en la obtención de hidróxido férrico, bióxido de manganeso, de nitratos, sulfatos y cianatos.



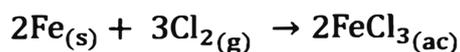
El hipoclorito de calcio se fabrica a partir de cal hidratada especial. La reacción química principal del cloro gas con la cal, dando como resultado un sólido en polvo. Tiene los mismos usos del hipoclorito de sodio.



El cloruro férrico en solución se obtiene mediante la reacción de mineral de hierro con ácido clorhídrico y cloro.

El cloruro férrico hexahidratado es un producto elaborado a partir de chatarra de hierro utilizando el ácido clorhídrico y el cloro.

Es usado como materia prima para colorantes, agente decolorante en el refinado de aceites y grasas, agente oxidante en la industria orgánica, coagulante en el tratamiento de aguas, decapado de metales y otros <sup>(2)</sup>.



## 2.2 Materias Primas Principales

### 2.2.1 Roca Fosfórica $\text{Ca}_5(\text{OH},\text{F})(\text{PO}_4)_3$

Roca con contenido del mineral apatita, constituyente accesorio de todas las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Los huesos son fosfato de calcio y de la acumulación de huesos de animales se han derivado grandes masas de fosforita. También se forma por precipitación química en el agua

de mar. El mineral apatita cristalizado se ha usado en gran escala como fuente de fosfato para fertilizantes. Los depósitos de fosforita suministran la mayor parte del fosfato para fertilizantes. Las apatitas se emplean también para obtener ácido fosfórico, y distintas sales, así como el fósforo. De las apatitas ricas en flúor se extrae ácido fluorosilícico, muy importante en la industria. En la industria cerámica se usa para fabricar una porcelana muy resistente. También se utiliza en la fabricación de detergentes y limpiadores industriales, al igual que como aditivo en la industria alimenticia y la fabricación de cremas dentales. El tricloruro de fósforo, pentasulfato de fósforo y otros compuestos obtenidos de la fosforita se usan en insecticidas, retardantes de fuego y otros <sup>(3)</sup>.

También es usado como complemento de fósforo en la dieta de los animales. Algunos depósitos del mineral contienen altos niveles de flúor y su uso como suplemento alimentario lleva a la intoxicación en el ganado. Cualquiera de las variedades de rocas compuestas principalmente de minerales de fosfato, sobre todo de apatita, son utilizados como fertilizantes y como una fuente de compuestos de fósforo <sup>(4)</sup>.

La figura 2.5 muestra una fotografía de una roca fosfórica y la tabla 2.1 el análisis físicoquímico con las especificaciones técnicas de la roca fosfórica <sup>(2)</sup>



Figura 2.5 Fotografía de una roca fosfórica.

Tabla 2.1 Análisis fisicoquímico y especificaciones técnicas de una roca fosfórica.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Humedad	%	Max. 3,0
Insolubles (como SiO <sub>2</sub> )	%	Max. 5,0
Fósforo (como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	Min. 28,0
Calcio (como CaO)	%	Max. 55,0
Flúor	%	Max. 4,0
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	%	Max. 2,0
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	%	Max. 0,1
Hierro (como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	Max. 0,1
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	1,35 – 1,45
Solubilidad en ácido cítrico al 2%	%	Min. 35,0
Solubilidad en ácido fórmico al 2%	%	Min. 50,0
Color	---	Marrón
Granulometría (malla ASTM) Retenido	%	---
Malla + 40	%	Max.20,0
Malla + 70	%	Min. 70,0
Malla +100	%	Min. 70,0
Malla +170	%	Min. 70,0
Malla +200	%	Max.10,0
Malla +325	%	Max.10,0
Malla -325	%	Max.10,0

### 2.2.2 Caliza

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Conocida como calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de

ácidos tales como el ácido clorhídrico.

En las figuras 2.6 y 2.7 se puede observar dos tamaños de caliza triturada a 1/8" y 2 - 4", respectivamente.



**Figura 2.6 Caliza 1/8"**



**Figura 2.7 Caliza 2- 4"**

En la tabla 2.2 se muestra un análisis fisicoquímico y especificaciones técnicas de una caliza.

Tabla 2.2 Análisis fisicoquímico de una caliza

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Humedad	%	Max. 1,0
Insolubles en ácido	%	Max. 1,0
Alcalinidad Total como (CaCO <sub>3</sub> )	%	Min. 97,0
MgCO <sub>3</sub>	%	Max. 1,0
CaSO <sub>4</sub>	%	Max. 1,0
Hierro	%	Max. 0,15
Reactividad	%	Min. 70,0

### 2.2.3 Ácido Clorhídrico

El ácido clorhídrico para su elaboración pasa por dos etapas:

- Reacción química del gas cloro con el gas hidrógeno. Ambos gases provienen del proceso electrolítico. El producto obtenido de manera inmediata es el cloruro de hidrógeno.
- Absorción de cloruro de hidrógeno formado en la etapa anterior mediante un flujo controlado de agua que circula en contracorriente. Ambas etapas están sometidas a un constante proceso de enfriamiento con agua blanda.

En la tabla 2.3 se observa la ficha técnica de los resultados de un análisis fisicoquímico de HCl.

Tabla 2.3 Análisis fisicoquímico de HCl.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Ácido clorhídrico como HCl	%	Min. 33
Ácido clorhídrico como HCl	g/L	Min. 380
Cloro residual como Cl <sub>2</sub>	ppm	Máx. 180
Sulfato como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ppm	Máx. 500
Hierro (Fe)	ppm	Máx. 1,0

### 2.3 Descripción general del proceso productivo<sup>(6)(7)</sup>

- a. Chancado: Consiste en la reducción de tamaño de sólidos, producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes. Las partículas son deseadas por su gran superficie, ya que el área de superficie de una unidad de masa de partículas aumenta en forma considerable a medida que reduce el tamaño, incrementando la reactividad de los sólidos; esto permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño para su fácil tratamiento. <sup>(5)</sup>.

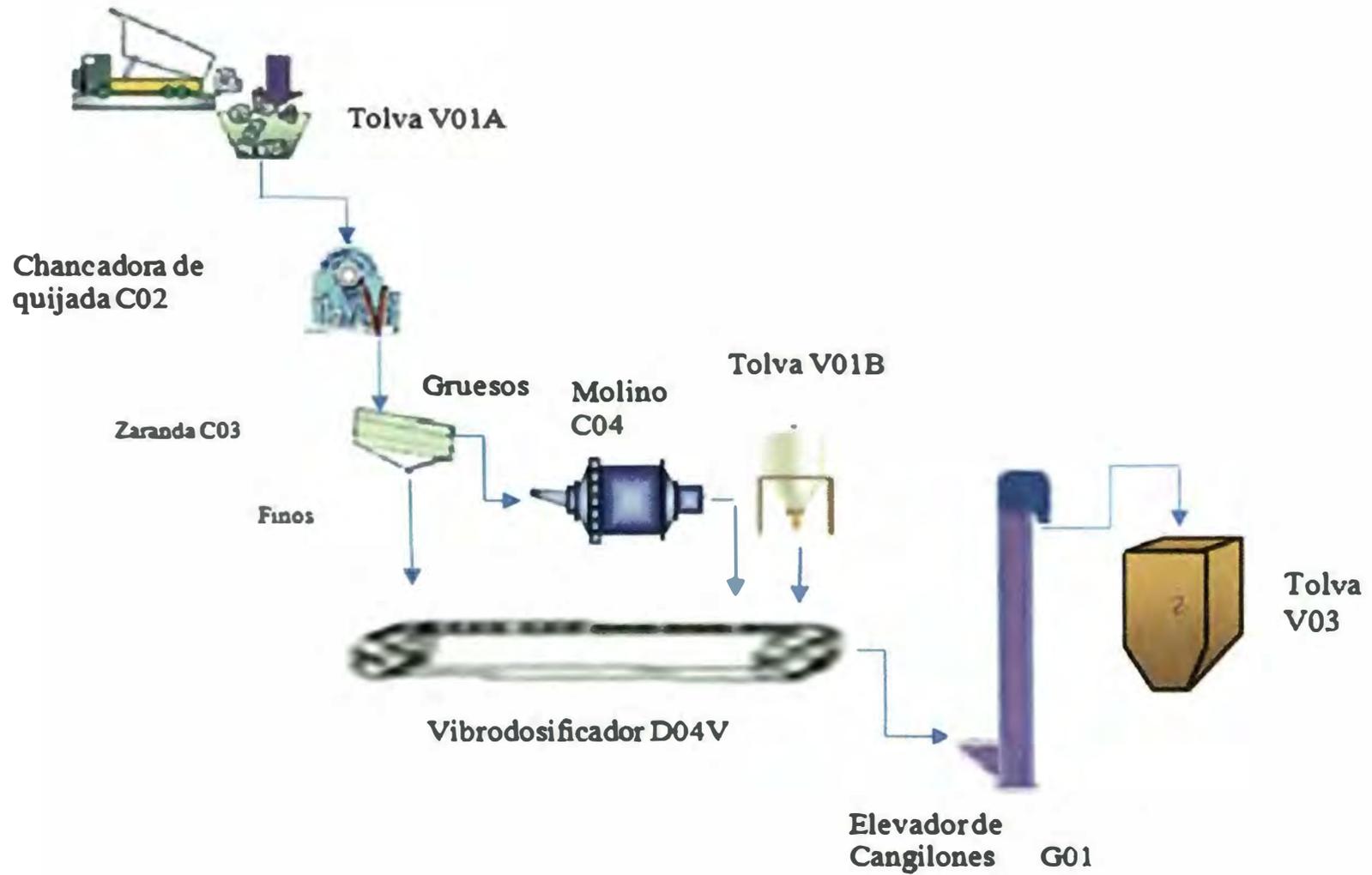
#### Equipos

- Chancadora de mandíbulas, código C02.
- Molino de martillos, código C04.
- Zaranda, código C03.
- Vibrodosificador, código D04V.
- Tolva de recepción de piedra caliza, código V01A y V01B.
- Elevador de cangilones, código G01.
- Tolva de almacenaje de caliza chancada, código V03.

La piedra caliza gruesa y fina es recepcionada en sus respectivas canchas de almacenamiento, previo análisis del laboratorio de control de calidad, para luego cargarla a las tolvas de caliza gruesa (V01A) y fina (V01B) respectivamente para su tratamiento físico.

El chancado de la caliza se inicia con el proceso de reducción de tamaño. La caliza gruesa (2" – 4" de tamaño) de la tolva (V01A), ingresa a la chancadora de mandíbula (C02), pasando luego a la zaranda (C03), dividiéndose en dos corrientes la gruesa y la fina; la gruesa pasa a través del molino de martillos (C04), uniéndose luego con la fina en el vibrodosificador (D04V). En el vibrodosificador (D04V) se une tres corrientes de la salida de molino de martillo, de la descarga de tolva (V02B) de caliza fina (1/8" de tamaño) y de la salida de zaranda. El vibrodosificador (D04V) alimenta al elevador de cangilones (G01) para su transporte a la tolva de almacenaje de caliza chancada (V03).

En la figura 2.8 se muestra el proceso de reducción de tamaño descrito líneas arriba.



Fuente (6) y (7)

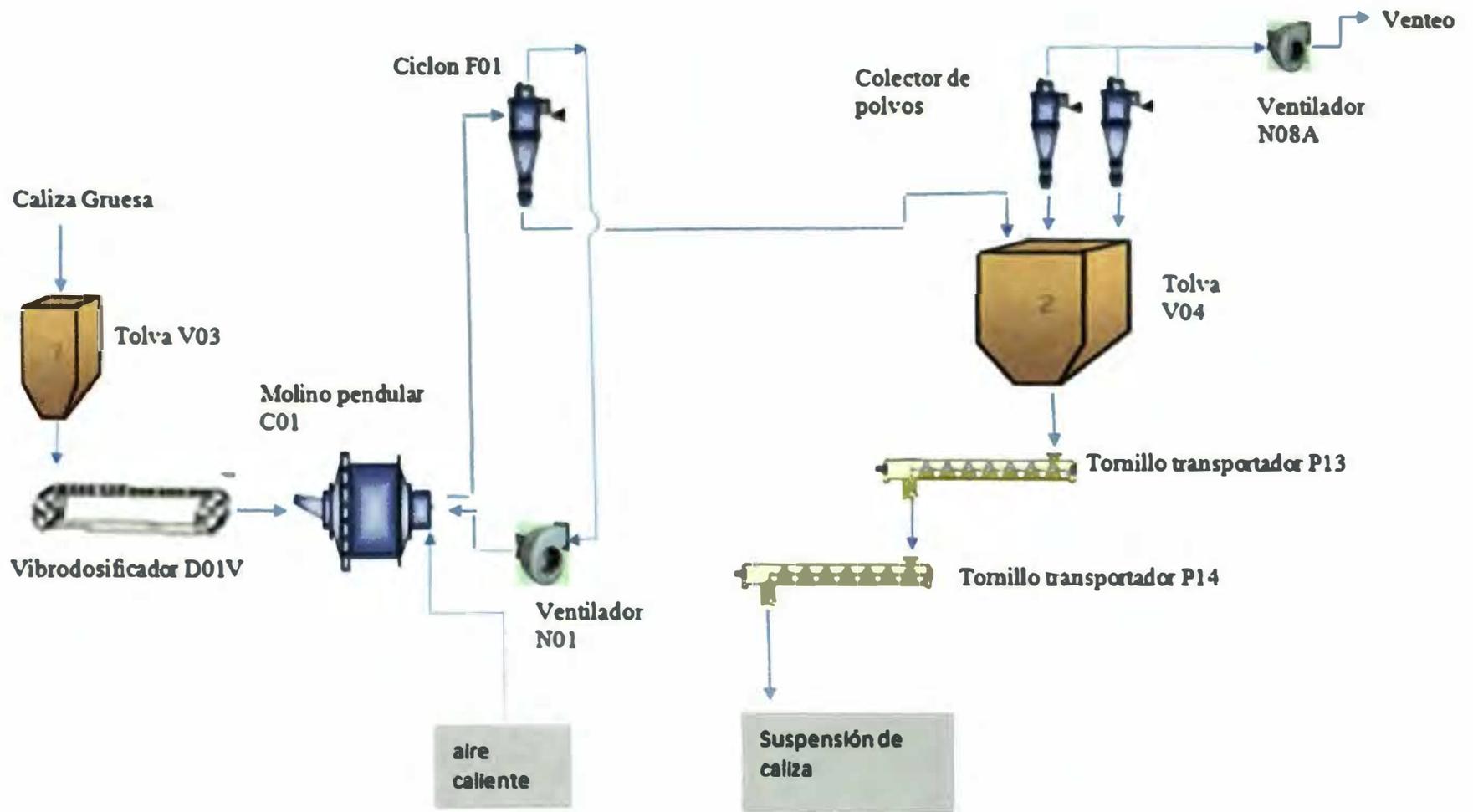
Figura 2.8 Proceso de reducción de tamaño (chancado) y almacenaje de la caliza.

