

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“AUTOMATIZACIÓN DEL AREA DE MOLIENDA EN UNA  
PLANTA CONCENTRADORA Pb-Ag y Zn”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**ALEJANDRO EDUARDO LEON GARCIA**

**LIMA – PERÚ  
2013**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos quienes me apoyaron y estimularon con consejos durante toda mi vida y carrera universitaria, y que eternamente serán el pilar de lo que hoy en día soy y de lo que he logrado en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Emerson Collado por haberme brindado sus sabios consejos en la realización de este trabajo.

A los profesores: Violeta Chavarri, Magali Vivas, Julia Salinas y Ubaldo Apaza, por haberme brindado el apoyo y confianza durante el tiempo que estuve como estudiante universitario.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y particularmente, en especial a la Facultad de Ingeniería Química, donde asimile conceptos y metodologías que me servirán para desarrollar tecnología en el Perú.

## **RESUMEN**

El presente informe esta basado en la automatización de un molino de bolas 8'x10' en el área de molienda, se explicara parámetros operacionales y la estrategia de control aplicada. Este análisis se desarrolló en el único molino que tiene esta planta que procesa mineral polimetálico.

En el capítulo I, se presenta marco teórico, donde se menciona el funcionamiento del área de molienda, flotación y el funcionamiento de un PLC.

En el capítulo II, se presenta un resumen geológico y mineralógico de la veta a procesar como también una descripción generalizada de la planta de procesamiento.

En el capítulo III, Se detalla el análisis realizado a las variables, el procedimiento de operación de molienda y la estrategia de control aplicada en cada punto.

En el capítulo IV, se describe los instrumentos de control utilizados en la automatización del molino, indicando sus características y principio de funcionamiento.

Se registran al final conclusiones y recomendaciones, que ayudaran a tener presente información para futuros proyectos.

## **INDICE**

	<b>Pagina</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	10
<b>II. CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS</b>	11
2.1.    Proceso de Molienda	11
2.2.    Proceso de Flotación	20
2.3.    Controladores Lógicos Programables	34
<b>III. DESCRIPCION DEL PROCESO</b>	43
3.1.    Resumen Geológico	43
3.2.    Resumen Minero	44
3.3.    Descripción de la planta concentradora	45
3.3.1.    Recepción y sección chancado	45
3.3.2.    Sección Molienda y clasificación	46
3.3.3.    Sección Flotación	51
3.3.4.    Sección Espesado y filtrado	57
3.3.5.    Sección Espesamiento de relave	58

<b>IV.</b>	<b>AUTOMATIZACION DEL MOLINO</b>	<b>63</b>
4.1.	Parámetros Operativos	63
4.2.	Operación del molino	64
4.3.	Control del área de molienda	68
4.3.1.	Control de fajas	68
4.3.2.	Control de ingreso de agua	69
4.3.3.	Control de nivel en cajón	71
<b>V.</b>	<b>INSTRUMENTOS DE AUTOMATIZACION</b>	<b>76</b>
5.1.	Válvula Mariposa	76
5.2.	Actuador	77
5.3.	Balanzas para faja transportadora	81
5.4.	Densímetro	84
5.5.	Caudalímetro – Process Master	86
5.6.	Sensor de nivel de radar	89
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>92</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>93</b>

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pagina</b>
<b>Figura 2.1:</b> Movimiento de la carga moledora al interior del molino.....	13
<b>Figura 2.2:</b> Circuito cerrado del molino .....	17
<b>Figura 2.3:</b> Estructura del hidrociclón .....	18
<b>Figura 2.4:</b> Esquema de funcionamiento en la flotación.....	21
<b>Figura 2.5:</b> Celda de flotación.....	29
<b>Figura 2.6:</b> Circuitos de flotación.....	34
<b>Figura 2.7:</b> Estructura del PLC .....	36
<b>Figura 3.1:</b> Área de chancado .....	47
<b>Figura 3.2:</b> Área de Molienda .....	49
<b>Figura 3.3:</b> Area de flotación Pb-Ag .....	53
<b>Figura 3.4:</b> Area de flotación Zn .....	54
<b>Figura 3.5:</b> Area de espesado y filtrado .....	59
<b>Figura 3.6:</b> Area de espesado de relave y bomba feluwa .....	61
<b>Figura 4.1:</b> Molino en operación.....	64
<b>Figura 4.2:</b> Cajón distribuidor en la descarga del molino 8x10 .....	67
<b>Figura 4.3:</b> Faja transportadora en movimiento .....	68
<b>Figura 4.4:</b> Entrada de agua en la alimentación de mineral al molino .....	70
<b>Figura 4.5:</b> Cajón de descarga del molino 8x10 .....	71
<b>Figura 4.6:</b> Estrategia de control de fajas alimentadoras .....	72
<b>Figura 4.7:</b> Esquema de control de cajón de descarga del molino .....	73

<b>Figura 4.8:</b>	Estrategia de control de alimentación de agua .....	74
<b>Figura 5.1:</b>	Válvula Mariposa .....	76
<b>Figura 5.2:</b>	Actuador Neumático .....	77
<b>Figura 5.3:</b>	Balanza para Faja Transportadora .....	81
<b>Figura 5.4:</b>	Densímetro nuclear .....	84
<b>Figura 5.5:</b>	Caudalímetro electrónico .....	86
<b>Figura 5.6:</b>	Sensor de nivel .....	89



## INDICE DE TABLAS

	<b>Pagina</b>
<b>Tabla 1:</b> Equipos en el área de chancado.....	48
<b>Tabla 2:</b> Equipos en el área de molienda.....	50
<b>Tabla 3:</b> Equipos en el área de flotación.....	55
<b>Tabla 4:</b> Equipos en el área de espesador y filtro .....	60
<b>Tabla 5:</b> Equipo en el área de espesador de relave y bomba de relave.	62
<b>Tabla 6:</b> Datos del molinero, relación mineral agua .....	69
<b>Tabla 6:</b> Estrategias de control .....	75

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

Las aplicaciones de automatización significan la combinación de tecnologías de instrumentación y teoría de control con la informática. Esta firme tendencia propone que los ingenieros de planta aprendan y apliquen las teorías de Control de Procesos. El desarrollo de nuevas capacidades debería orientarse a cubrir objetivos profesionales específicos; a saber:

- Diagnosticar y resolver problemas sencillos en un sistema de control.
- Plantear y diseñar estrategias sencillas de control.
- Analizar y entender las estrategias más complejas propuestas por especialistas.

La materialización de la automatización requiere de la disponibilidad de medios de comunicación rápidos seguros y confiables para la captura de información. A esta estructura se denomina sistema de control.

La automatización es algo prácticamente imprescindible en el mundo de la industria actual, dado los niveles de productividad, fiabilidad y rentabilidad que han de cumplir los productos elaborados a fin de ser competitivos en el mercado

## CAPITULO II

### CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

#### 2.1 PROCESO DE MOLIENDA

##### 2.1.1 MOLINOS DE BOLAS

Estos pueden ser utilizados como molinos de molienda primaria, secundaria y remolienda. Los molinos de bolas para molienda primaria son de forma cilíndrica y de gran tamaño y en su interior la carga moledora o bolas también son de gran diámetro (3 – 4 1/2”), ocupan el 45% del volumen del molino y trabajan en circuito abierto. En el caso de molinos de bolas de molienda secundaria y de remolienda por lo general son de forma tubular, es decir, su diámetro es ligeramente menos que su largo y trabajan en circuito cerrado con clasificadores mecánicos (rastrillos, espirales) o hidrociclones para maximizar su rendimiento y para evitar sobremolienda que es perjudicial para la concentración.

La velocidad periférica del casco tendrá un efecto decisivo sobre la efectividad de la acción de molienda del medio: si su velocidad fuese demasiado baja, no hubiese efecto de “cascado”, si fuera demasiado alta, las bolas o barras quedarían adheridas a la pared del cilindro por la fuerza centrífuga e igualmente declinaría la acción del medio. Es costumbre designar la velocidad a la que se produciría el efecto centrífugo del medio, como velocidad crítica, como sigue:

$$N_c = \frac{76,63}{\sqrt{D}}$$

(D. interior, pies)

$$N_c = \frac{42,3}{\sqrt{D}}$$

(D. interior, m)

La velocidad de operación se expresa en “% de velocidad crítica” (NC: Velocidad Crítica), que para molinos de bolas se sitúa entre 65% y 75% en promedio, mientras que el rango preferido para molinos de barras sería 60% a 68% (máx. 70%) de la velocidad crítica.

Los molinos de barras o de bolas pueden funcionar según dos regímenes distintos y se admite la teoría siguiente:

**a) Si la velocidad de rotación es relativamente lenta:**

Los cuerpos moledores rozan sobre el recubrimiento del molino; rodando unos sobre otros siguiendo una trayectoria aproximadamente circular concéntrica alrededor de una zona más o menos estacionaria llamada “zona muerta”. La molienda se realiza por fricción interviniendo siempre fuerzas de cizallamiento. A este régimen de funcionamiento de un molino se le llama “marcha en cascada”.

**b) Si la velocidad de rotación es más robusta:**

Los cuerpos moledores siguen una trayectoria que comprende parte en caída libre, donde poseen una energía cinética elevada. La molienda se realiza por choques, lo que permite asegurar una molienda fina de materiales duros y abrasivos.

Cuando un molino funciona con éste régimen se le dice ‘marcha en catarata’.