**b. Molienda****Equipos**

- Molino pendular, código C01.
- Tolva de caliza chancada, código V03.
- Vibrodosificador, código D01V.
- Tolva de caliza molida, código V04.
- Ventilador Ciclón, código N01.
- Ventilador Colector, código N08.
- Ciclón, código F01.
- Colectores de polvo, código Z02A y Z02B.
- Tornillos transportadores, código P14 y P13.
- Tanques de preparación de suspensión de caliza, código TC13A, TC13B y TC13C.

Ingresa la caliza chancada proveniente de la tolva de alimentación de caliza D03, es transportada a través del vibrodosificador (D01V) e ingresa al molino (C01), el producto de la molienda es transportado neumáticamente mediante el ventilador (N01) hasta el ciclón (F01), el producto aceptado alimenta a la tolva (V04) y el rechazo es transportado por medio del ventilador (N08) a través del colector de polvos (Z02A y B), donde los sólidos alimentan a la tolva (D04), desde donde mediante los tornillos transportadores (P13) y (P14) se traslada la caliza molida hasta el tanque de preparación (TC13), donde es mezclada con agua.

En la figura 2.9 se puede observar lo descrito respecto a la molienda de la caliza proveniente de la tolva de alimentación VO3.



Fuente (6) y (7)

Figura 2.9 Diagrama de la etapa de molienda.

**c. Preparación de suspensión de caliza**

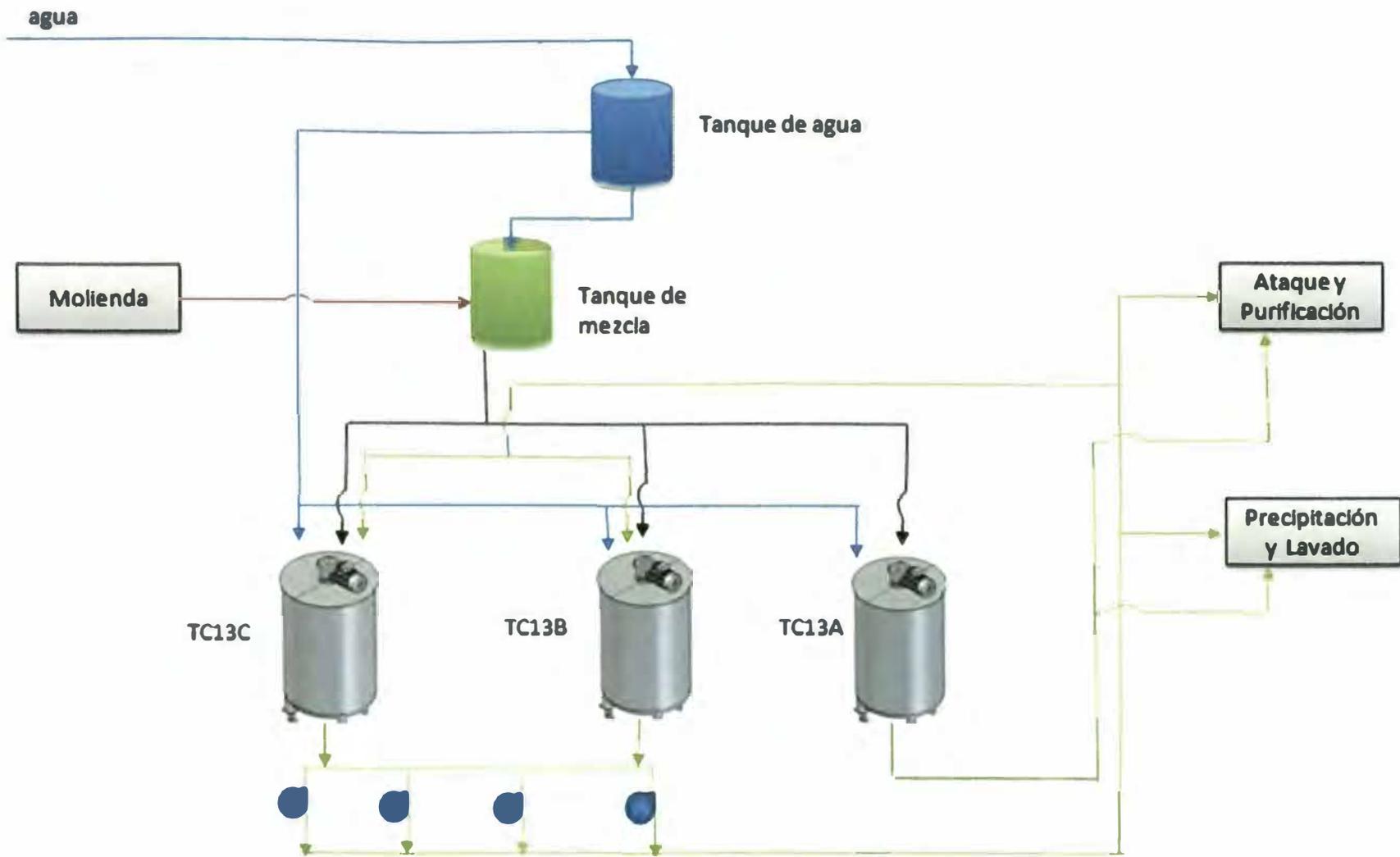
**Equipos**

- **Tanques de preparación de caliza TC13A, TC13B y TC13C.**

**La preparación de la suspensión de caliza se realiza en los tanques agitados TC13, la caliza se envía a la zona de ataque y purificación y la zona de precipitación y lavado.**

**Existen líneas de recirculación a los tanques TC13B y TC13C, y usando las bombas se pueden transferir la suspensión entre los tanques. Se puede agregar agua a cualquiera de los tanques en caso de ser necesario diluir la suspensión.**

**En la figura 2.10 se puede observar el proceso de preparación de la suspensión de caliza en tanques agitados.**



Fuente (6) y (7)

Figura 2.10 Diagrama de preparación de suspensión de caliza.

d. **Ataque y Purificación:**

**Equipos**

- Reactor, código DFR01 (A y B).
- Elevador de cangilones, código G03.
- Faja transportadora, código F02.
- Tanques defluorinadores, códigos TD02 (A y B).
- Tolva de recepción de roca, código V01.
- Tanques de reataque, códigos TP06 (A y B).
- Tanque de desbordaminero (overflow) del E03, código TP16.
- Tanque de preparación de ácido diluido, código TA03(A y B).
- Tanque de preparación de suspensión de roca, código TPR05.
- Tanques de licor monocálcico, códigos TP04 (A y B).
- Espesadores, códigos E01, E02 y E03.

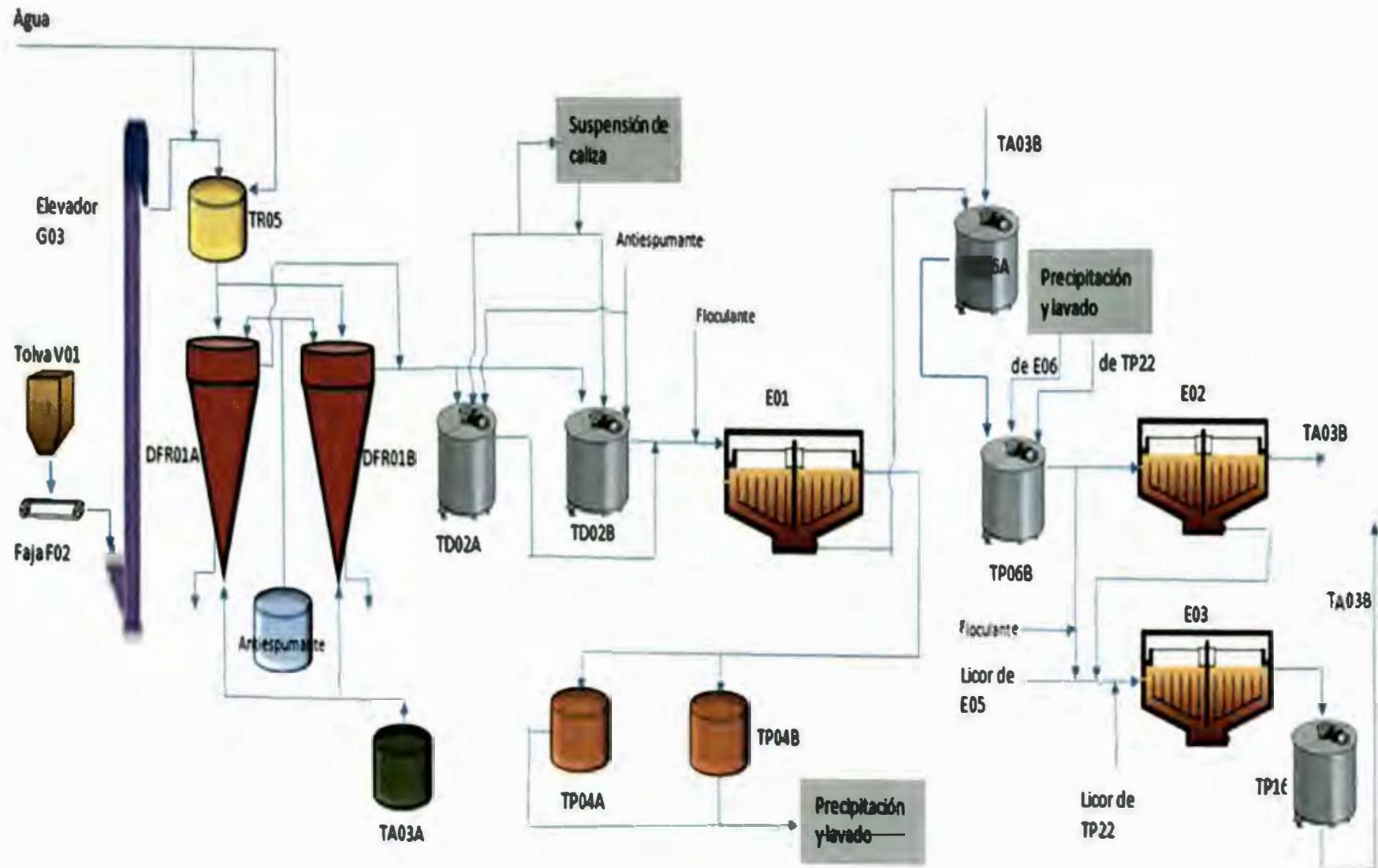
El ataque de la roca fosfórica ocurre en el reactor (DFR01), y la purificación se inicia en el defluorinador (TP02) continuando en los espesadores cuya eficiencia aumenta por la adición de floculantes.

La roca fosfórica se recibe en la tolva (V01), se alimenta a la faja transportadora (F02) y pasa al elevador de cangilones (G03). Durante la descarga de la roca transportada por el elevador de cangilones al tanque agitado (TR05) (tanque de preparación de pulpa) se adiciona agua.

La pulpa del TR05 ingresa al DFR01 por la parte superior y el HCl (6%), ácido diluido, del tanque TA03A ingresa por la parte inferior, el producto de la reacción es el licor monocálcico.

El producto obtenido sale por rebose a canaletas que lo trasladan al tanque defluorinador (TD02) donde se adiciona la suspensión de caliza para precipitar el flúor remanente formado en los reactores.

El licor monocálcico defluorinado ingresa al espesador E01, cuyo licor pasa al tanque TP04, y el lodo al tanque de reataque TP06A (tanque de reataque), al que ingresa también el HCl (33%) del tanque TA03B. La mezcla del TP06A pasa por rebose al tanque TP06B en el que también ingresa el lodo del E06 y/o licor del TP22 (tanque de almacenamiento de agua de lavado y soplado de la torta del filtro de lodos). El licor recibido en los TP04, se bombea a la batería de precipitadores TP08.



Fuente (6) y (7)

Figura 2.11 Proceso de ataque y purificación de la roca fosfórica.

e. **Precipitación:**

**Equipos**

- Tanque de NaOH, código TN01B.
- Tanque de desbordamiento (overflow) del E03, código TP16.
- Tanque de neutralización, código TP09.
- Tanques de lodos de E05, códigos TP10.
- Tanques agua de lavado de filtros rotatorio y prensa, códigos TP11.
- Tanques de licor monocálcico, códigos TP04 (A y B).
- Tanques precipitadores, códigos TP08-1, TP08-2, TP08-3, TP08-4, TP08-5, TP08-6, DP08-7, DP08-8, DP08-9, DP08-10, DP08-11 y DP08-12.
- Espesadores, códigos E04, E05 y E06.

El NaOH concentrado al 50% se diluye en el tanque TN01B con agua hasta el 15% y se envía al TP08-12.

El proceso se inicia con el bombeo del licor monocálcico procedente de los tanques TP04 hacia el tanque precipitador TP08-1, también se produce el bombeo de la suspensión de caliza necesaria para obtener los cristales de fosfato bicálcico, la suspensión de fosfato bicálcico formado se transferirá consecutivamente a los otros tanques precipitadores ya que todos se encuentran conectados mediante un rebose, en el último de estos tanques TP08-12 e ingresa soda diluida para neutralizar la solución.

La suspensión resultante pasa al espesador E04 por una canaleta en la que ingresa licor del espesador E05, y floculante.

El licor del E04 ingresa al tanque TP09, donde se adiciona soda diluida para regular el pH, y el lodo se bombea al E05, mientras que su licor es transferido por gravedad al tanque TP09.

El flujo rebosado del tanque de paso TP09 ingresa al espesador E06 en donde la suspensión en exceso rebosa al desagüe y el lodo es bombeado al TP06B.

En el espesador E03 existen una canaleta donde ingresa la mezcla de la descarga del rebose de E05 y los lodos del E02, la descarga de la canaleta del TP08-12 a E04.

Los lodos del E05 ingresan al tanque agitados TP10.

En el espesador E03, los lodos pasan al área de filtrado para el tratamiento

de efluentes y el licor al tanque TP16. La suspensión del TP10 ingresa a los filtros rotatorios 6x6 y 10x10, el flujo no usado en los equipos retorna a sus respectivos tanques.

El flujo de ingreso de floculante a E04, E05 y E06 está relacionado con flujo de ingreso de HCl a reactor DFR01.

En la figura 2.12 se puede apreciar el proceso de precipitación.

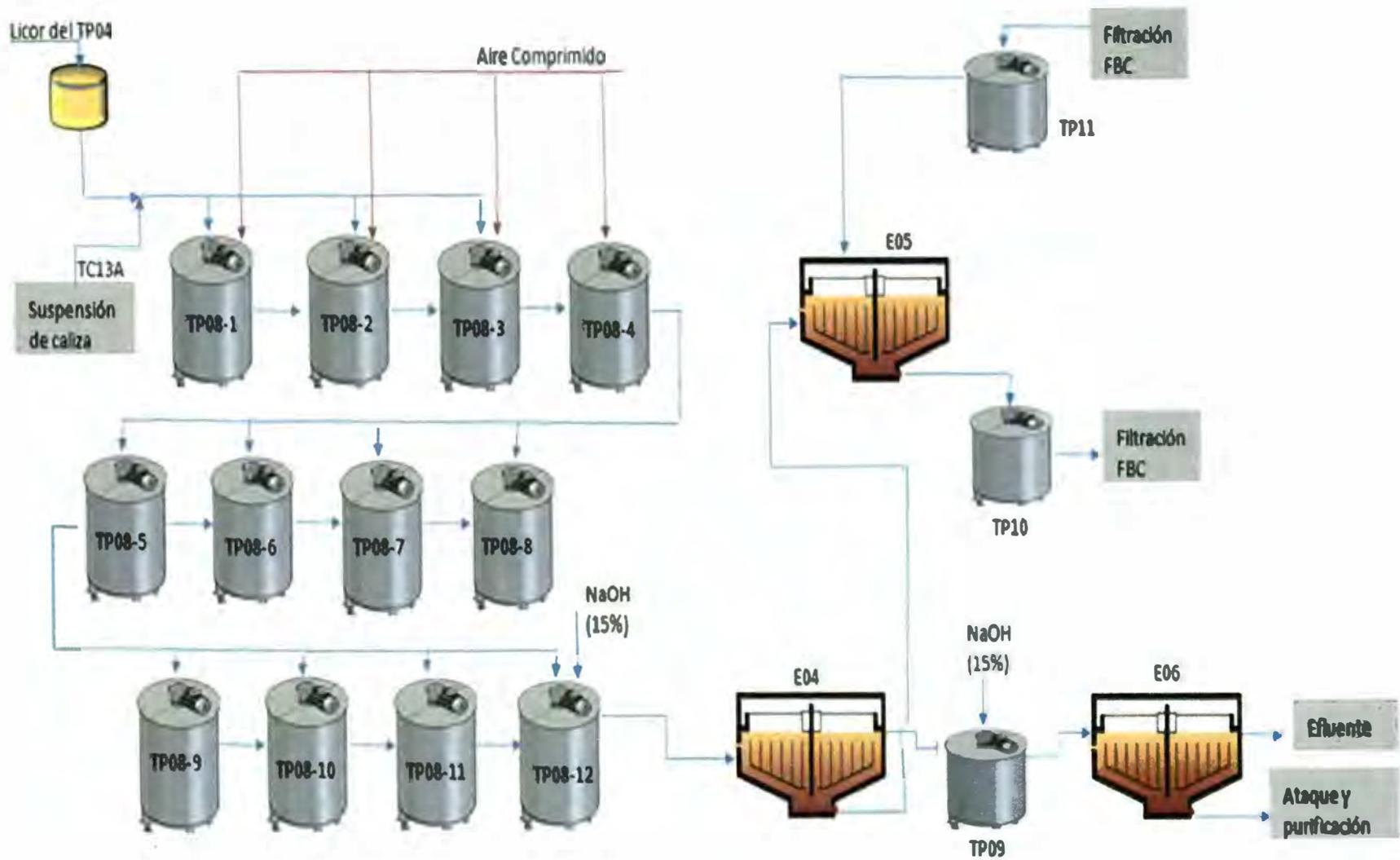
### Reacciones Químicas:

a) Inicio de la precipitación



b) Término de la precipitación





Fuente (6) y (7)

Figura 2.12 Proceso de ataque y purificación de la roca fosfórica.

## f. Filtrado:

## Equipos

- Filtros rotatorios 6x6, código Z03.
- Filtro rotatorio 10x10, código Z10.
- Recipientes separadores códigos Z04, Z05, Z13 y Z14.

El lodo del espesador E05, se dirige hacia los tanques DP10A de donde se bombea hacia los filtros rotatorios Z03 y Z10.

Los filtros rotatorios constan de un tambor parcialmente sumergido en el lodo a filtrar y gira alrededor de su eje horizontal. El lodo a filtrar es recibido en una tina ubicada debajo del filtro. El lodo se mantiene homogéneo con ayuda de un agitador dentro de la tina que tiene movimiento de vaivén.

La formación de la torta en la membrana es debida al vacío que se genera en el interior del tambor, se le adiciona agua a la torta para su lavado en caso de requerirlo. La remoción de la torta se realiza mecánicamente.

Existen dos bombas generadoras de vacío, este se da dentro del filtro succionando el licor filtrado de la torta.

El licor succionado de la torta del filtro Z03 se almacena en el separador Z04, separando el agua del lodo, por el fondo los lodos van hacia el DP08-12 y del tope se succiona el agua al Z05, enviándolo al DA15.

El licor succionado de la torta del filtro Z10 se almacena en el separador Z13, separando el agua del lodo, por los fondos los lodos van hacia el DP08-12 y del tope se succiona el agua al Z05, enviándolo al DA15.

El licor, prácticamente agua, del tanque DA15, se envía a los espesadores E04 y E05.

Las tortas formadas en los filtros Z03 y Z10 son retiradas por los tornillos transportadores hacia el secador rotatorio y al secador flash respectivamente.

## g. Secado:

## Equipos

- Ciclones, código F03A y F03B.
- Colector de polvo, código AAF216.
- Tornillos transportadores, códigos T07, T09B, T20, T17 y T20.
- Elevador de cangilones, código T10B.

- Secador Rotatorio, código Q02.
- Silos de almacenamiento, códigos L03A, L03B.

La torta obtenido en el filtro 6x6 es transportado y mezclado con el producto seco proveniente de los ciclones F03A y F03B, en el tornillo mezclador T07 e ingresa al secador rotatorio Q02, para su secado en contacto directo con aire caliente.

El producto FBC sale del secador y cae en el tornillo T09B del cual pasa al elevador de cangilones T10B, en la descarga de este existe dos líneas una hacia el tornillo T20 y otra que se divide en dos, una al L03A, silo de almacenamiento para la ensacadora manual y al L03B, silo de almacenamiento para el ensacador big bag.

La corriente de aire caliente y fino es retirada del secador Q02 por la parte superior de este hacia los ciclones F03A y F03B de donde el producto aceptado cae al T07. Los finos de estos ciclones son retirados al colector de polvo AAF216 aquí el producto recuperado cae en el tornillo T17.

El ventilador C14 succiona los gases del colector de polvos AAF216 y los descarga a la atmósfera a través de una chimenea.

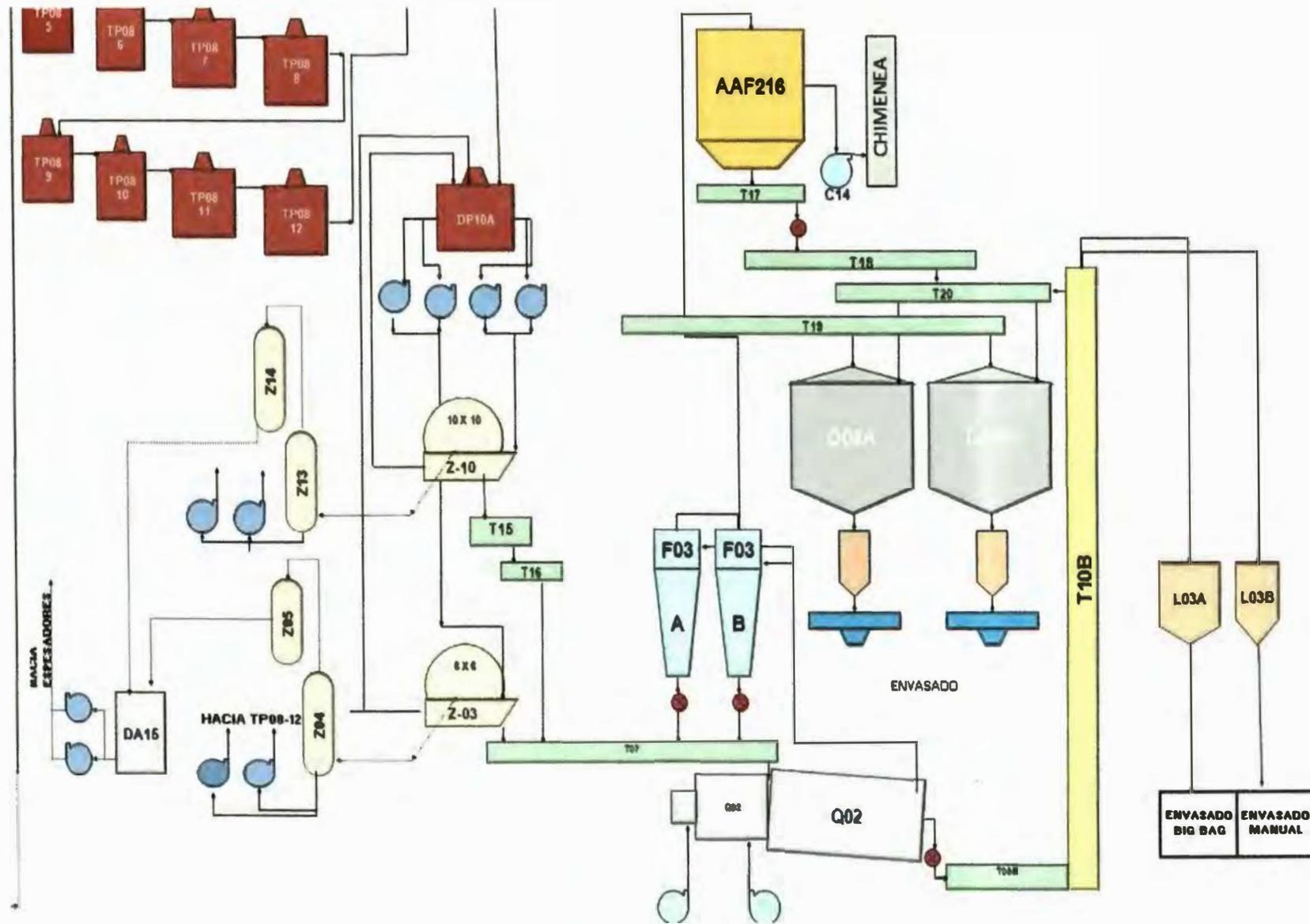
El producto del T17 cae al tornillo T18, donde se unen las salidas del AAF216 y del AAF360 (colector de polvos de secador flash), luego cae al tornillo T20. Del T20 ingresa al D08 (A y B), silos de almacenamiento de producto.

#### **h. Envasado:**

El producto en tolva (fosfato bicálcico a granel), ingresa a una ensacadora neumática que se calibra al peso requerido, envasando sacos de polipropileno de 30 kg, los cuales caen a una tornamesa y el operador forma parihuelas de 50 sacos c/u (peso promedio por parihuela = 1.50 TM). Adicionalmente se da el envasado en big – bag de 750 Kg. con la ayuda de una plataforma y balanza acondicionada para este fin.