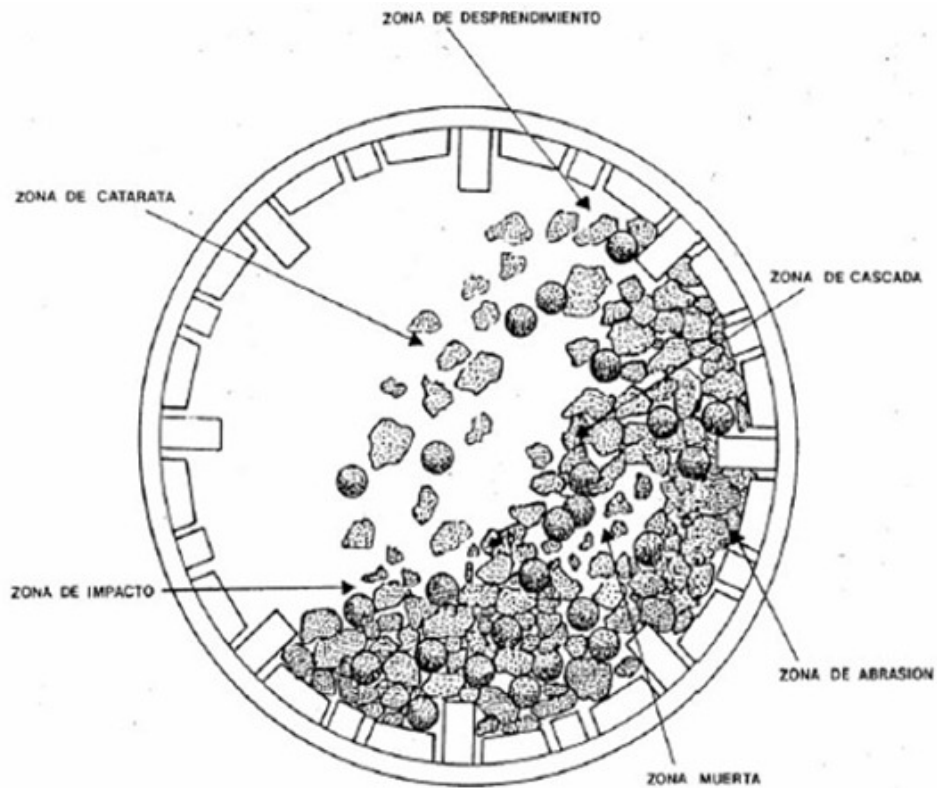


Fig. 2.1 Movimiento de la carga moledora al interior del molino

### 2.1.2 CONTROL DE LAS VARIABLES DE UN MOLINO

Son los factores que al regular éstos determinan una mayor capacidad en el molino. Estas variables son las siguientes:

Variables en un molino:

- Carga de mineral
- Alimentación de agua
- Carga moledora

**a) Carga de mineral**

La alimentación de mineral a los molinos debe de ser en cantidad constante (peso), para tal efecto los alimentadores de mineral deben de cumplir con esta función, además, en casi todas las plantas existen balanzas automáticas que registran el peso de mineral alimentado a los molinos, van acumulando éstos para referirlo al tratamiento diario. La alimentación de mineral a los molinos debe de cumplir la regularidad en tamaño, es decir, que el tamaño de las partículas de mineral alimentado al molino, una vez determinado éste (que debe ser el más apropiado para el tipo de mineral), se debe de cumplir con alimentar el mineral a ese tamaño. Ejemplo: 20% + Malla 65.

La carga de mineral se controla realizando los análisis de malla de mineral que se alimenta al molino y del producto de éste, es decir, de la descarga. La alimentación de carga se controla a un molino se debe procurar que sea la máxima posible. Es por eso que si entra al molino muy poca carga, habrá pérdida de tonelaje y se gastarán inútilmente cuerpos moledores y blindajes; si por el contrario, entra demasiada carga de mineral, el molino se sobrecargará y al descargarlo se perderá tiempo y tonelaje.

**b) Alimentación de agua**

Esta variable se controla tomando la densidad de descarga de los molinos, esta densidad debe estar entre ciertos límites, si ésta es demasiado baja quiere decir que en el molino hay una mayor cantidad de agua que la requerida, por lo tanto el molino no muele ya que las partículas de mineral tienen una mayor velocidad de desplazamiento saliendo la pulpa con mucha rapidez y así no le permite al molino entregar un producto de las especificaciones en malla requerida; cuando hay muy poca agua quiere decir que la densidad es muy alta, tal que la carga avanza muy lentamente

en el molino perdiendo capacidad lo que motivará estar más bajo de lo normal. Por otro lado cuando la alimentación de agua es deficiente, el barro se vuelve muy espeso alrededor de las bolas o barras impidiendo buenos golpes porque el barro los amortigua, por lo tanto no habrá buena molienda.

### **c) Carga Moledora**

Esta carga está dada por la carga inicial recomendada en los catálogos del fabricante y para la carga diaria, por los datos estadísticos de operación de cada planta, para la alimentación en el tamaño de bolas, diámetro de las barras. Juegan un papel importante la estadística de la carga diaria y de los análisis granulométricos que se realizan en laboratorio experimental. El consumo de los cuerpos moledores en una planta está dado en función al tonelaje tratado, a la dureza del mineral, al tamaño de la carga de mineral alimentado y a la finura de la molienda, o sea, al producto de la malla a la que se quiere llegar.

### **d) Control de las variables de un molino**

Toda molienda se reduce a administrar y controlar correctamente las variables. Estas variables se pueden controlar por:

- **El sonido de las barras o bolas en el molino:**

Este sonido nos señala la cantidad de carga dentro del molino y debe ser ligeramente claro. Si las bolas hacen un ruido muy serio es porque el molino está sobrecargado, por exceso de carga o poca agua. Si el ruido es excesivo es porque el molino está descargado o vacío por poca carga o exceso de agua.

- **La densidad de la descarga del molino:**

Es también una manera de controlar las variables agua y carga. El porcentaje de sólidos en la molienda debe de mantenerse cerca del 67%, equivalente a 2500 - 3500 g/l de densidad.

- **El amperaje:**

Mediante el amperímetro, que es un aparato eléctrico que está conectado con el motor eléctrico del molino. Su misión es señalar cuál es el amperaje o consumo de corriente eléctrica que hace el motor. El amperímetro debe marcar entre determinados límites, por lo general en los molinos, una bajada del amperaje indica exceso de carga. Una subida del amperaje indica falta de mineral porque la carga moledora golpea el blindaje.

### **2.1.3 CIRCUITOS DE MOLIENDA**

La molienda se realiza en varias etapas involucrando molinos de barras, bolas y autógenos en algunos casos. Es poco habitual moler el mineral en una sola etapa para obtener los rangos de tamaño necesarios en el proceso de concentración subsiguiente, ya que los consumos energéticos resultan mucho más altos que cuando se reduce de tamaño en varias etapas.

- Circuitos abiertos

Cuando el mineral pasa a través de los molinos sin una etapa de clasificación paralela.

- Circuitos cerrados

Cuando el molino trabaja con un clasificador cuyo producto grueso retorna de nuevo al molino, mientras que el fino pasa directamente a la etapa siguiente.



Se utilizan para evitar la sobremolienda en la cual el hidrociclón trabaja en circuito cerrado con el molino, logrando una disminución sustancial en el consumo energético al evacuar del circuito el material ya molido, al tamaño deseado. Un circuito abierto que moliera a este mismo tamaño, consumiría una cantidad mayor de energía y originaría una elevada proporción de finos.

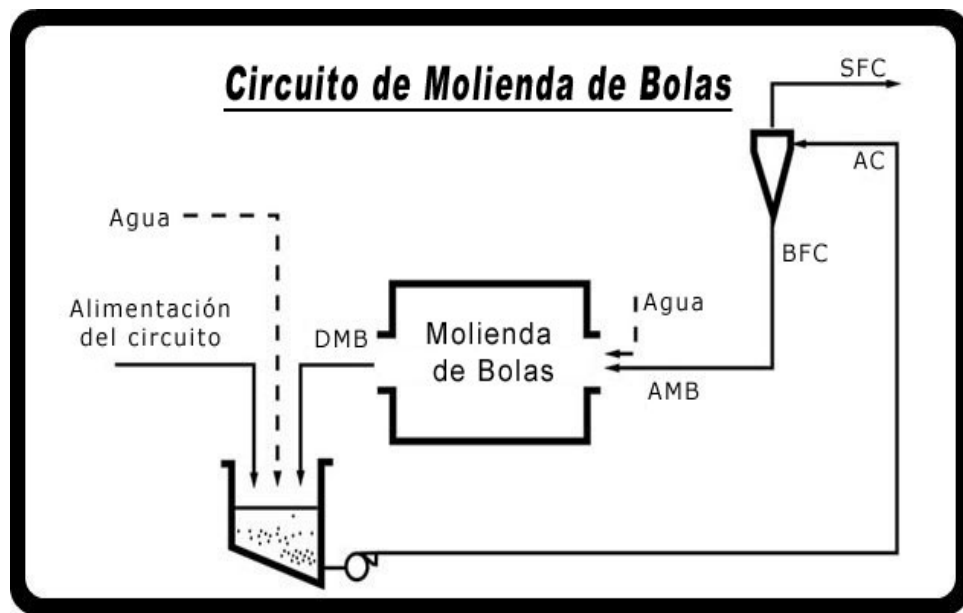


Fig. 2.2 Circuito Cerrado del Molino

#### 2.1.4 HIDROCICLON

Los clasificadores producen una separación similar a la anterior, por la aceleración centrífuga ejercida por la trayectoria circular de la pulpa, bombeando bajo presión al aparato dentro de éste.

En consecuencia con lo anterior, la principal diferencia entre ambos tipos clasificadores húmedos estriba en el tamaño físico del equipo. Son más compactos los hidrociclones, incluyendo sus bombas, tanques de alimentación, etc., que los clasificadores de rastrillo o espiral, cuya área de

“pool” y mecanismo de transporte de las arenas, significan un volumen mayor y, por ende, un mayor costo de mantenimiento.

Aunque tanto hidrociclones como clasificadores mecánicos sean metalúrgicamente equivalentes, con técnicas de control similares y las mismas fórmulas para calcular eficiencias y cargas circulantes, etc., no cabe duda que a medida que aumenta la capacidad de tratamiento de la planta, y el tamaño de sus unidades de molienda y clasificación, las ventajas mecánicas y económicas de los hidrociclones son cada vez más decisivos, hasta tal punto que en proyectos nuevos rara vez se especifica clasificadores mecánicos.