El operador de despacho realiza el retiro de las parihuelas de la zona de envasado para proceder al apilado de las mismas en el almacén.

En la figura 2.13 se puede observar los procesos de filtrado, secado y envasado.



Fuente (6) y (7)

Figura 2.13 Procesos de Filtrado, secado y envasado.

## 2.4 Características del producto

Fosfato Bicálcico Dihidratado<sup>(2)(6)(7)</sup>: También llamado fosfato dicálcico dihidratado,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , es un polvo fino, casi blanco, que se descompone a  $70^\circ\text{C}$ . El fosfato bicálcico es insoluble en agua, pero soluble al 98% en ácido cítrico y citrato de amonio. Su pH está entre 6,5 y 7.

El fosfato bicálcico es una fuente de fósforo y calcio en la formulación de la alimentación utilizada en la cría de diferentes especies animales.

Se utiliza para las aves de corral, ganado vacuno, cerdos y todas las especies animales.

En la tabla 2.4 se observa la ficha técnica de los resultados de un análisis fisicoquímico de fosfato bicálcico.

En la figura 2.14 se observa una fotografía del producto, fosfato bicálcico.

Tabla 2.4 Ficha técnica de los resultados de un análisis fisicoquímicos de fosfato bicálcico

PARÁMETROS	UNIDAD	REPORTE
Humedad adherente	$\text{g/cm}^3$	Máx. 2,5
Insolubles en ácido	%	Máx. 1,0
Fósforo	%	Mín. 18,0
Calcio (como $\text{Ca}^{+2}$ )	%	Mín. 26,0
Flúor	%	Máx. 0,18



Figura 2.14: Fotografía del fosfato bicálcico.

### **III.- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS IMPORTANTES**

#### **3.1 Elevador de Cangilones<sup>(8)</sup>**

Los elevadores de correa a cangilones son los equipos más comunes y económicos para el movimiento vertical de materiales a granel. Los cangilones son los recipientes que contienen el material, tomándolo en la parte inferior del sistema y volcándolo en la parte superior, para este cometido deben tener una configuración adecuada. Los cangilones van montados sobre la correa que es la que trasmite el movimiento del tambor de accionamiento y la que debe absorber los esfuerzos provocados por esta transmisión además del peso efectivo del material elevado y el peso propio de los cangilones.

El funcionamiento satisfactorio y seguro depende de la tensión de la banda, del desgaste y rotura de los cangilones, del control de alimentación, de las descargas sin obstrucciones y de la limpieza. Muchos problemas de funcionamiento provocan descargas poco eficientes. Dando como resultado sobrecargas para el motor, portillos de descarga obstaculizados, bandas del elevador estiradas, baja capacidad, daño a los cangilones, cangilones arrancados de la banda, quemaduras en la polea de cabeza y problemas asociados con las máquinas.

Las precauciones que se deben tener para prevenir cualquier peligro para el personal:

- Nunca sobrecargar la máquina.
- Mantener la limpieza en las puertas de acceso y las aberturas deben estar cerradas normalmente.
- Antes de retirar las puertas de acceso, pare el motor se debe entrenar al personal de funcionamiento para que distinga cualquier sonido o vibración anormales.
- Al notar cualquier anomalía se debe parar inmediatamente la máquina e investigar.

En la figura 3.1 se puede observar un elevador de cangilones.

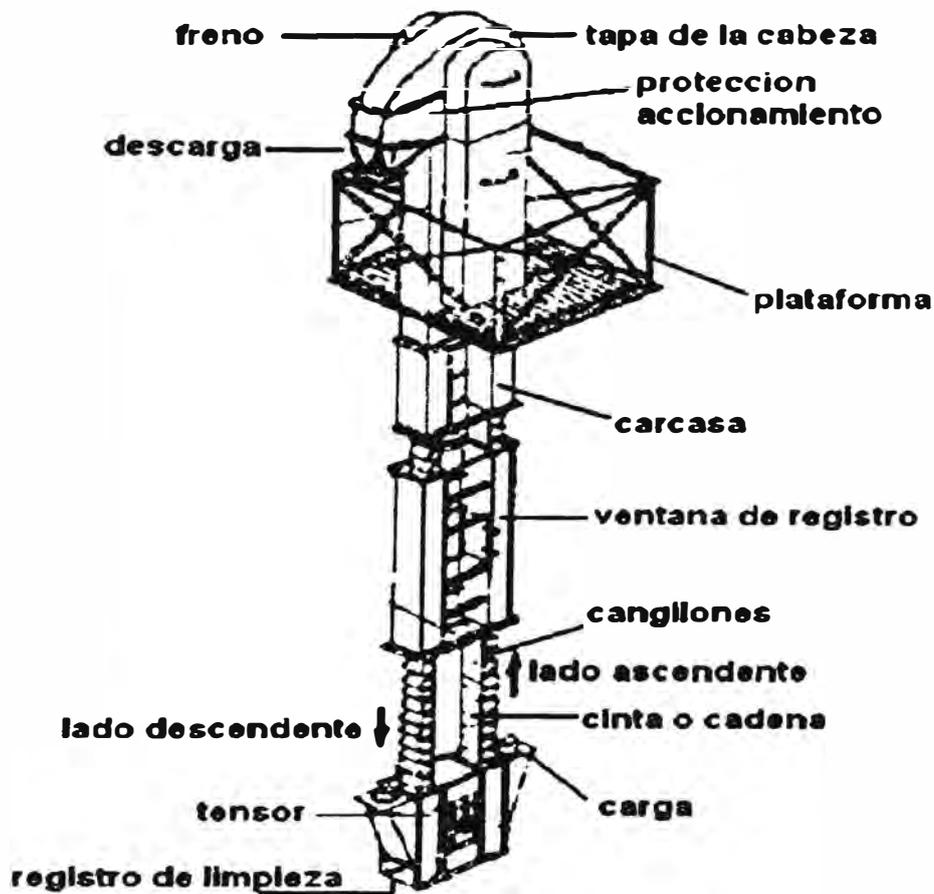


Figura 3.1 Elevador de cangilones.

### 3.2 Faja Transportadora<sup>(8)</sup>

Los transportadores de cinta son los aparatos más difundidos que se emplean en distintas ramas de la industria para desplazar diversas cargas por unidades y a granel. Los esquemas de los transportadores son muy diversos que se determinan por la designación del transportador en el proceso. La gama de la productividad de los transportadores es extraordinariamente amplia y alcanza 20 000 t/h. La extensión de los transportadores de cinta alcanza 5 e incluso 10 km. La línea (camino) de este tipo de transportadores en el plano horizontal puede ser muy compleja.

Ventajas:

- Bajo consumo de energía y necesidades de mantenimiento.
- Gran capacidad de transporte.
- Bajo costo por tonelada de material manejado.

- Baja producción de ruidos

Desventajas:

- Dificultad de transportar productos a elevada temperatura.
- Dificultad para el transporte en cámara cerrada.
- Limitación de transporte de productos según pendiente y características.
- Dificultades para transportar productos muy fluidos.
- Cambios de dirección en el plano horizontal.
- Descarga en sentido perpendicular al eje del transportador.

En la figura 3.2 se observa un esquema de las fajas transportadoras.

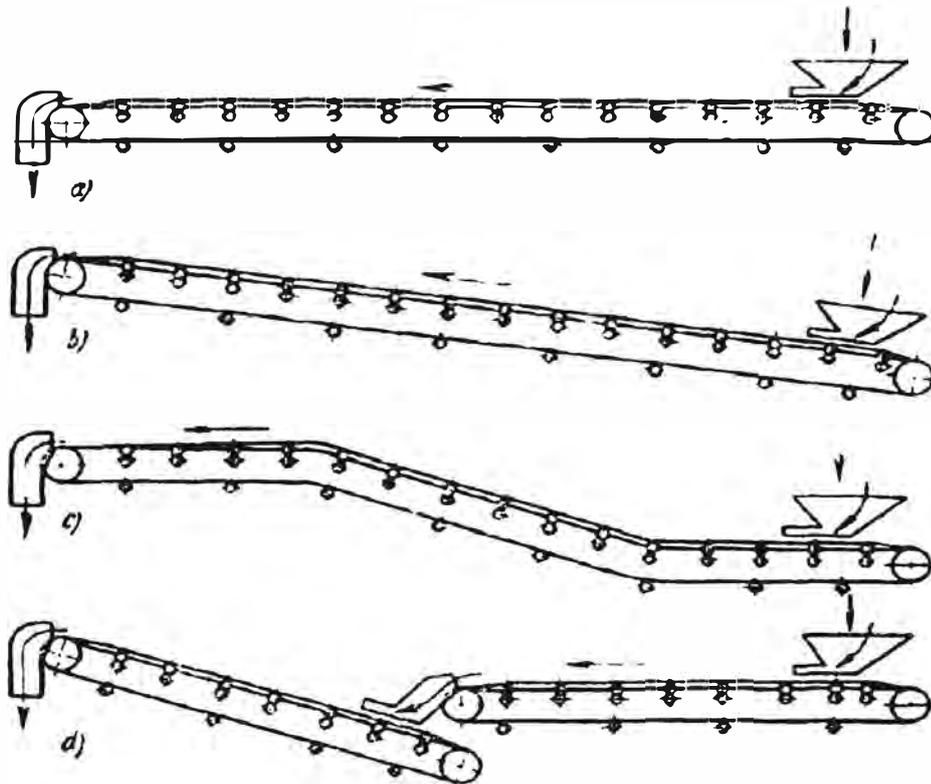


Figura 3.2 Esquema de fajas transportadoras: a) horizontal, b) inclinado, c) horizontal- inclinado- horizontal, d) horizontal- inclinado.

### 3.3 Espesador<sup>(9)</sup>

Un espesador es un aparato de separación continua de sólido-líquido, en el que los sólidos en suspensión se dejan decantar, produciendo rebose de agua clarificada y un lodo concentrado en la descarga. Véase figura 3.3.

Cuando en la separación se produce una decantación y un posterior espesamiento de los lodos, se trata de un espesador.

En un espesador, el grupo motriz se halla instalado en el centro y mediante un acoplamiento rígido, acciona el eje central en cuya parte inferior se hallan sujetos los brazos rascadores. El barrido y transporte de los fangos decantados hacia el centro se realiza con unas rasquetas de tipo espina de pez.

El espesador realiza dos funciones:

- Decantar y espesar los lodos a fin de conseguir la mayor concentración posible y, por lo tanto, el menos volumen posible de lodos a gestionar.
- Obtener un líquido sobrenadante libre de sólidos.



Figura 3.3 Fotografía de un espesador.

## IV.- INSTRUMENTOS DE CONTROL

### 4.1 Definiciones <sup>(10)(11)</sup>

#### **Campo de medida (range):**

Conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos. Por ejemplo: el campo de medida del instrumento de temperatura es 100-300°C.

#### Rangeabilidad o dinámica de medida (rangeability)

Es el cociente entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento.

Por ejemplo para el instrumento que mide la temperatura será:

$$\frac{300}{100} = 3$$

#### **Alcance (Span):**

Es la diferencia entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. Por ejemplo para el instrumento que mide la temperatura:

$$300 - 100 = 200^{\circ}\text{C}$$

#### **Error:**

Es la diferencia entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.

#### Incertidumbre de la medida (uncertainty)

Es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente a verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos, etc.

#### **Exactitud:**

Es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

**Precisión (accuracy):**

Es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado.

**Zona Muerta (dead zone o dead band):**

Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce respuesta. Es el tanto por ciento del alcance de la medida.

**Sensibilidad (sensitivity):**

Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el reposo. Por ejemplo si en un transmisor electrónico de 0-10 bar, la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA C.c., la sensibilidad es:

$$\frac{(12,3 - 11,9)/(20 - 4)}{(5,5 - 5)/10} = \pm 0,5 \text{ mA Cc./bar}$$

**Repetibilidad (repeatability):**

Es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida, del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo.

**Histéresis (hystereresis):**

Es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

**Instrumentos indicadores:**

Disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Existen los indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos.

**Instrumentos registradores:**

Registran con un trazo continuo o a puntos la variable.

**Elementos primarios:**

Están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc.

**Acción:**

Como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar la acción en el sistema, generalmente esta se realiza con el elemento final de control.

**Variable controlada:**

Es la variable que se debe mantener o controlar dentro del valor deseado.

**Variable manipulada:**

Es la que se utiliza para mantener a la variable controlada en el punto de control (punto de fijación o régimen).

**Perturbación:**

Cualquier variable que ocasiona que la variable de control se desvíe del punto de control.

**Circuito abierto o lazo abierto:**

El controlador no realiza ninguna función relativa como mantener la variable controlada en el punto de control, o cuando la acción efectuada por el controlador no afecta la medición.

Control de circuito cerrado: el controlador compara el punto de control (la referencia) con la variable controlada y determina la acción correctiva.

**Control básico:**

Comprende los lazos de control de forma individual y tiene como función la de mantener las variables del proceso en los valores prefijados como puntos de consigna. Cada lazo de control trabaja de forma individual y no «conoce» lo que están haciendo el resto de lazos relacionados con el mismo proceso unitario. Actualmente se puede considerar control básico incluso el control en cascada.

**Transmisores:**

Captan la variable del proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática de margen de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) o electrónica de 4 a 20 mA. de corriente continua. La señal digital utilizada en algunos transmisores inteligentes es apta directamente para ordenador.

**Transductor:**

Recibe una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no a una señal de salida. Son transductores, un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/1 (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP/P) presión de proceso a señal neumática), etc.

**Convertidores:**

Aparatos que reciben una señal de entrada neumática (3-15psi) o electrónica (4-20mA c.c.) procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar

Por ejemplo: un convertidor P/I (señal de entrada neumática a señal de salida electrónica); un convertidor I/P (señal de entrada eléctrica a señal de salida neumática).

**Receptores:**

Reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran. Los receptores controladores envían otra señal de salida normalizada a los valores ya indicados 3-15 psi en señal neumática, o 4-20 mA c.c en señal electrónica, que actúan sobre el elemento final de control.

**Controladores:**

Comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.

**Elemento final de control:**

Recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. En el control neumático, el elemento suele ser una válvula neumática o un servomotor neumático que efectúan su carrera completa de 3 a 15 psi (0.2 -1 bar). En el control electrónico la válvula o el servomotor son accionados a través de un convertidor de intensidad a presión (I/P) o señal digital a presión que convierte la señal electrónica de 4 a 20 mA c.c. o digital a neumática 3-15 psi. En el control eléctrico el elemento suele ser una válvula motorizada que efectúa su carrera completa accionada por un servomotor eléctrico.

### **Medidores de Presión:**

Se clasifican en tres grupos:

- **Mecánicos:** Los elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana). También los elementos primarios elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen. Los elementos primarios elásticos más empleados son: el tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.
- **Neumáticos:** Se basa en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática. Consiste en un tubo neumático alimentado a una presión constante con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lámina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida.
- **Electromecánicos:** Utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. Se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos: transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas, resistivos, magnéticos, capacitivos, extensométricos y piezoeléctricos.

### **Medidas de Caudal**

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado. Los transductores más importantes son:

- **Medidores volumétricos:** determinan el caudal en volumen del fluido, sea directamente (desplazamiento), indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino). En la industria se usa comúnmente los elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa- orificio o diafragma, la tobera y el tubo Venturi.

- Medidores de caudal masa: puede efectuarse a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad del fluido, o bien terminar directamente el cual masa aprovechando características medibles de la masa del fluido. En el primer caso se compensa directamente la densidad o bien las variables de presión o temperatura.

### **Medidores de Nivel:**

La medición de nivel es muy importante en la industria. La utilización de instrumentos electrónicos en la medida de otras variables, tales como la presión y temperatura, permiten añadir inteligencia en la medida del nivel, y obtener precisiones de lecturas altas. El transmisor de nivel inteligente permite la interpretación de nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma de flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel líquidos y de sólidos que son dos mediciones claramente diferenciadas.

- Medidores de nivel líquido: trabajan midiendo directamente la altura del líquido sobre la línea de referencia, por presión hidrostática, desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, aprovechando características eléctricas del líquido. Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador. Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se divide en: medidor manométrico, de membrana, de tipo burbujeo, de presión diferencial de diafragma. Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en: medidor resistivo, conductivo, capacitivo, ultrasónico, radiación, láser.
- Medidores de nivel de sólidos: Los detectores de nivel de punto fijo proporcionan una medida en uno o varios puntos fijos determinados.

Los sistemas más empleados son el diafragma, el cono suspendido, la varilla flexible, el medidor conductivo, las paletas rotativas y ultrasonidos. Los medidores de nivel continuo proporcionan una medida continua del nivel desde el punto más bajo al más alto. Entre los instrumentos empleados se encuentran el de peso móvil, el de báscula, el capacitivo, el de presión diferencial, el de ultrasonido y radiación.

### **Medidores de Temperatura:**

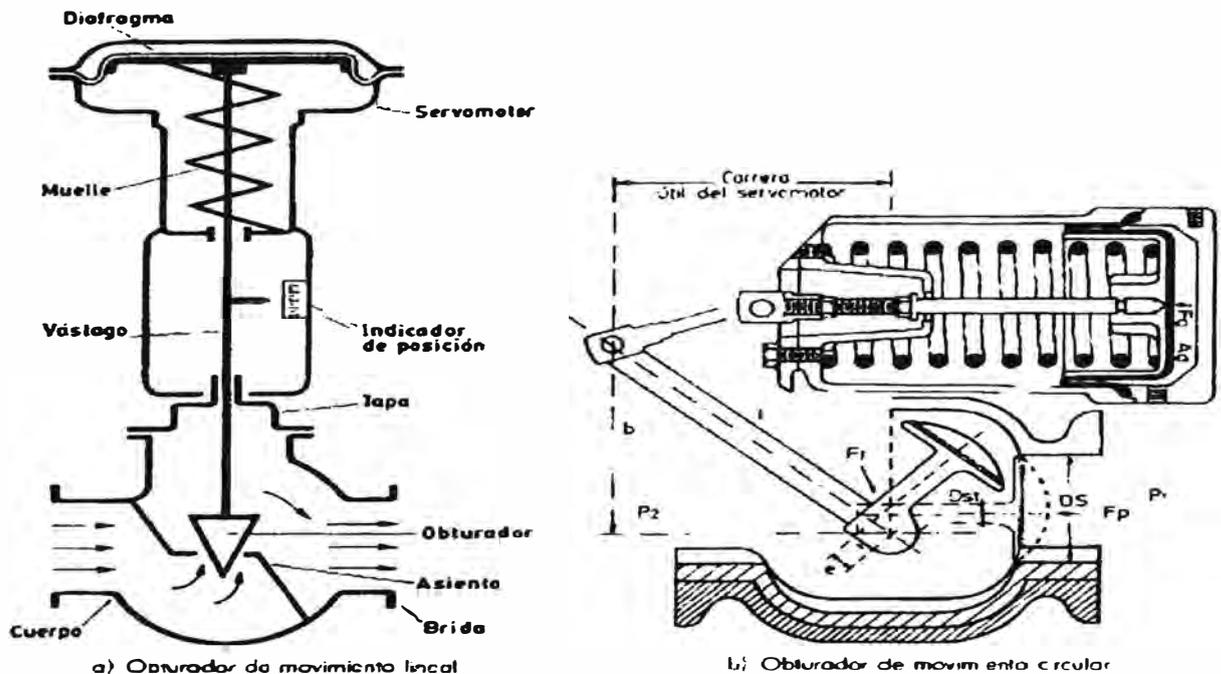
La medida de la temperatura es la más común y más importante en los procesos industriales. Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran: variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases), variaciones de resistencia de un conductor (sondas de resistencia), variación de resistencia de un semiconductor (termistores), f.e.m creada en la unión de metales distintos (termopares), intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación), otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.). De este modo se emplean los instrumentos siguientes: termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal cuarzo.

### **Válvulas de Control:**

La válvula es muy importante en el control automático de los procesos en el bucle de regulación. Su función es variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador.

La válvula de control típica se compone principalmente del cuerpo y el servomotor.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de una rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador (véase figura 4.1 a) y b)) tiene la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.



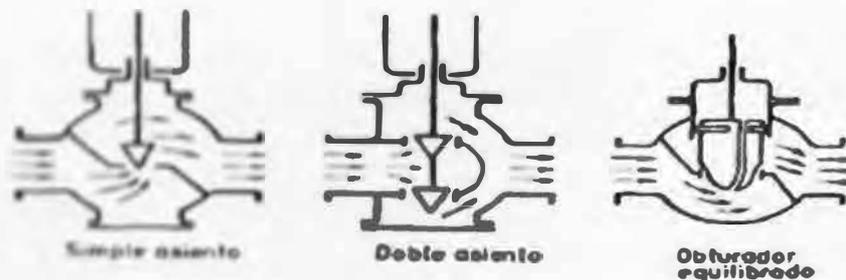
Fuente (11)

Figura 4.1 Obturadores: a) obturador de movimiento lineal y b) obturador de movimiento circular.

Tipos de válvulas:

- Válvula globo: Son de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente (Véase figura 4.2). Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso. Por lo tanto, se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas

en posición de cierre sean mínimas. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.



Fuente (11)

Figura 4.2 Tipos de válvula globo.

- **Válvulas en ángulo:** Permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando ésta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. Es idónea para el control de fluidos que vaporizan (flashing), para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contiene sólidos en suspensión. Véase figura 4.3.



Fuente (11)

Figura 4.3 Válvula en ángulo.

**Válvula de tres vías** · emplea generalmente para mezclar fluidos, son llamadas **válvulas mezcladoras** (véase figura 4.4), también son

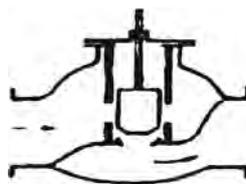
empleadas para derivar de un flujo de entrada dos de salida, llamadas divisoras (véase figura 4.5). Las válvulas de tres vías interviene típicamente en el control de temperatura de intercambiadores.



Figura 4.4 Válvula mezcladora.      Figura 4.5 Válvula divisora.

Fuente (11)

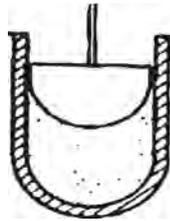
- **Válvula de jaula:** Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque éste puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Este tipo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. La válvula (véase figura 4.6) es muy resistente y desgaste, debido a que el obturador está contenido dentro de la jaula.



Fuente (11)

Figura 4.6 Válvula de jaula.

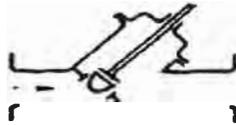
- **Válvula de compuerta:** Efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Es adecuada para el control todo-nada. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total (véase figura 4.7).



Fuente (11)

Figura 4.7 Válvula de compuerta (posición de apertura total).

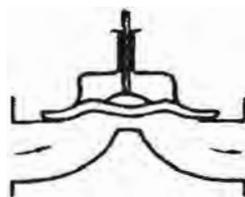
- Válvula en Y: En la figura 4.8 puede verse su forma. Adecuada como válvula de cierre se caracteriza por su baja pérdida de carga y de control presenta una gran capacidad de caudal. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.



Fuente (10)

Figura 4.8 Válvula de Y.

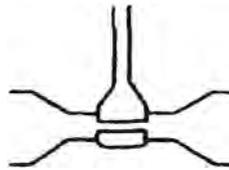
- Válvula Saunders: Se caracteriza porque el cuerpo puede revestirse fácilmente de goma o de plástico para trabajar con fluidos agresivos. Se utiliza principalmente en procesos químicos difíciles, en particular en el manejo de fluidos negros o agresivos o bien en el control de fluidos conteniendo sólidos en suspensión. Véase en la figura 4.9 su forma.



Fuente (11)

Figura 4.9 Válvula de Saunders.

- Válvulas de compresión: Se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión. Véase en la figura 4.10 su forma.



Fuente (11)

Figura 4.10 Válvula de compresión.

- Válvula mariposa: Es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre; se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada. Son empleadas para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.
- Válvula de Bola: En posición de apertura total, equivale aproximadamente en tamaño a 75% del tamaño de la tubería. Se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos de gran porcentaje de sólidos en suspensión.
- Válvula de orificio ajustable: Es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general.
- Válvula de flujo axial: Se emplea en gases y es especialmente silencioso.

Tipos de acciones de las válvulas de control:

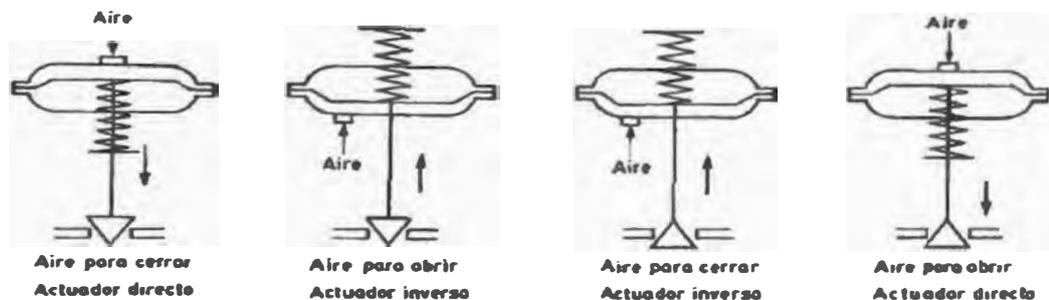
De acuerdo a su acción (véase figura 4.11), los cuerpos de las válvulas se dividen:

- Válvulas de acción directa, cuando tienen que bajar para cerrar.
- Válvulas de acción inversa, cuando tienen que bajar para abrir.

Para los servomotores:

- Acción directa, cuando aplicando aire el vástago se mueve hacia abajo.
- Acción inversa, cuando aplicando aire el vástago se mueve hacia arriba.

Al combinar estas acciones se considera siempre la posición de la válvula.



Fuente (11)

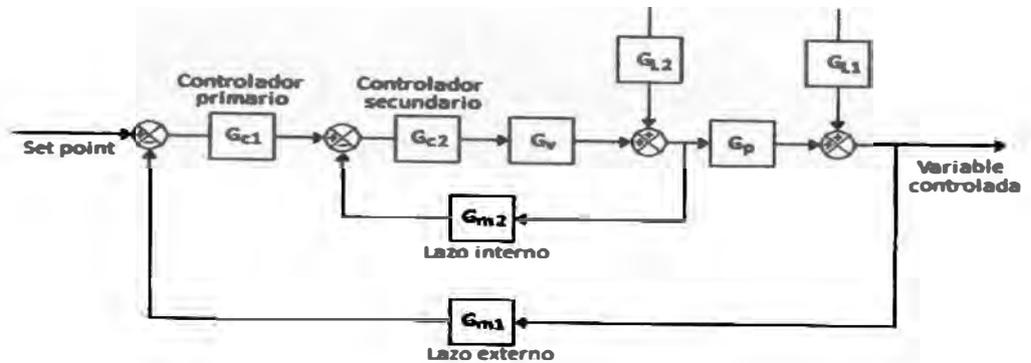
Figura 4.11 Tipos de acciones de las válvula de control.