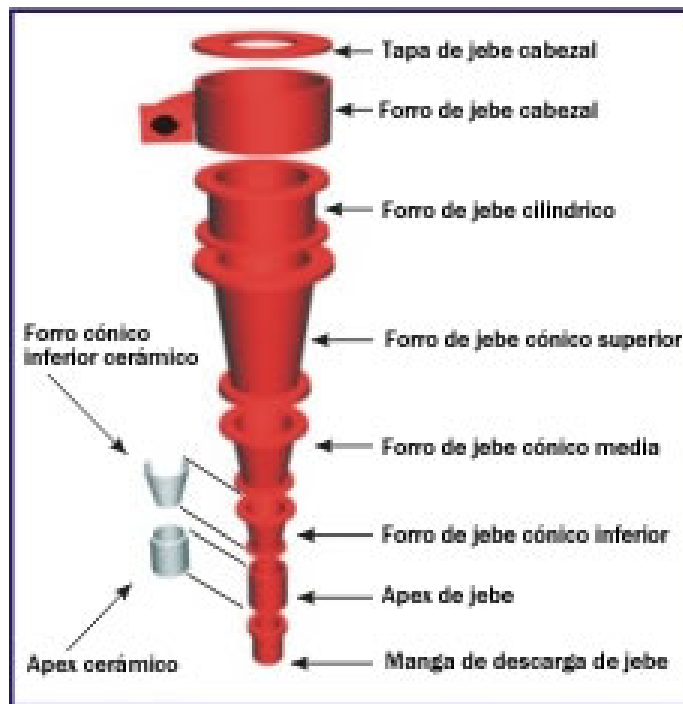


Fig. 2.3 Estructura del Hidrociclón

### **Mecanismo de un hidrociclón**

Aparato estático de operación continua que realiza la fuerza centrífuga para acelerar la velocidad de asentamiento de las partículas contenidas en una pulpa. Consiste en un recipiente de forma cónica, abierto en su ápice o descarga que está unido a una sección cilíndrica, la cual tiene una entrada de alimentación tangencial.

Su principio de clasificación se basa en alimentar la pulpa a clasificar en forma tangencial a la altura de la parte cilíndrica originando un torbellino a lo largo de la superficie interior, que arrastrará partículas gruesas a la descarga (underflow) situada en la parte inferior del vértice cónico (APEX).

El líquido contenido en los finos es forzado a evacuado el ciclón, por la parte superior que se comunica con la tubería del rebose (VORTEX) formando un torbellino interno.

El funcionamiento de un hidrociclón está afectado por varias variables entre los que destacan:

VARIABLES RELACIONADAS CON EL CICLÓN

- Diámetro del ciclón
- Diámetro del vortex
- Diámetro del apex
- Longitud de la parte cilíndrica
- Angulo de inclinación

Variables relacionadas con la pulpa mineral

- Porcentaje de sólidos
- Densidad de sólidos
- Caudal alimentado
- Presión de Alimentación

## **2.2 PROCESO DE FLOTACION**

### **2.2.1 LA FLOTACION DE MINERALES**

Se define la flotación como un proceso de concentración de minerales en el cual se procura separar las partículas de menas útiles de estériles o gangas, mediante un tratamiento físico – químico que modifica su tensión superficial para lograr que burbujas de aire, finamente divididas, se adhieran a las primeras y las enriquezca en una espuma.

#### **Ventajas de la flotación**

- Flexibilidad para concentrar selectivamente, es decir, con producción de concentrados limpios y de alta ley, todos los minerales sulfurados y la mayoría de los no sulfurados y oxidados.
- Adaptarse fácilmente al tratamiento en gran escala y con ayuda de técnicas automáticas de control y medición, a pulpas de mineral con granulometría de amplia gama: entre 48 mallas/pulgadas hasta unos pocos micrones.
- Integrarse fácilmente con técnicas modernas de molienda y clasificación, así como con medios mecanizados de manejo de productos y separación sólido/líquido.

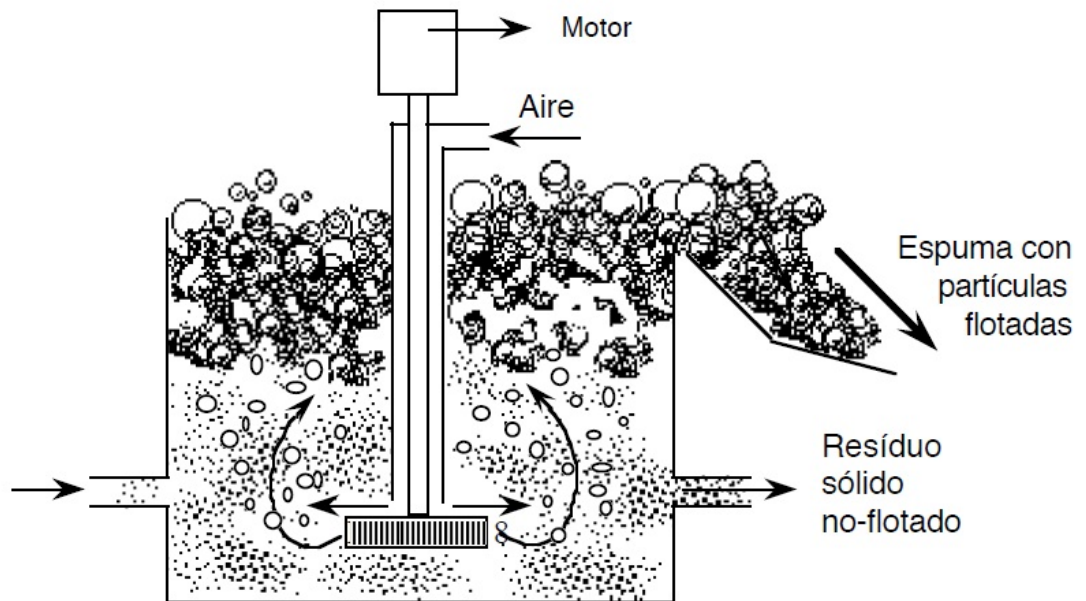


Fig. 2.4 Esquema de funcionamiento de la flotación

## 2.2.2 VARIABLES MÁS IMPORTANTES EN LA FLOTACIÓN

### a) El Mineral

Las especies mineralógicas dentro de una mena, no son de la misma dureza. Esto significa que en el proceso de reducción de tamaño, las especies más blandas se desintegran en mayor proporción que las duras.

Los minerales tienen, por lo general, una estructura cristalina, esta estructura es como consecuencia de la composición química de las moléculas, iones y átomos de sus componentes.

### **b) El Agua**

El agua es el elemento en el cual se efectúa la flotación, por su abundancia y por su bajo precio.

Hay que subrayar la importancia que tienen la impureza y contaminación de las aguas naturales e industriales.

La dureza del agua por ejemplo causada por sales de calcio, magnesio y sodio. Estas sales pueden cambiar la naturaleza de la flotabilidad y son casi siempre causa de consumo considerable de reactivos, formando sales insolubles.

### **c) Factor Granulométrico**

Todo mineral para ser flotado tiene que ser reducido en su tamaño hasta el punto que cada partícula represente una sola especie mineralógica, o sea, estamos hablando de liberación, además, su tamaño tiene que ser apropiado para que las burbujas de aire puedan llevarlas hasta la superficie de las celdas de flotación.

### **d) Influencia de Lamas**

El problema de las lamas finas y el perjuicio que causan en el proceso de flotación, se puede comparar sólo con el problema de la oxidación. El daño del material lamoso es de carácter doble:

- 1) Las partículas de diámetro pequeño flotan mal, y
- 2) Las lamas perjudican la flotación de las partículas de tamaño adecuado.

**e) Densidad de Pulpa**

En un circuito de flotación primaria la pulpa tiene una consistencia entre 25% y 35% de sólidos en vez de 65% y 70% de sólidos que tiene el circuito de molienda.

**f) Factor Tiempo**

En las condiciones industriales el tiempo necesario para el acondicionamiento de los reactivos normalmente varía entre una fracción de minuto y media hora. Cuando son poco solubles y reaccionan lentamente con la superficie del mineral, su alimentación se efectúa en los circuitos de molienda y clasificación.

La flotación se efectúa normalmente hasta el punto en que el producto de concentración de la última celda es de ley un poco más alta que la de cabeza. Flotar más allá de este punto significa diluir innecesariamente el concentrado.

**g) El pH en la Flotación**

La flotación se hace generalmente en disoluciones ligeramente ácidas o alcalinas, con un pH comprendido entre 4 y 11.

La influencia es debido a su acción sobre las sales disueltas en la pulpa de flotación o procedente de disolución del mineral, cambiando completamente la reacción entre ellos o alterando la solubilidad de los minerales y de sus productos de descomposición o modificando las reacciones entre minerales y reactivos alterando la acción superficial y la adsorción de los reactivos.

### **2.2.3 REACTIVOS DE FLOTACIÓN**

Los reactivos de flotación, son el componente y la variable más importante del fenómeno de la flotación, debido a que no puede efectuarse ésta sin la participación de los reactivos.

El número de minerales de alta flotabilidad natural es muy restringido (grafito, talco, azufre, etc.) y su importancia relativa tan limitada que no es posible afirmar que la flotación de minerales en la actualidad pueda efectuarse sin la activa participación de los reactivos.

Siendo elementos tan importantes para la flotación de minerales, los reactivos influyen, además, con una gran sensibilidad, no sólo el tipo de reactivo que se agrega, sino que también influye toda la combinación de reactivos, sus cantidades o dosificación, los puntos y medios en los que se alimentan los circuitos y muchos otros que escapan a una definición precisa.

Los efectos que pueden producir otras variables como la molienda, la aireación, la densidad de pulpa, etc., no superan en importancia a los efectos que produce una fórmula de reactivos.

La selección de los mejores reactivos de flotación es una etapa muy compleja, la absorción de los reactivos se basa en el equilibrio de iones de la pulpa que determina el potencial cinético, el potencial electroquímico y la hidratación de las partículas de mineral. Este equilibrio es difícil de controlar o prever, ya que aparte de los reactivos, en la pulpa existe una cantidad considerable de iones provenientes de las impurezas que trae el mineral y las aguas utilizadas.

Los reactivos de flotación, son productos químicos naturales o artificiales, que aseguran que la flotación de minerales sea selectiva y eficiente y



produce condiciones óptimas para mejorar este método de concentración de minerales. Son generalmente surfactantes o modificadores de la superficie de los minerales.

## **CLASIFICACION DE REACTIVOS**

- Colectores o Promotores
- Agentes Espumantes
- Agentes Reguladores o Modificadores

### **a) LOS COLECTORES O PROMOTORES**

Son compuestos químicos orgánicos que actúan selectivamente en la superficie de ciertos minerales, haciéndolos repelentes al agua y asegurando la acción de las burbujas de aire, haciéndolas aerofílicas.

La gran mayoría de los colectores comerciales son moléculas complejas, estructuralmente asimétricas y están compuestos de una parte polar y de una parte no polar, con propiedades diferentes. La parte no polar es orientada hacia el agua, debido a que difícilmente reacciona con los dipolos del agua y por consiguiente tiene propiedades fuertes para repeler al agua y la parte polar hacia el mineral, debido a la superficie del mineral que presenta una respuesta frente a esta parte de los colectores. Esto hace que la superficie de mineral cubierta por las moléculas de los colectores se haga hidrofóbica.

El colector constituye el corazón del proceso de flotación puesto que es el reactivo que produce la película hidrofóbica sobre la partícula mineral.

- **Xantatos**

Los xantatos se denominan por su radical alcohólico (R) y el metal alcalino (K o Na) o por el nombre comercial de sus fabricantes originales más importantes (Dow Chemical Co. Cytec).

Los xantatos disponibles en el mercado y que corresponden a los principales productores como American Cyanamid, Dow Chemical, Minerec y en el caso peruano, Reactivos Nacionales S.A. (RENASA), son los siguientes:

- Xantato etílico de potasio (Z — 3)
- Xantato etílico de sodio (Z — 4)
- Xantato isopropílico de sodio (Z — 11)
- Xantato isobutílico de sodio (Z — 14)
- Xantato butílico secundario de sodio (Z — 12)
- Xantato amílico de potasio (Z — 6)

- **Ditiofosfatos**

Fueron desarrollados originalmente por la firma American Cyanamid Co. con el nombre de “Aerofloat”. Se fabrican a partir del pentasulfuro de fósforo y del ácido cresílico (Aerofloat 25).

Los ditiofosfatos se diferencian de los xantatos por la presencia (en algunos de ellos) del espumante, ácido cresílico y por tener en su fórmula estructural una cadena con doble grupo alifático.

## **b) LOS ESPUMANTES**

Son sustancias orgánicas de superficies activas heteropolares, que se concentran por absorción en las interfaces aire - agua, ayudando a mantenerse a las burbujas de dispersas y evitando su coalescencia.

Si se agrega una pequeña cantidad de espumante al agua, se forma una espuma estable como resultado de la agitación o la introducción de aire forma dispersa.

Los espumantes son usados en dosificaciones que usualmente son menores a 20 g/TM.

Espumantes conocidos:

- Aceite de Pino
- Aceite Cresilico
- Metil - isobutil - Carbinol (MIBC)
- Dowfroth 200 6 250
- Aerofroth 65 6 70

## **c) MODIFICADORES Y REGULADORES**

- Reguladores
- Activadores
- Sulfurantes
- Depresores
- Dispersantes

Estos reactivos (todos inorgánicos y que se emplean en dosificaciones sustancialmente más altas que los reactivos orgánicos)

Reguladores de PH (cal,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaOH,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Depresores ( $\text{NaCN}$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , NaHS)

Activadores ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ )

Dispersantes ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Sulfurantes ( $\text{Na}_2\text{S}$ , NaHS)

#### **2.2.4 CELDAS DE FLOTACIÓN**

Se denomina celdas de flotación a los equipos en los cuales se realiza la flotación de minerales.

El objetivo fundamental de una celda de flotación es separar en forma satisfactoria de una cabeza de mineral, un concentrado y un producto de relave.

##### **a) ¿Cuáles son las funciones de las celdas de flotación?**

Mantener en suspensión las partículas de la pulpa que ingresa a la celda de flotación evitando la segregación de los sólidos por el tamaño o por la densidad.

Formar y diseminar pequeñas burbujas de aire por toda la celda; los volúmenes de aire requeridos dependerán del peso de material alimentado.

Promover los choques entre partículas minerales y las burbujas de aire con el fin de que el conjunto mineral — burbuja formando tenga una baja densidad y pueda elevarse desde la pulpa a la zona de espuma, las cuales serán removidas de la celda, conteniendo el concentrado.



Fig. 2.5 Celda de Flotación

## b) TIPOS DE CELDAS DE FLOTACIÓN

- **Celdas mecánicas**

Se caracterizan por tener un agitador mecánico que mantiene la pulpa en suspensión y dispersa el aire dentro de ella.

El ingreso de aire para las celdas mecánicas puede realizarse por insuflación forzada o por la acción succionadora del impulsor.

La velocidad del impulsor puede ser regulada de acuerdo a la etapa de flotación: las etapas rougher y scavenger de mayor números de revoluciones por minuto que las etapas de limpieza.

- **Celdas neumáticas**

Son máquinas de flotación que no tienen impulsor mecánico, la pulpa es agitada por aire comprimido.

Estas celdas originalmente son tanques rectangulares con tuberías de difusión de aire instalados en el fondo de la celda.

La celda columna se considera también como celda neumática; estas celdas funcionan con sistemas de flujos en contracorriente; se tiene un flujo ascendente de burbujas generales en forma continua, desde el fondo descendente de partículas sólidas en la pulpa.

- **Celdas de flotación gigantes**

A medida que las leyes de los minerales fueron bajando, fue necesario tratar tonelajes mayores para mantener los niveles de producción de concentrado fino.

Esta necesidad de aumentar la capacidad de tratamiento, estimuló la fabricación de molinos de gran tamaño y, por consiguiente, el diseño de celdas de mayor volumen para evitar el uso de una cantidad de celdas excesiva, que se tradujera en mayor mantención, mayor complejidad de control y mayor requerimiento de espacio.

Normalmente, se entiende por celda gigante aquellos equipos de flotación con volúmenes superiores a 300 pie<sup>3</sup>. Después de los 80's entraron al mercado las celdas mayores de 1500 - 3000 pie<sup>3</sup>.

- **Celda columna**

En la flotación columnar, como en las celdas convencionales, las partículas de mineral hidrofóbicas son adheridas a las burbujas, las cuales ascienden y son movidas como concentrado; pero a diferencia de las celdas de flotación convencional, s celdas columna no usan sistema de agitación mecánico para suspender las partículas y dispersar el aire, esto las hace más eficientes energicamente y también en mantenimiento mecánico.

La pulpa de alimentación entra a una corta distancia de la parte superior de la celda. La pulpa dentro, encuentra una corriente de aire ascendente y una corriente descendente del agua de lavado.

El concentrado rebosa por la parte superior de la celda, mientras que la cola es descargada por el fondo. El aire es introducido por la parte inferior de la celda columna mediante generadores. Estos generadores pueden ser hechos de varios tipos de material y diferentes diseños con el objeto de producir pequeñas burbujas de aire. El agua de lavado es alimentada mediante ducha colocada en la parte superior de la celda.

### **2.2.5 CIRCUITOS DE FLOTACIÓN**

Las celdas de flotación se agrupan en un circuito. Es difícil dar una visión panorámica de los circuitos, porque cada circuito industrial representa una solución económica para un mineral particular durante un periodo de explotación de un yacimiento. Según algunos autores se debe distinguir lo siguiente:

Los circuitos simples, que corresponden a un modo de operación que necesita solamente de la flotación para lograr la separación de los minerales valiosos de los no valiosos.

Los circuitos complejos correspondientes a otras formas de operación que necesita la flotación y otros procedimientos diferentes de los de flotación, tales como la remolienda, el deslamado, la tostación, el calentamiento de la pulpa, la lixiviación, la precipitación, como es el caso del proceso LPF (Leaching, Precipitation, Flotation), etc.

Los datos de laboratorio forman la base para el diseño de los circuitos de flotación. Estos datos obtenidos en pruebas de laboratorio con muestras de

mineral, pueden mostrar las condiciones óptimas para la concentración del mineral y los efectos de los cambios en las variables de los procesos.

## **ESQUEMAS DE FLOTACIÓN**

Un sistema combinado de diversas etapas en las operaciones de flotación se llama “circuito” o “esquema de flotación”.

- **Flotación primaria o Rougher**

Es aquella que recupera una alta proporción de las partículas valiosas, aún a costa de la selectividad, utilizando las mayores concentraciones de reactivos colectores y/o depresores del circuito, velocidades altas de agitación y baja altura de la zona de espumas.

El concentrado Rougher, no es producto final y deberá pasar a las etapas de limpieza o cleaner.

- **Flotación en limpiezas (Cleaner)**

Se utiliza para describir las operaciones en las que los concentrados primarios o la de las unidades de procesamiento están sujetas a flotaciones repetidas para mejorar la calidad del concentrado.

Tienen como finalidad obtener concentrados de alta ley aún a costa de una baja en la recuperación; en algunos casos en estas etapas para hacer más selectivo el proceso, se requieren bajos porcentajes de sólidos en las pulpas de flotación, menores velocidades de agitación, mayor altura de la zona de espumas y principalmente menor concentración de reactivos colectores que en la etapa rougher.



También es habitual añadir a éstas etapas reactivos depresores que incrementan la selectividad de la flotación.

Los relaves de limpieza generalmente no son descartados y regresan para su retratamiento a la etapa anterior.

- **Flotación Scavenger**

Es aquella operación en la que se recupera la mayor cantidad de valiosos posibles; su relave será un descarte final, mientras que su concentrado deberá retornar generalmente a la etapa rougher para incrementar su ley.

Generalmente, las cargas circulantes deben tener concentraciones (leyes) similares a los flujos a los cuales se unen; así el concentrado scavenger deberá tener una ley cercana a la del alimento fresco y al relave de la primera limpieza ya que los tres se unen.

El proceso de limpieza puede repetirse muchas veces, al concentrado de cada sección de limpieza avanza hacia la sección siguiente y los relaves se mueven en sentido opuesto.

Muchas condiciones severas de flotación se imponen en la sección scavenger: alta concentración de reactivos y prolongados tiempos de flotación, en el otro extremo en la sección cleaner, existen condiciones suaves. Aquí, el agua añadida a los concentrados rougher diluye la concentración de los reactivos. También la pulpa diluida pasa a través de las celdas cleaner muy rápidamente.