## 4.2 Estrategias de control

### 4.2.1 Control Cascada

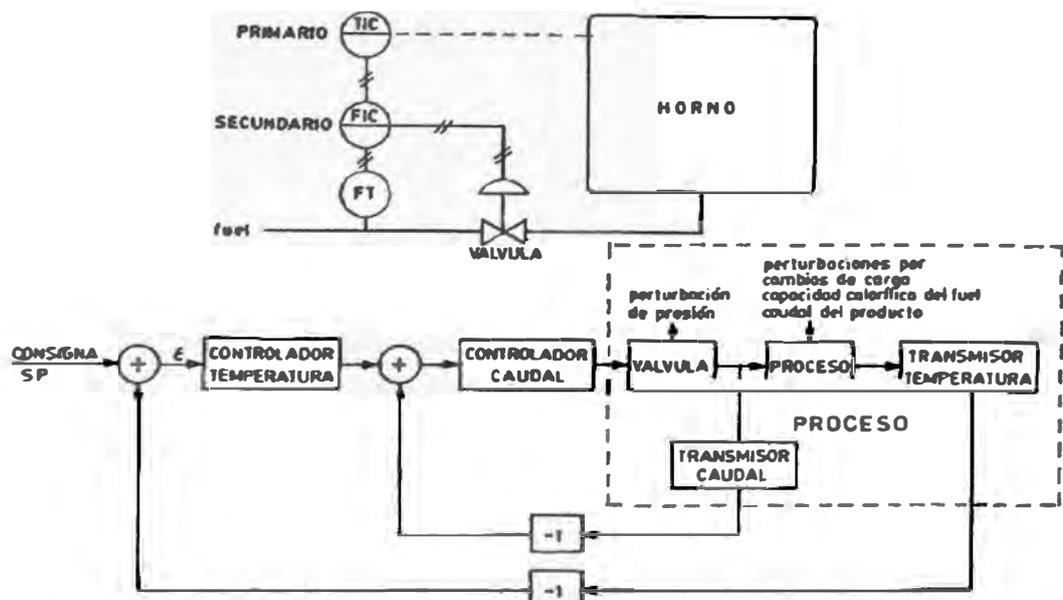
Es la más elemental de los lazos múltiples en el que el set point de un controlador es fijado por la salida de un segundo controlador. Se utiliza cuando una variable controlada se ve perturbada por una variable de proceso que se intenta mantener estable mediante la implementación de un segundo lazo de control (control secundario), de forma que se minimice la perturbación antes de que afecte a la variable controlada. El lazo secundario debe tener una respuesta más rápida que el principal o dominante, que es el que afecta la variable que realmente se desea mantener controlada, y debe sintonizarse previamente. El lazo secundario ayuda a la estabilidad del lazo principal <sup>(12)</sup>. El diagrama de bloques de control se muestra en la figuras 4.12 y en la figura 4.13 se

muestra un ejemplo del control cascada.



Fuente (12)

Figura 4.12 Diagrama de bloques del control cascada.



Fuente (11)

Figura 4.13 Ejemplo de un diagrama de bloques de control cascada.

Para que un sistema de control en cascada esté bien aplicada es necesario que se tomen en cuenta algunos aspectos importantes para su aplicación, estos son:

- Localizar las variables más importantes del proceso.
- Localizar la variable básica a controlar.
- Localizar la variable que introduce la inestabilidad.
- Determinar la velocidad de cambio de ambas señales.

- Hacer un arreglo en cascada, de tal forma que el lazo mayor sea más lento y el controlador también (control maestro).
- El lazo menor deberá contener la variable más rápida y el controlador debe ser de respuesta con retardos mínimos (control esclavo) <sup>(13)</sup>.

En las plantas de proceso es frecuente el control de cascada en los siguientes casos <sup>(12)</sup>:

- Control de temperatura en cascada con control de presión en lazos de calentamiento con vapor. De esta forma se elimina la potencial perturbación de la presión en la red de perturbación disponible.
- Control de nivel en cascada con caudal de salida del recipiente. De esta forma se suaviza la acción del controlador de nivel (tanto por el ruido en la medida como por la lentitud de respuesta del nivel, que puede dar lugar a las ganancias excesivas injustificadas desde un punto de vista del proceso) estabilizándose la acción sobre el caudal de salida (o de entrada) manipulado. Esta solución sustituye o complementa a posibles filtros o controladores no lineales.
- Control de calidad proveniente de un analizador en cascada con control de caudal. De esta forma se asegura una mayor estabilidad frente a errores o periodos fuera de servicio del analizador.

#### 4.2.2 Control de relación

Estrategia en la cual una de las variables es manipulada para que mantenga una relación o proporción respecto a la otra, las dos variables relacionadas deben mantener cierta proporción aún cuando sus valores cambien <sup>(12)</sup> (véase la figura 4.14).

Mientras que el control en cascada es sólo un método que mejora la regulación de una variable, el control de relación satisface una necesidad específica, el control de relación entre dos cantidades <sup>(11)</sup>.

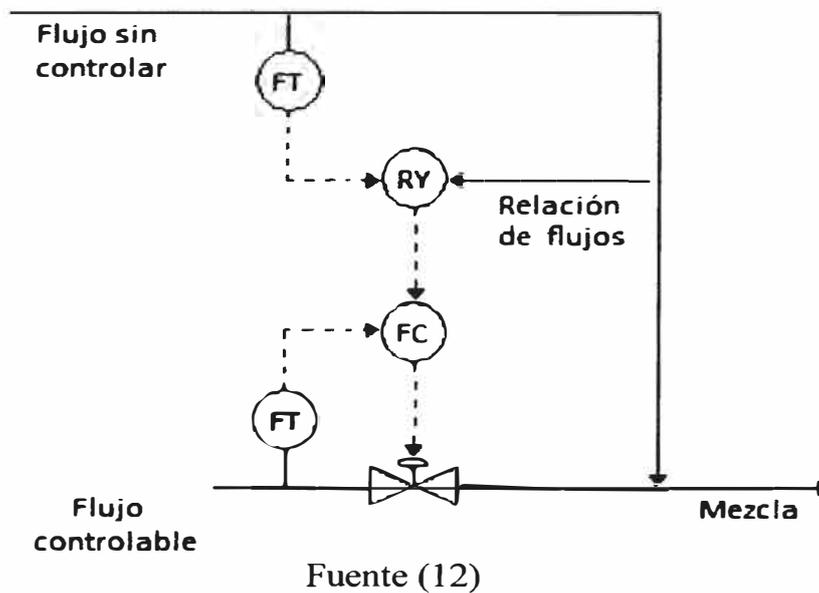
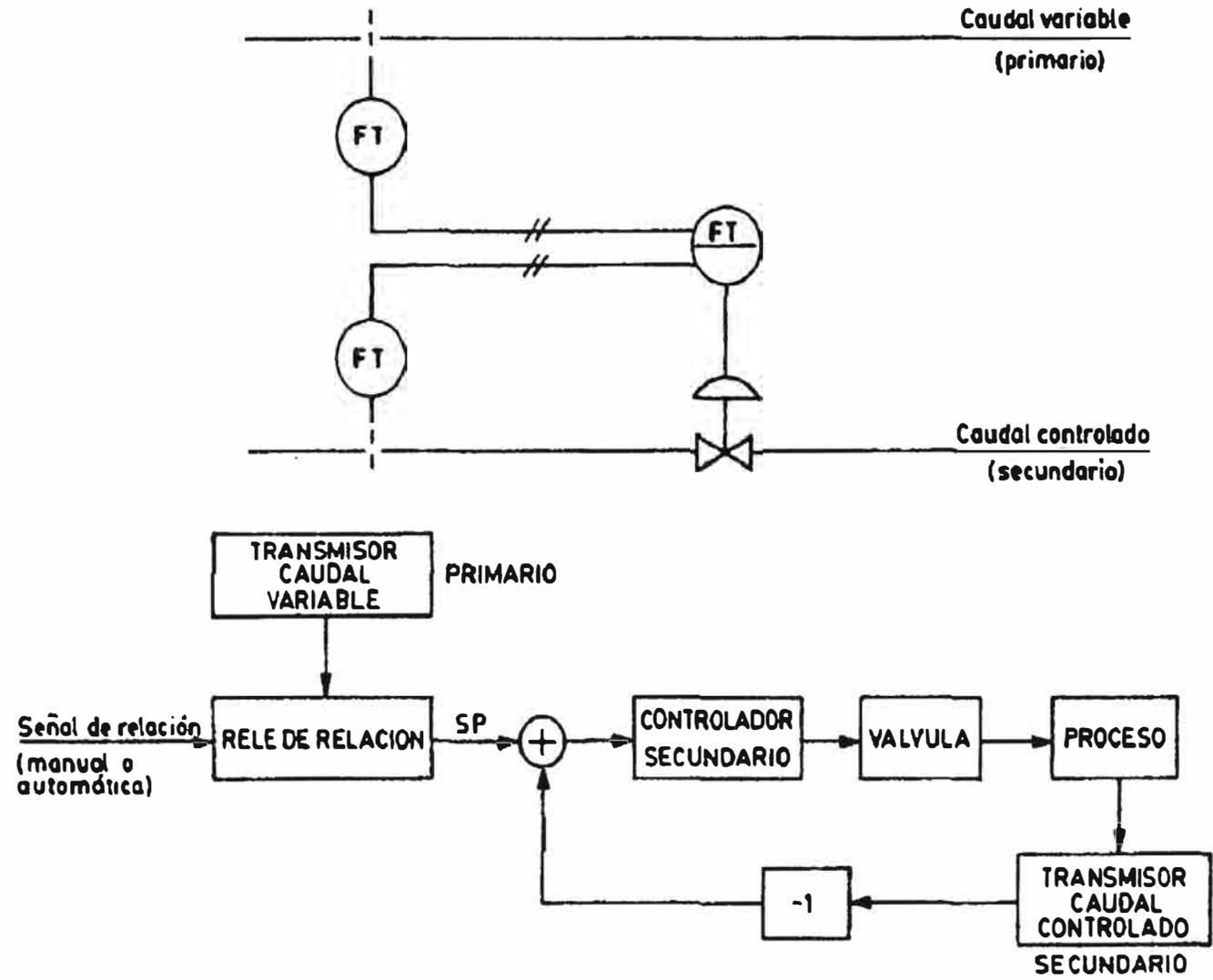


Figura 4.14 Diagrama de bloques del control relación.

Un ejemplo (véase figura 4.15) de uso es cuando se desea producir una mezcla con una composición y propiedades físicas específicas a partir de una mezcla de dos o más flujos, o si se desea mantener una mezcla adecuada de aire/ combustible para una combustión.



Fuente (11)

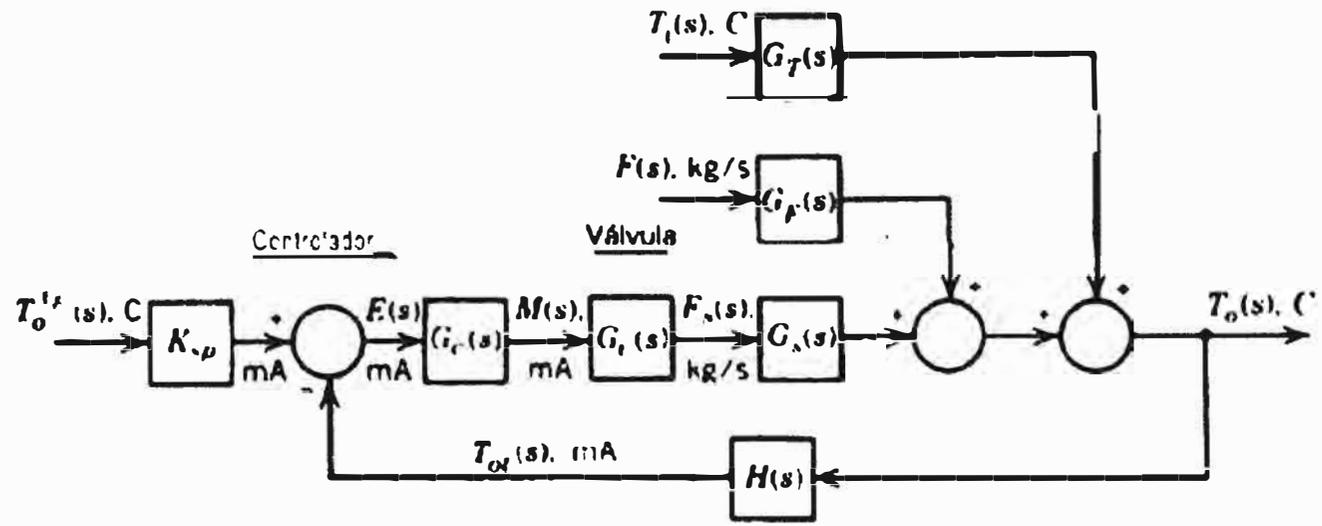
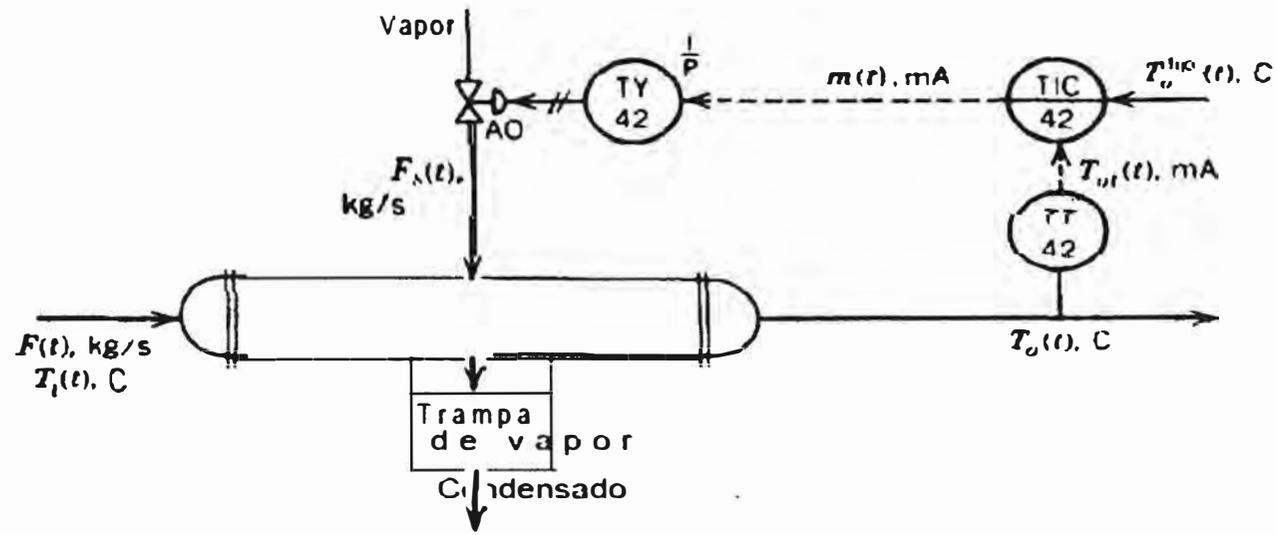
Figura 4.15: Ejemplo de control de relación o proporción.

#### 4.2.3 Control de Retroalimentación (feedback)

Se toma la variable controlada y se retroalimenta al controlador para que éste pueda tomar una decisión (véase la figura 4.16). No tiene en cuenta la influencia de las perturbaciones que se producen y que afectan al lazo de control. Es una operación de ensayo y error, es decir debe existir un error para que se inicie u acción correctiva. Por ejemplo, cuando el controlador detecta por ejemplo que la temperatura de salida aumento por arriba del punto de control, indica a la válvula que cierre, pero ésta cumple al orden más allá de lo necesario, en consecuencia la temperatura de salida desciende por debajo del punto de control, indica a la válvula que cierre, pero está cumple con la orden más allá de lo necesario, en consecuencia la temperatura de salida desciende por debajo del punto de control; al notar esto el controlador señala a la válvula que abra nuevamente una tanto para elevar la temperatura. El ensayo y error continúa hasta que la temperatura alcanza el punto de control donde permanece posteriormente.

Su ventaja, es una técnica muy simple que compensa todas las perturbaciones.

Su desventaja, puede compensar la perturbación hasta que la variable controlada se ha desviado del punto de control, esto es, la perturbación se debe propagar a todo el proceso antes de que la pueda compensar el control por retroalimentación.

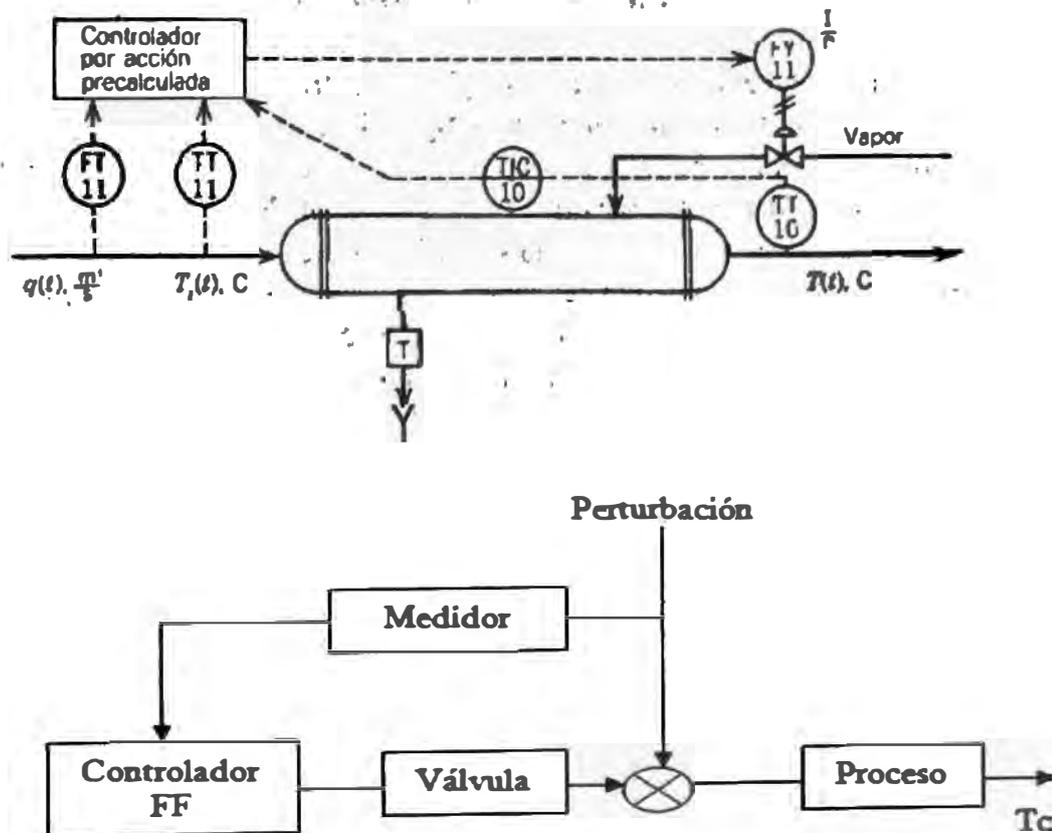


Fuente (14)

Figura 4.16 Control de Retroalimentación.

#### 4.2.4 Control de acción adelantada (feedforward)

Su objetivo de control es medir las perturbaciones y compensarlas antes de que la variable controlada se desvíe del punto de control (véase figura 4.16). Las perturbaciones más serias se miden y se toma una decisión para compensarlas, pero si entra cualquier otra perturbación al proceso no se compensará con esta estrategia y puede originarse una desviación permanente de la variable respecto al punto de control. Para evitar esta desviación se debe añadir alguna retroalimentación de compensación al control por acción pre calculada; es decir la estrategia de acción adelantada compensa las más serias y de retroalimentación compensa todas las demás.



Fuente (14)

Figura 4.16: Diagrama de bloques control de acción adelantada.

## **V.- ESTRATEGIAS DE CONTROL DEL PROCESO**

En la producción de fosfato bicálcico existen procesos claves que afectan la calidad del producto. Actualmente estos procesos son manuales, manipulados por operadores y cuyo control es llevado a cabo por el laboratorista de turno, según las especificaciones técnicas, quien se encarga de monitorear todo el proceso desde el ingreso de materia prima hasta el producto envasado.

Para la mejora del proceso general y evitar los reprocesos se propone la utilización de estrategias de control de procesos.

### **Etapa de ataque y purificación**

Al iniciar el proceso es importante mantener el flujo de ácido que entra en contracorriente al reactor, también la cantidad de pulpa (mezcla de roca y agua) que ingresa; si no se mantienen controlados estos dos puntos se producen la inundación del reactor, que no reaccione toda la pulpa, purgas continuas en el reactor, además al salir del reactor se controla el pH para verificar la acidez final.

En la figura 5.1 se muestra un diagrama de flujo para describir el proceso de ataque y purificación.

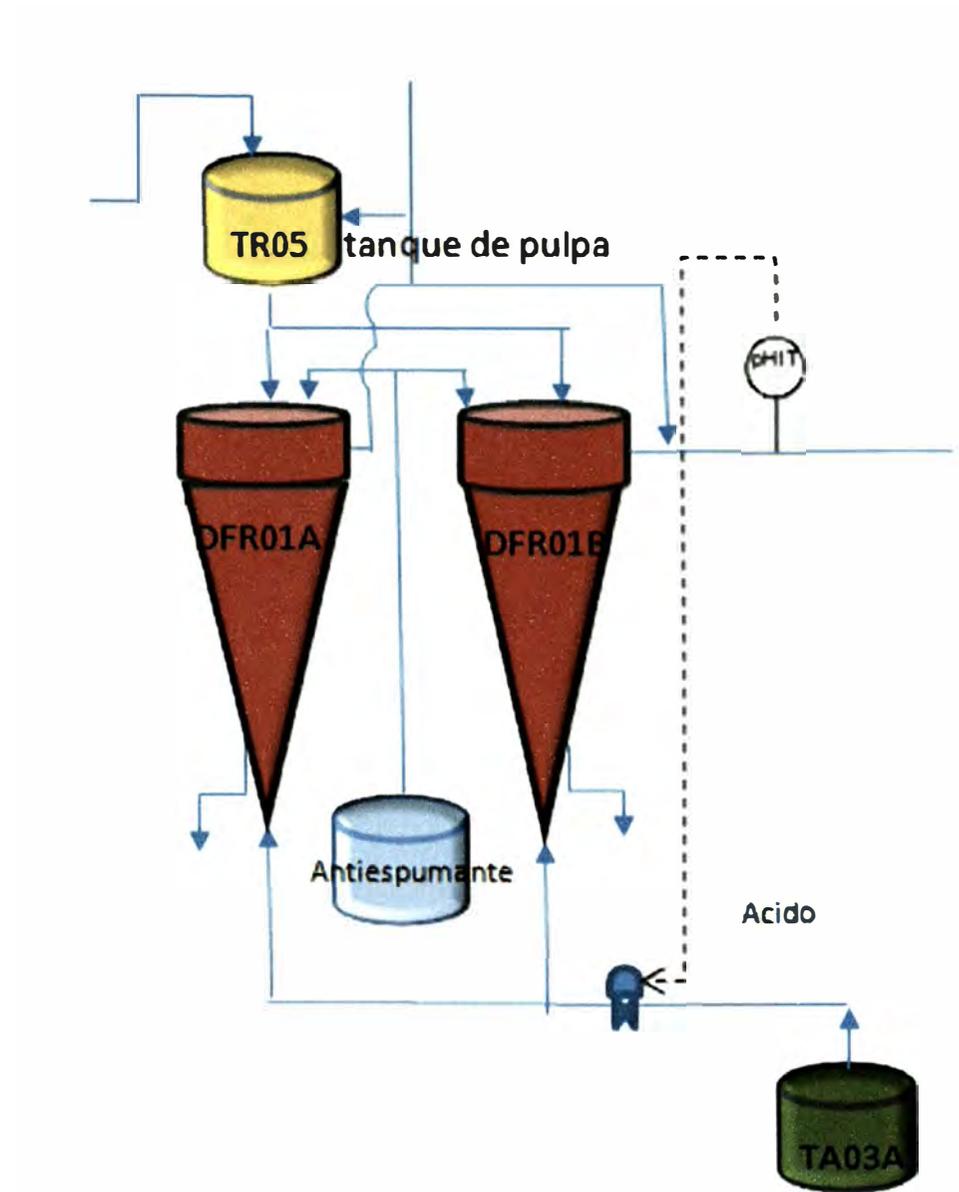


Figura 5.1 Control de acción adelanta en el proceso de ataque y purificación.

**Estrategia de control aplicada**

- En la salida de los reactores se controla el valor de pH si este valor supera el set point, entonces se envía la señal a la válvula de entrada del ácido a los reactores.
- Estrategia: Acción Adelantada.
- Modo de control: PI o PID.
- Tipo de válvula en caso de falla: aire para cerrar (air to close).
- Tipo de acción: acción inversa, pH (flujo de ácido)  $\uparrow$ SP  $\downarrow$  válvula.

**PRECIPITACIÓN**

La mezcla de la suspensión de caliza con el licor del tanque TP04 se regula mediante la señal que envían los controles de concentración de pentóxido de fósforo a la salida del tanque TP08-12 (Véase figura 5.2).

**Estrategia de control aplicada**

- Estrategia: Control de acción adelantada de concentración de pentóxido de fósforo.
- El modo de control: PI o PID.
- Tipo de válvula en caso de falla: aire para cerrar (air to close).
- Tipo de acción: acción inversa, AT (concentración de pentóxido)  $\uparrow$  SP  $\downarrow$  válvula.