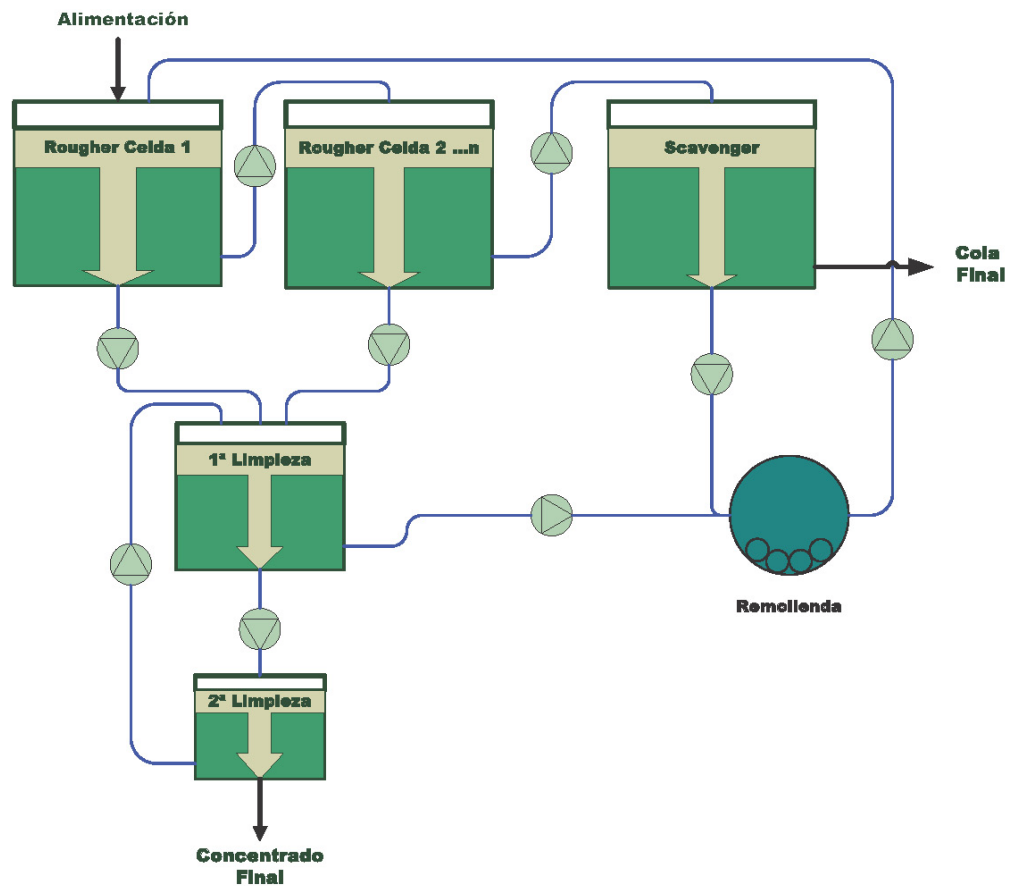


Fig. 2.6 Circuitos de flotación

### 2.3. CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES PLC's

Las empresas de hoy, que piensan en el futuro, se encuentran provistas de modernos dispositivos electrónicos en sus máquinas y procesos de control. Hoy las fábricas automatizadas deben proporcionar en sus sistemas, alta confiabilidad, gran eficiencia y flexibilidad.

Una de las bases principales de tales fábricas es un dispositivo electrónico llamado Controlador Lógico Programable (PLC). Los PLC's aparecieron en la industria alrededor de 1960 y se ha ido refinando con nuevos componentes electrónicos, tales como microprocesadores de alta velocidad, agregándole funciones especiales para el control de proceso

más complejos. Hoy los Controladores Programables son diseñados usando lo último en diseño de microprocesadores y circuitería electrónica, lo cual proporciona una mayor confiabilidad en su operación en aplicaciones industriales donde existen peligro debido al medio ambiente, alta repetibilidad, altas temperaturas, ruido ambiental o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas etc. Los Controladores Lógicos Programables, ofrecen muchas ventajas sobre otros dispositivos de control tales como relevadores, temporizadores electrónicos, contadores y controles mecánicos como del tipo tambor.

### **2.3.1 Descripción del PLC**

EL PLC es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones; las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada / salida digitales y analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.

Su programación y manejo puede ser realizado por personal con conocimientos electrónicos sin previos conocimientos sobre informática. La tarea del usuario se reduce a realizar el “Programa” que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen cumplir para activar cada salida.

### 2.3.2 Estructura de los PLC's

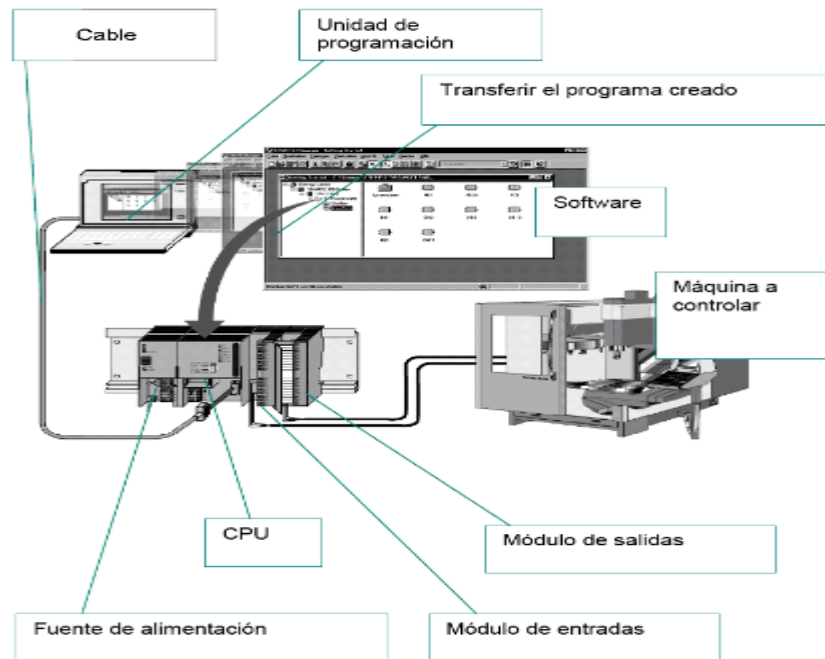


Fig. 2.7 Estructura del PLC

En la figura 2.7 se presenta un esquema detallado de las diferentes partes que conforman la estructura del PLC y se explicarán a continuación:

**Fuente de alimentación:** Es la encargada de convertir la tensión de la red, 110 o 220 [v] de corriente alterna, a baja tensión de corriente continua, normalmente a 24 [v]. Siendo ésta la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el Autómata.

**Unidad Central de Procesos o CPU:** Se encarga de recibir las órdenes del operario por medio de la consola de programación y el módulo de entradas. Posteriormente las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso.

Contiene las siguientes partes:

- Unidad central o de proceso
- Temporizadores y contadores
- Memoria de programa
- Memoria de datos
- Memoria imagen de entrada
- Memoria imagen de salida

**Módulo de entrada:** Constituyen terminales a los que se conectan las señales que provienen de sensores, interruptores, finales de carrera, pulsadores.

Cada cierto tiempo el estado de las entradas se transfiere a la memoria imagen de entrada. La información recibida en ella, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación.

Se pueden diferenciar dos tipos de sensores o captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.

Los captadores pasivos son los que cambian su estado lógico (activado o no activado) por medio de una acción mecánica. Estos son los interruptores, pulsadores, finales de carrera.

Los captadores activos son dispositivos electrónicos que suministran una tensión al autómata, que es función de una determinada variable.

**Módulo de salidas:** Es el encargado de activar y desactivar los actuadores como bobinas de contactores, lámparas, motores pequeños, etc.

La información enviada por las entradas a la CPU, una vez procesada, se envía a la memoria imagen de salidas, de donde se envía a la interface de

salidas, para que éstas sean activadas y a la vez los actuadores, que en ellas están conectados.

Según el tipo de proceso a controlar por el autómata, se puede utilizar diferentes módulos de salidas. Existen tres tipos bien diferenciados:

- **A Relés:** Son usados en circuitos de corriente continua y corriente alterna. Están basados en la conmutación mecánica, debido a la bobina del relé, de un contacto eléctrico normalmente abierto.
- **A Triac:** Se utilizan en circuitos de corriente continua y corriente alterna que necesitan maniobras de conmutación muy rápidas.
- **A Transistores a colector abierto:** Son utilizados en circuitos que necesitan maniobras de conexión / desconexión muy rápidas. El uso de este tipo de módulos es exclusivo de los circuitos de corriente continua.

**Unidad de programación:** El terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema.

Las funciones básicas de éste son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los procesos.

Como consolas de programación pueden ser utilizadas, las construidas específicamente para el autómata, tipo calculadora o bien un ordenador

personal, PC, que soporte un software específicamente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

El equipo de programación tiene por misión configurar, estructurar, programar, almacenar y aprobar las diferentes funciones del autómeta, tanto las contenidas en la CPU básica, como las que aparecen en las CPU auxiliares y módulos periféricos. Se define entonces el equipo de programación como el conjunto de medios, hardware y software, mediante los cuales el programador introduce y depura las secuencias de instrucciones almacenadas en las memorias del autómeta (en uno u otro lenguaje), que constituyen el programa a ejecutar.

Son funciones específicas de los tipos de programación los siguientes:

- Escritura del programa de usuario, directamente en la memoria del autómeta, o en la memoria auxiliar del mismo equipo. Verificación sintáctica y formal del programa escrito.
- Edición y documentación del programa o aplicación.
- Almacenamiento y gestión del programa o bloques del programa.
- Transferencias de programas de y hacia el autómeta.

Gestión de errores del autómeta, con identificación de los mismos, ayudas para su localización y corrección, y reinicialización del sistema.

Además de las funciones anteriores, es muy frecuente encontrar otras adicionales:

- Puesta en marcha y detención del autómeta (RUN / STOP).
- Monitorización del funcionamiento, sobre variables seleccionadas o sobre las propias líneas del programa.

- Forzado de variables binarias o numéricas y preselección de contadores, temporizadores y registros de datos.

El programador se comunica con el equipo utilizando un entorno operativo simplificado, con comandos como editar, insertar, buscar, transferir. etc.

**Software para la programación:** Los paquetes de software para programación de autómatas convierten un ordenador personal en un equipo de programación específico, aprovechando sus potentes recursos de interfaz con otros sistemas (impresoras, otros PC) y con el usuario (teclado, monitor), y el bajo precio del hardware debido a la estandarización y generalización de uso de los ordenadores compatibles. Esta opción (PC + software); junto con las consolas, éstas en menor medida, constituye prácticamente la totalidad de equipos de programación utilizados por los programadores de autómatas.

Los requisitos de hardware y software exigidos para instalar sobre el PC un entorno de programación de autómatas suelen ser, en general, muy ligeros, sobre todo cuando la instalación se realiza sobre sistema operativo DOS.