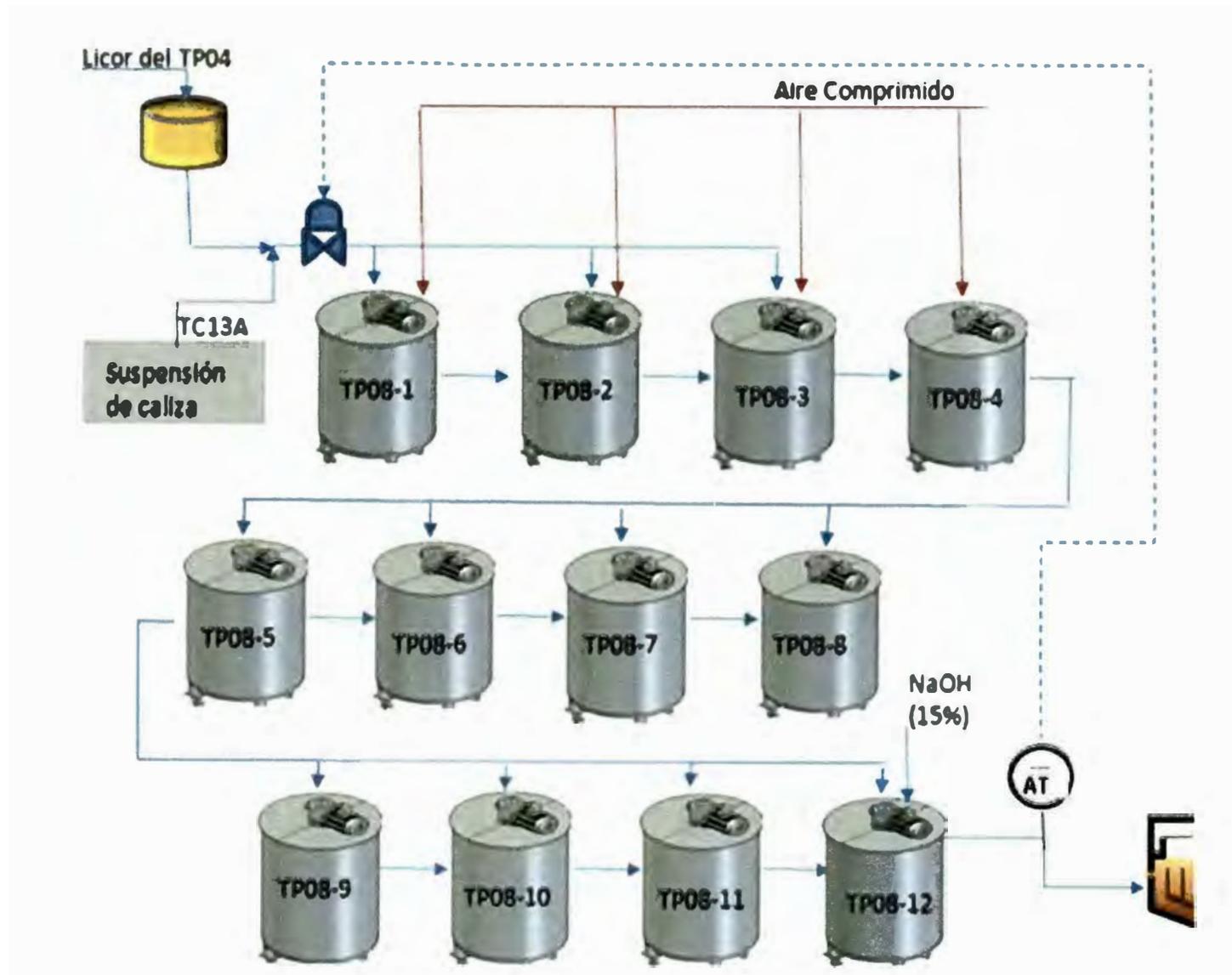


Figura 5.2 Control de acción adelantada la etapa de precipitación, regulación del ingreso de la mezcla del licor del TP04 y suspensión de caliza a través de la medida de concentración de pentóxido de fósforo a la salida del TP08-12.

## LAVADO

En la salida del tanque espesador E05 la concentración de pentóxido de fósforo debe ser menor 0,3 g/L.

### Estrategia de control aplicada

- Control de feedback de concentración de pentóxido de fósforo (Véase figura 5.3).
- El modo de control: PI o PID.
- Tipo de válvula en caso de falla: aire para abrir (air to open).
- Tipo de acción: acción directa, AT(concentración de pentóxido)↑ SP↑ válvula.

El cuadro 5.1 muestra el resumen de las estrategias de control por los procesos descritos.

**Cuadro 5.1 Resumen de Estrategias de Control**

<b>Proceso</b>	<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Modos de Control</b>	<b>Tipo de válvula en caso de falla</b>	<b>Tipo de acción de control</b>
Ataque y purificación	Feedforward pH	PI ó PID	Air to Close	Acción Inversa pH (flujo de ácido) ↑SP↓ válvula.
Precipitación	Feedforward AC	PID	Air to Close	Acción Inversa AT(concentración de pentóxido)↑ SP↓ válvula.
Lavado	Feedback PC	PI ó PID	Air to Open	Acción Directa AT(concentración de pentóxido)↑ SP↑ válvula.

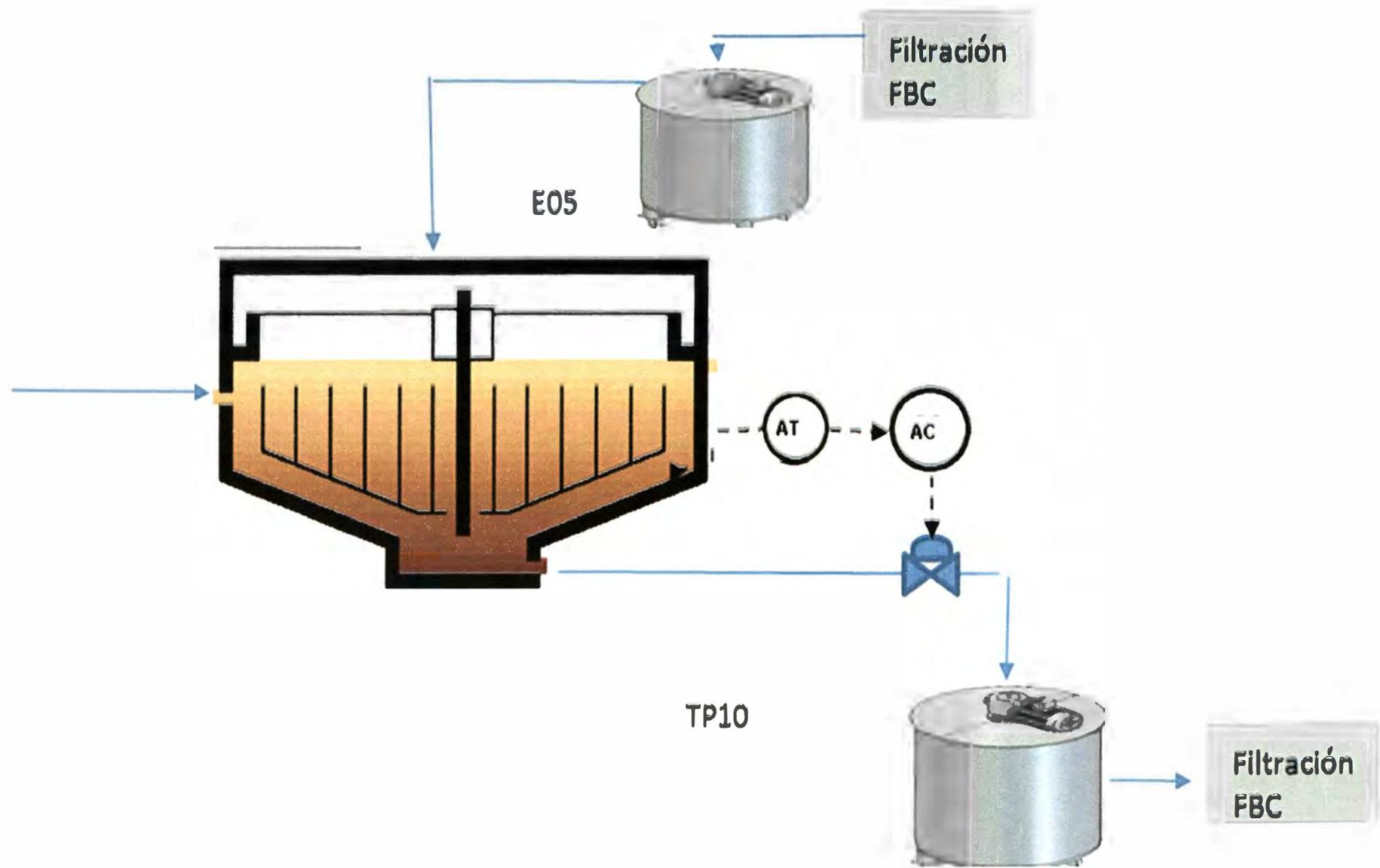


Figura 5.3: Control de retroalimentación en la etapa de lavado.

## **VI.- CONCLUSIONES**

1. La aplicación de las estrategias de control en el presente informe permite un mejor control del proceso de fosfato bicálcico disminuyendo los reprocesos y la baja calidad del producto.
2. Al controlar el pH a la salida de los reactores podemos regular el ingreso de ácido al reactor para reaccionar con la roca fosfórica, este es el primer paso para la obtención del fosfato bicálcico, porque es donde empieza la formación del pentóxido.
3. En el control de precipitación y lavado permite regular la concentración de pentóxido que llegará a la última etapa de secado.
4. Una ventaja de la aplicación de estas estrategias de control es la disminución del trabajo excesivo del laboratorista que tiene que muestrear y monitorear el proceso.
5. Una desventaja es el mantenimiento constante de los instrumentos de control debido a que el ambiente es muy ácido y también debido a que la planta se ubica cerca de la planta de ácido produciéndose desgaste en los equipos.
6. Las estrategias planteadas son los puntos críticos del proceso, donde se permiten reducir el error del operador.

## VII BIBLIOGRAFÍA

1. <http://www.solvayiberica.es/static/wma/pdf/1/3/9/3/Ficha03a.pdf>
2. [http://www.quimpac.com.pe/in\\_fosfato.html](http://www.quimpac.com.pe/in_fosfato.html)
3. [http://www.ingeminas.gov.co/component/option,com\\_glossary/limit,10/limitstart,2330/](http://www.ingeminas.gov.co/component/option,com_glossary/limit,10/limitstart,2330/)
4. [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\\_rock/540400.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/540400.pdf)
5. McCabe Warren, Smith Julian, Harriot Peter, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, pág. 1041.
6. [http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J\\_pdf/84320060206.pdf](http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/84320060206.pdf)
7. [tp://www.aliphos.com/binaries/nr%205%20Newsletter%20Talking%20Feed%20Ingredients%20Tessengerlo%20Group\\_tcm14-5224.pdf](tp://www.aliphos.com/binaries/nr%205%20Newsletter%20Talking%20Feed%20Ingredients%20Tessengerlo%20Group_tcm14-5224.pdf)
8. <http://www.scribd.com/doc/24729435/Maquinas-de-Elevacion-y-Transporte>.
9. <http://www.gruptefsa.com/sp/el.htm>
10. José Acedo Sánchez, Control Avanzado de Procesos (Teoría y Práctica), página 246.
11. Creus Solé Antonio, Instrumentación Industrial, pág.15,365.
12. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/alpuche\\_m\\_m/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/alpuche_m_m/capitulo2.pdf)
13. <http://www.ampinstrumentacion.com.mx/Instrumentacion.php>
14. Control Automático de procesos Teoría y Práctica, Carlos A. Smith y Armando B. Corripio, Editorial Limusa, primera edición 1991, México, pág. 19.
15. <http://qdpolestar.en.made-in-china.com/product/QeNnCvguHJlh/China-Dicalcium-Phosphate-18-Granular.html>

ANEXO 1<sup>(2)</sup>

## Especificaciones Técnicas de Producto Terminado **FOSFATO DICÁLCICO**

1. Producto: Fosfato Dicálcico.
2. Fórmula Química:  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
3. Otras Denominaciones: Fosfato Dicálcico Dihidratado, Fosfato Bicálcico Dihidratado, Dibasic Calcium Phosphate, Calcium Hydrogenorthophosphate Dyhydrate, Dicalcium Phosphate 2-Hydrated, Dyhydrated Dicalcium Phosphate, Phosphate Bicalcique Dyhydrate.
4. Especificaciones Técnicas:

Características	Límites	Unidad
Humedad adherente como agua	Max. 2,5	%
Insolubles	Max. 1,0	%
Fósforo, como P	Min. 18,0	%
Calcio, como ion $\text{Ca}^{2+}$	Min. 27,0	%
Flúor, como ion $\text{F}^-$	Max. 0,18	%
Cloruro, como ion $\text{Cl}^-$	Max. 0,50	%
Hierro, como Fe	Max. 1000	ppm
Sulfato, como ion $\text{SO}_4^{2-}$	Max. 3,0	%
Densidad Aparente	Aprox. 0,7	$\text{g/cm}^3$
Pérdidas por calcinación	Min. 14,8	%
Solubilidad en agua	Insoluble	%
Solubilidad en ácido cítrico al 2%	Min. 98,0	%
Malla ASTM N° 18	Pasante Min. 99,9	%
Malla ASTM N° 100	Pasante Min. 65,0	
Malla ASTM N° 325	Pasante Max. 35,0	%

5. Presentaciones:

- Envases de 30 kg sacos de polipropileno tramado y laminado.
- Envases de 750 kg Big Bag de polipropileno tramado y laminado.

6. Tiempo de Vida Útil: 2 años a partir de la fecha de producción

ANEXO 2 <sup>(15)</sup>

## DICALCIUM PHOSPHATE 18% GRANULAR



Dicalcium Phosphate  
18% Granular

**Product Description**

Sample Name :Dicalcium Phosphate Feed Grade ( DCP )

$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Specifications:

Appearance: White granular

Phosphorus (P): 18% min in granular

Calcium (Ca): 21%min

Fluorine (F): 0.18max

Arsenic (As): 15ppm max

Beneath 500uM Sieve: 95,0% 98,0%

Product performance: Auxiliary feed for livestock and especially used in layer feed and promix feed, poultry and aquatic animal.

It can promote feed digestion, put on animal weight, raise laying rate or producing milk rate, cure diseases such as rickets, osteomalacia and anaemia etc.

Packing: 25 kg/bag, 50 kg/bag