Algunos entornos actuales que corren bajo Windows presentan exigencias algo más duras en cuanto al hardware necesario en el PC (procesador 486 o superior, 8 MB de memoria RAM, etc.), aunque en la práctica quedan cubiertas si el equipo está ya soportando el entorno Windows.

El paquete de programación se completa con la unidad externa de conexión que convierte y hace compatibles las señales físicas entre la salida serie estándar de PC (RS-232C, RS-422/485) y el puerto de conexión de la consola del autómata, canal usualmente utilizado también para la conexión con el PC.



Una vez que el programa ha sido cargado en el PLC, y éste ya se encuentra en funcionamiento, entregará a las salidas distintos estados, dependiendo del programa ensamblado, y serán estos estados los encargados de controlar a diferentes dispositivos como Motores, Válvulas, Bombas, etc.

### **2.3.3 Campos de aplicación**

EL PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del Hardware y Software amplia continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el aspecto de sus posibilidades reales.

Sus reducidas dimensiones, las extremas facilidades de montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficiencia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se reduce necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Aplicaciones generales fundamentales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

#### **2.3.4 Ventajas e inconvenientes de los PLC's**

Entre las ventajas se tiene:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de incluir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Y entre los inconvenientes:

- Adiestramiento de técnicos.
- Costo.

Actualmente estos inconvenientes se han hecho nulos, ya que todas las carreras de ingeniería incluyen la automatización como una de sus asignaturas. En cuanto al costo tampoco hay problema, ya que hay autómatas para todas las necesidades y a precios ajustados.

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

#### 3.1 Resumen Geológico

Se tiene definido 3 sistemas de estructuras las cuales son: Cuerpo/Veta Isguiz, Sistema María y Sistema Dana las cuales se emplazan en el Contacto de las Formaciones Farrat y Pariahuanca como también en las areniscas del Farrat y Carhuaz. El mejor desarrollo de las vetas del Sistema María y Dana están en las areniscas de Farrat.

##### **Cuerpo/Veta Isguiz:**

El Cuerpo/Veta Isguiz, es la más representativa de nuestras estructuras mineralizadas, tiene rumbo para la zona norte N30°W y para la zona sur N-S, con buzamiento bivalente 80-55°.

En la zona norte se emplaza el reemplazamiento/relleno se da en las areniscas del Farrat en contacto con las calizas del pariahuanca, la mineralogía presente es: galena gris acerillo, galena cristalizada (8%), trazas de cobre gris (2%), esfalerita (blenda acaramelada, esfalerita marmatítica) (8%) en ganga de pirita granular y cristalizada (18%), menor arsenopirita ( - 1%) y cuarzo-calcita (15%).

En la zona Sur, el Cuerpo/Veta Isguiz (Clavo 2, 3 y 5) la mineralización se emplaza en un skarn distal en contacto con las formaciones Farrat y Parihuanca y rocas calcosilicatadas. La mineralogía está constituida por galena cristalizada (4%), esfalerita marmatítica (7%) en ganga de pirita granular y cristalizada (25%), arsenopirita (2%) (Se incrementa en cota), menor cuarzo-calcita (8%).

### **Sistema María:**

Las vetas que corresponden al sistema María son, María, Maribel, Maricruz y Martina, todas con rumbo promedio E-W y buzamiento 60-50° al sur. Son vetas de relleno, la mineralogía presente es: cobre gris (5%), galena cristalizada (8%), esfalerita marmatítica-marmatita (10%) en ganga de pirita (35%), cuarzo (40-15%). arsenopirita (1%).

### **Sistema Dana:**

Las vetas que corresponden al sistema Dana son; Danae, Dana, Denisse, Daniela, Desiré y otros, todas con rumbo promedio SW-NE y Buzamiento 65°-50° SE. Son vetas de relleno, la mineralogía presente es: cobre gris (4%), galena cristalizada (10%), esfalerita marmatítica-marmatita (10%) en ganga de pirita (20%) y cuarzo (30%).

## **3.2 Resumen Minero**

El yacimiento es polimetálico presentando como mineralización económica la: Blenda (ZnS), Galena (PbS) y Marmatita (ZnFeS); y como mineral de ganga la Calcita, Granate, Cuarzo, Pirita, Clorita, Arsenopirita, Pirrotita.

El yacimiento es explotado por método subterráneo empleando el método de corte y relleno. La extracción del mineral se efectúa en los niveles 4250, 4450 y 4150 y, descargando por un sistema de chimeneas hacia el nivel 4090.

La extracción se hace mediante un sistema mecanizado de rieles y maquinaria pesada como Scoop que lo hace productivo y económico.

El movimiento de roca se efectúa empleando explosivos como el Anfo y dinamita. La vida de la mina se ha estimado de 8 años laborando 360 días por año en 2 guardias por día.

El mineral extraído de la mina es transportado en un volquete de 30 tm de capacidad directamente a la tolva de gruesos que se encuentra a 10 Km. del nivel 4090.

### **3.3 Descripción de Planta Concentradora**

#### **3.3.1 Recepción y Sección Chancado**

- **Recepción**

El mineral proveniente de la mina a través de volquetes de 30 Tn de capacidad, es depositado en la tolva de gruesos cuya capacidad es de 120 Tn, esta posee una parrilla de rieles, con espaciamiento de 14 pulgadas, de esta manera se retiene los bancos del mineral que luego serán rotos por el operador mediante una comba. Cada volquete es pesado por una balanza electrónica de 100 Tn de capacidad, pesándose el camión antes y después del descargue a la tolva de grueso. La ley de cabeza de mineral con que llega a la planta es: Ag = 6 – 10 oz/Tc, Pb = 3 – 9%, Zn = 3 – 10%

- **Sección Chancado**

El mineral descargado a la tolva de grueso es alimentado a la chancadora de mandíbula (32” x 20”) C-80, mediante la faja

alimentadora N° 1 que cuenta con dos velocidades. El producto del chancado es reducido a 2" y descargado a la faja transportadora N° 1 que transporta al mineral a la tolva de medios que tiene una capacidad de 330 Tn.

El mineral que es depositado en la tolva de Medios es transportado hacia la faja transportadora N° 2 mediante la faja alimentadora N° 2. El mineral de la faja transportadora N° 2 llega a una zaranda de 6' x 16' de dos mallas (malla superior de ¾", malla inferior de 8mm) que clasifica al mineral descargándose a la faja transportadora N° 3 el mineral mayor a 8 mm, y el mineral menor a 8 mm se deposita en la tolva de finos, de capacidad de 900 Tn.

El mineral descargado en la faja transportadora N° 3, transporta el mineral hacia una chancadora cónica HP-200 que reduce el mineral a ½" y recircula a la faja transportadora N° 2

### **3.3.2 Sección Molienda y Clasificación**

El mineral depositado en la tolva de finos es transportado hacia la faja transportadora N° 4 mediante la faja alimentadora N° 3 y N° 4, trabajando solamente una faja y teniendo la otra como stand-by.

La faja transportadora N° 4 transporta el mineral hacia la faja transportadora N° 5 y este al chute de alimentación al molino.

El mineral es alimentado con  $ZnSO_4$  a un molino de bolas de 8' x 10' que trabaja en un circuito cerrado con un hidrociclón de 10" (D = 10", Vortex = 3", Apex 2.5"), el cual clasifica el mineral del tamaño requerido para la flotación y el grueso regresa al molino hasta lograr el tamaño para la flotación. El grado de molienda es de 70% m – 200.

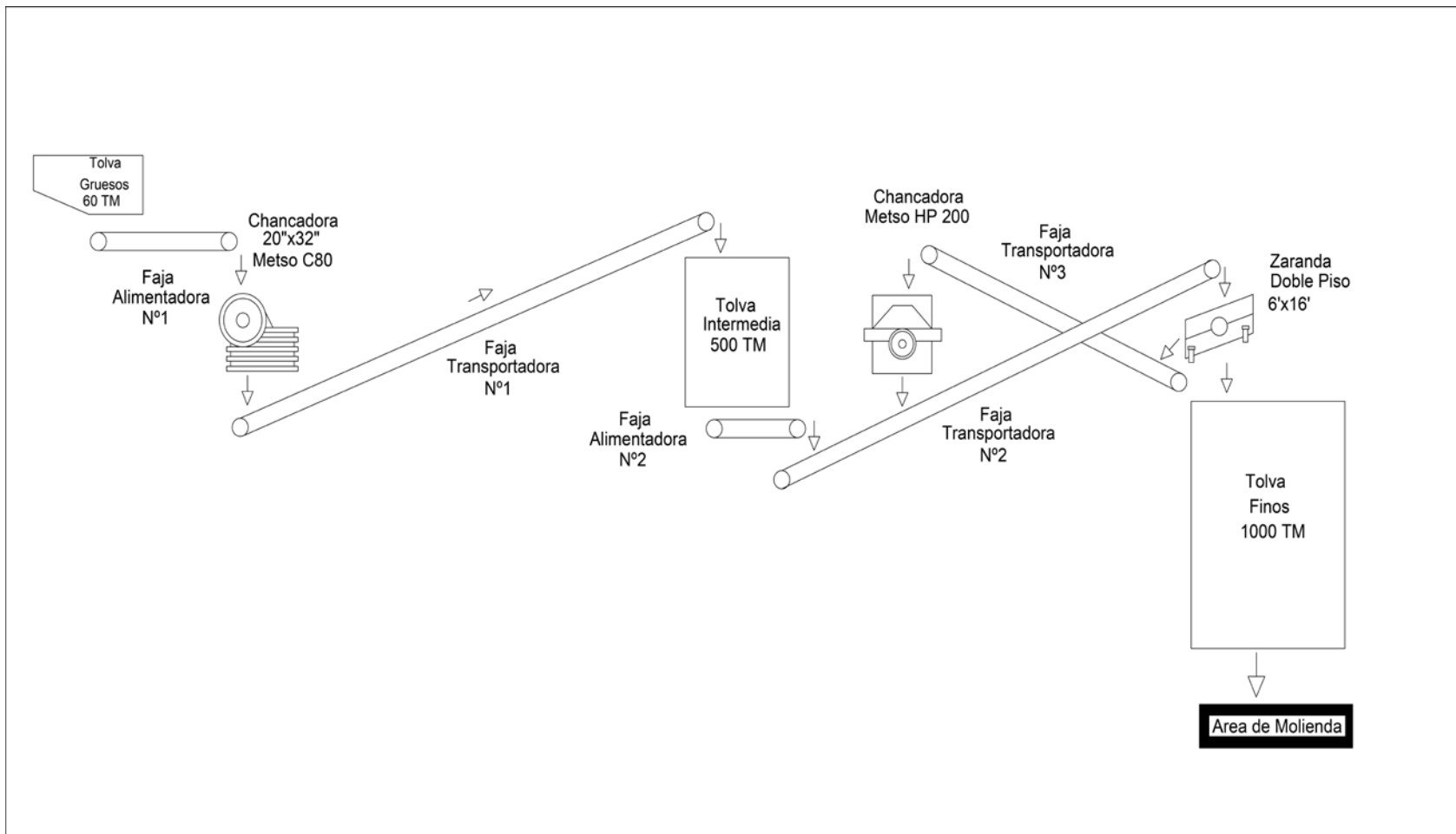


Fig. 3.1 Área de chancado

Tabla 3.1. EQUIPOS EN EL AREA DE CHANCADO

AREA	EQUIPO	MARCA	MODELO	CIRCUITO O UBICACIÓN
CHANCADO PRIMARIO	Belt Feeder N°1	CEMPROTECH	42 "X 9.40	
	Chancadora Primaria	METSO	C80 / 32'x 20'	
	Tolva de Gruesos	CEMPROTECH	60TM	
	Faja transportadora N°1	CEMPROTECH	24"	
	Tolva intermedia	CEMPROTECH	500 TM	
	Belt Feeder N°2	CEMPROTECH	36" X 8.00	
	Electroimán	ERIEZ	SC-2SE-7422	
	Puente grúa	DEMAG	5 TON	
CHANCADO SECUNDARIO	Chancadora Metso HP 200	METSO	HP-200	
	Faja transportadora N°2	CEMPROTECH	24" X 37.445	
	Faja transportadora N°3	CEMPROTECH	24" X 28.00	
	Zaranda vibratoria	HORIZONTAL DECK SCREEN	HDS 616 DF-8	DOBLE PISO 6'X 16'
	Tolva de finos 1000TM	CEMPROTECH		
	Detector de metales			
	Puente grúa	DEMAG	5 TON	



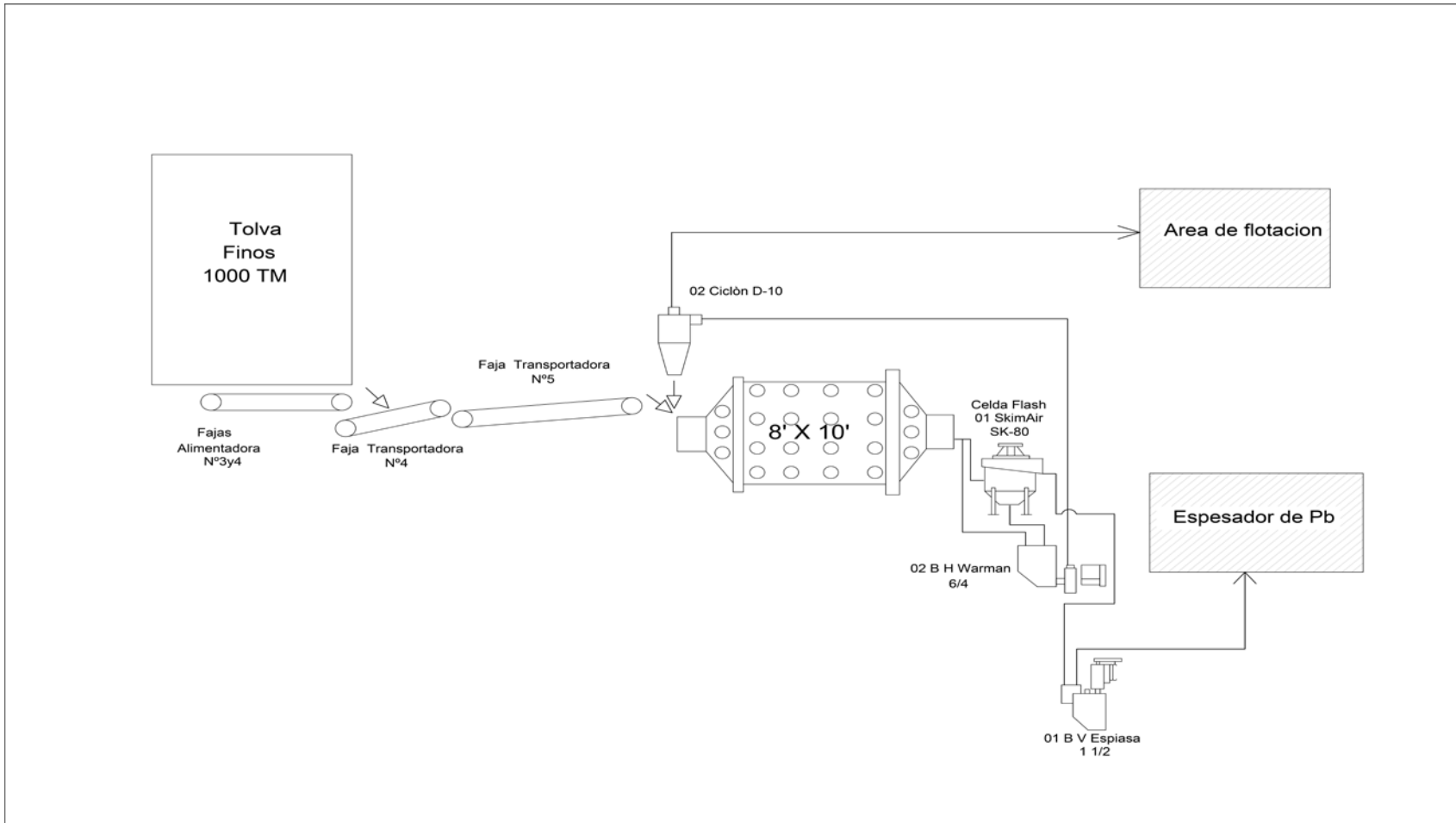


Fig. 3.2 Área de molienda

Tabla 3.2 EQUIPOS EN EL AREA DE MOLIENDA

AREA	EQUIPO	MARCA	MODELO	CIRCUITO O UBICACIÓN
MOLIENDA	Belt Feeder N°3	CEMPROTECH	36" X 9.105	MA-1
	Belt Feeder N°4	CEMPROTECH	36" X 9.106	
	Faja transportadora N°4	CEMPROTECH	24" X 9.20	
	Faja transportadora N°5	CEMPROTECH	24.6" X 25.6	
	Molino de Bolas 8'x10'	MAGENSA	8' x 10'	
	Hidrociclón D-10	FLSMITH KREBS	G MAX D-10	
	Hidrociclón D-10			
	Bomba Centrifuga	WARMAN	6 / 4	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	6 / 4	
	Molino de bolas - Remolienda Zinc		5' x 6'	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	3 / 2	Remolienda Pb-Ag
	Bomba Centrifuga	WARMAN	3 / 2	Remolienda Pb-Ag
	Molino de bolas - Remolienda Plomo		5' x 6'	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	3 / 2	Remolienda Zn
	Bomba Centrifuga	WARMAN	3 / 2	Remolienda Zn
	Hidrociclón D-06			
	Hidrociclón D-06			
	Hidrociclón D-06			
	Hidrociclón D-06			
	Hidrociclón D-10			
Bomba sumidero	VULCO	GALIGER 2.5" / 48"		
Puente grúa	DEMAG	10 TON		

El mineral que sale del clasificador hacia la flotación, tiene una densidad de pulpa de 1300 gr/ltr y la descarga del molino tiene una densidad de 2350 gr/ltr. En el cajón de descarga del molino se adiciona Z-11,3418, 208 que a la vez es bombeado mediante una bomba Warman 6" x 4" al hidrociclón D-10.

### **3.3.3 Sección Flotación**

En esta sección se cuenta con dos circuitos de flotación: circuito de flotación Pb-Ag y circuito de flotación de Zn.

- **Circuito de Flotación Pb-Ag**

La descarga del molino de bolas 8" x 10" se alimentará a una celda Flash Skim Air SK-80, en la cual sus espumas formarán parte del concentrado final que será bombeado por una bomba vertical 2½" y el relave descargará por gravedad al cajón de bombas 6" x 4", que alimenta a los hidrociclones D-10.

El rebose del ciclón D-10 pasa primero por una celda unitaria 6.5" x 6.5" donde su espuma formará parte del concentrado final y su relave pasará a un acondicionador 6.5" x 6.5" que luego será alimentado a una celda tanque RCS-20 de 20m<sup>3</sup>, las espumas de la celda tanque irán al circuito de limpieza. El relave se alimentará por gravedad al circuito Scavenger (2 bancos, 4 celdas por banco).

El concentrado de la primera Scavenger (4 celdas OK-3R, 3m<sup>3</sup>) serán retornados a la cabeza de la celda tanque RCS-20 mediante una bomba espia de 2½", y el relave pasará a la segunda Scavenger (4 celdas OK-3R, 3m<sup>3</sup>) cuyo concentrado será retornado

a la entrada de la primera Scavenger mediante una bomba espia 2 ½” y su relave pasará al circuito de Zn.

El concentrado de la rougher se alimentará al circuito Cleaner I de Pb–Ag (4 celdas Denver N° 24 Sub–A) por gravedad. El concentrado del Cleaner I de Pb–Ag se enviará al circuito Cleaner II Pg–Ag (4 celdas N° 24 Sub–A) y el relave del Cleaner I se retorna a la rougher mediante una bomba espia 2½”. El concentrado del Cleaner II alimentará al circuito Cleaner III (02 celdas Denver 18 sp), el relave del Cleaner II alimentará al Cleaner I. El concentrado Cleaner III se junta con el concentrado de la celda flash y concentrado de celda unitaria y forman el concentrado final que se enviará a un muestreador automático y después al espesador de 20 pies de Pb–Ag mediante gravedad. El relave del Cleaner III alimenta al Cleaner II.

- **Circuito de Flotación Zn**

El relave del circuito Pb–Ag va hacia la bomba 6” x 4” que alimenta a un nido de ciclones D-10 (02 unidades) luego será enviado a dos tanques acondicionadores de 2 mt x 2 mt, a través de una bomba horizontal de 3” x 2”. Los tanques acondicionadores servirán para acondicionar la pulpa con reactivos con un tiempo de residencia de 10 min.

El rebose del segundo acondicionador se enviará por gravedad al circuito rougher de Zn (2 celdas RCS-20, 20 m<sup>3</sup>), el concentrado de la rougher de Zn se enviará por gravedad al circuito Cleaner y el relave rougher de Zn se enviará al circuito Scavenger de Zn.

(2 Bancos, 4 celdas por banco, 3m<sup>3</sup>)

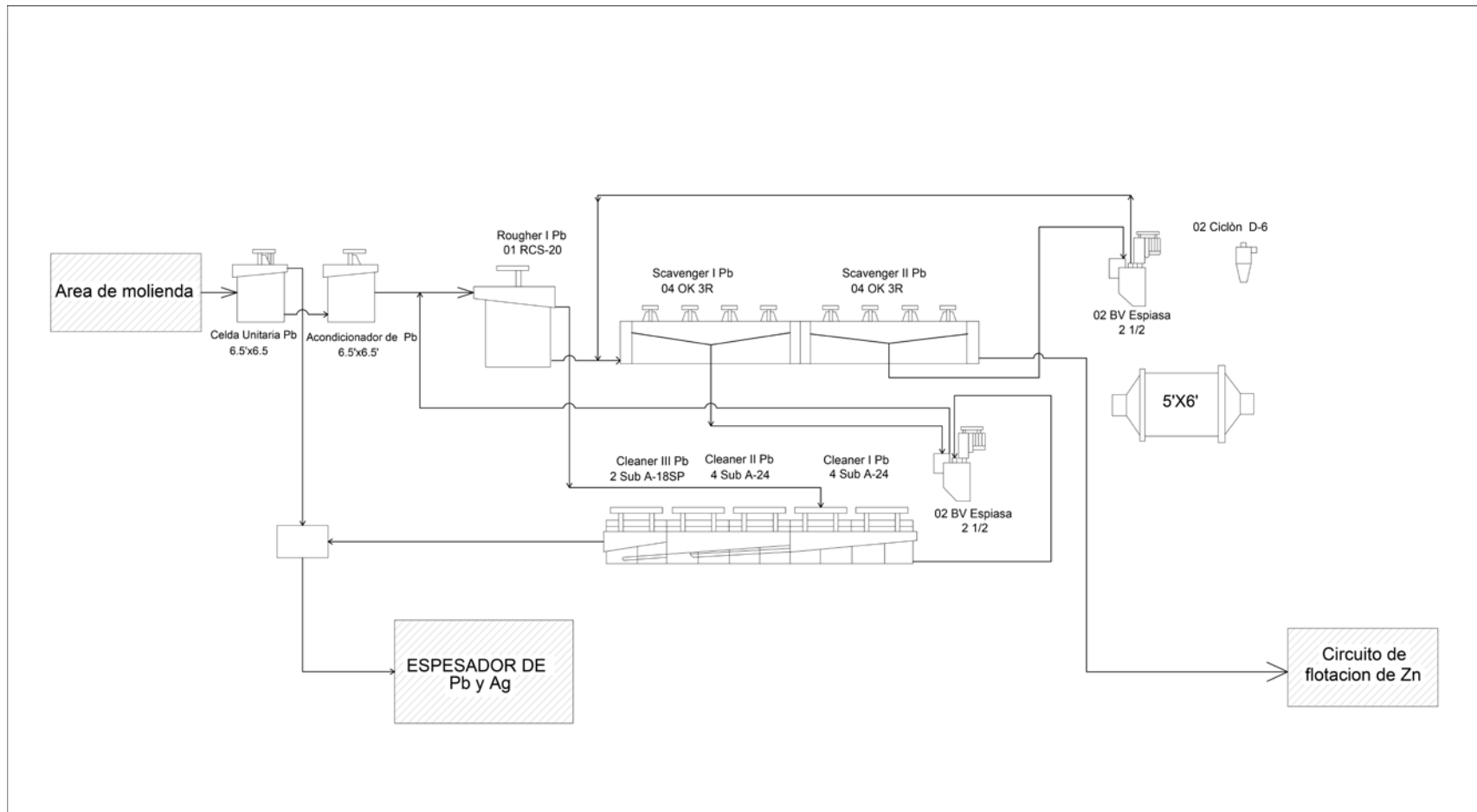


Fig. 3.3 Área de flotación Pb-Ag

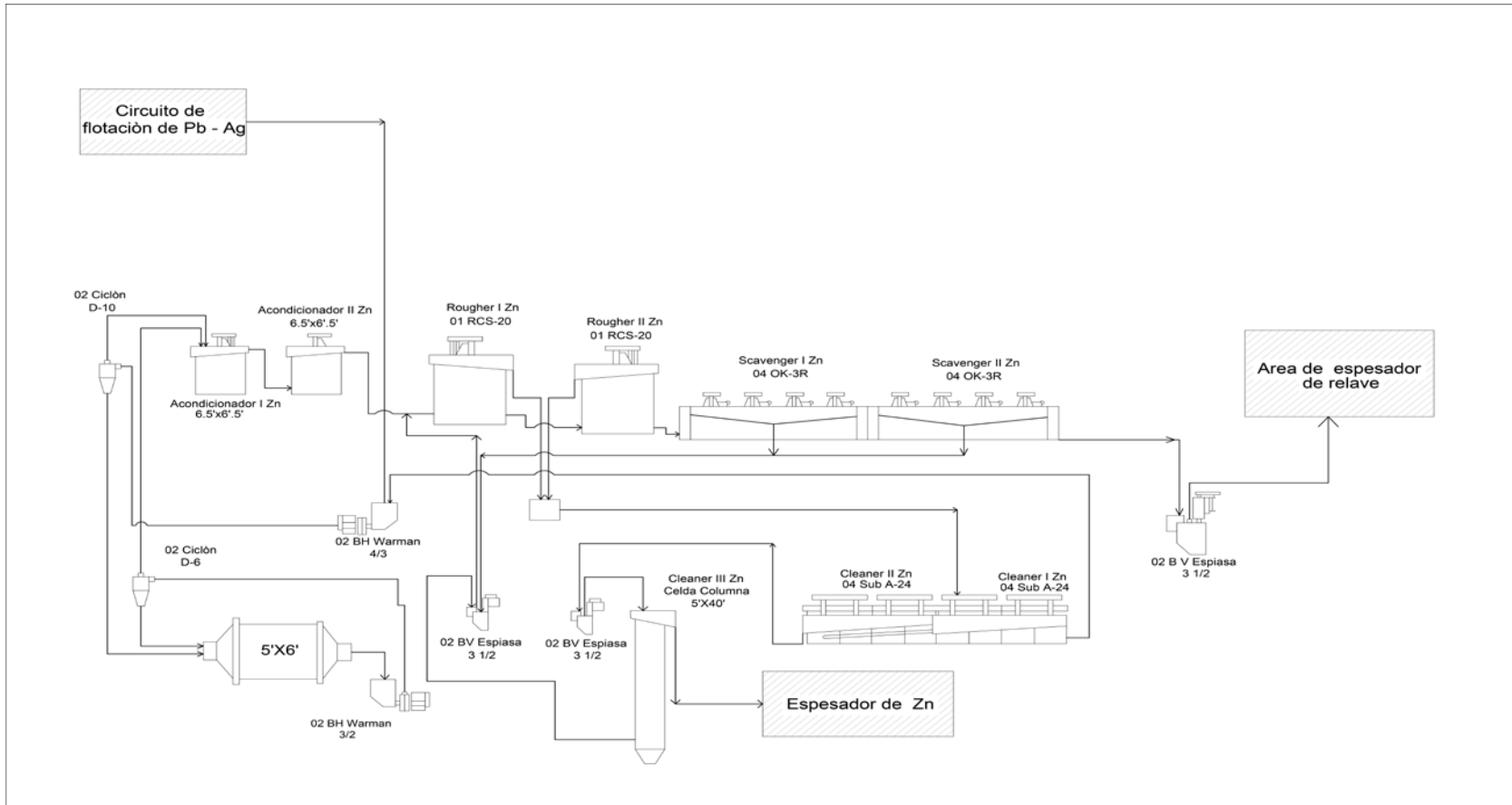


Fig. 3.4 Área de flotación Zn

Tabla 3.3 EQUIPOS EN EL AREA DE FLOTACION

AREA	EQUIPO	MARCA	MODELO
FLOTACIÓN CELDAS	Tanque acondicionador de Plomo	FIMA	1.5 / 1.5
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher 01 de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher 02 de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher 02 de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher 02 de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de plomo	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Plomo	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Plomo	DENVER	SUB A-18 SP
	Celda de Flotacion Cleaner 3 de Plomo	DENVER	SUB A-18 SP
	Celda de Flotacion Cleaner 3 de Plomo	DENVER	OK-3R
	Tanque acondicionador de Zinc 01	FIMA	2.0 / 2.0
	Tanque acondicionador de Zinc 02	FIMA	2.0 / 2.0

<b>AREA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>
FLOTACIÓN CELDAS	Celda de Flotacion OK-3 Rougher de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Rougher de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion OK-3 Scavenger de Zinc	OUTOKUMPU	OK-3R
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 1 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 2 de Zinc	DENVER	SUB A-24
	Celda de Flotacion Cleaner 3 de Zinc	DENVER	SUB A-18 SP
	Celda de Flotacion Cleaner 3 de Zinc	DENVER	SUB A-18 SP
	Celda de Flotacion Cleaner 3 de Zinc	DENVER	SUB A-18 SP
	Celda de Flotacion Cleaner 3 de Zinc	DENVER	SUB A-18 SP



El concentrado del primer Scavenger (4 celdas de 3m<sup>3</sup>) será retornado a la alimentación de la celda tanque de Zn mediante una bomba vertical 3½” y el relave pasará a la segunda Scavenger (4 celdas de 3m<sup>3</sup>) cuyo concentrado se unirá con el concentrado de la primera Scavenger y el relave pasará como relave final.

El concentrado de la rougher se alimentará al circuito Cleaner I de Zn (4 celdas Denver N° 24 Sub-A) por gravedad. El concentrado del Cleaner I de Zn se enviará al circuito Cleaner II de Zn (4 celdas N° 24 Sub-A) y el relave del Cleaner I se retornará al cajón de la bomba 6 x 4 por gravedad. El concentrado del Cleaner II alimentará al circuito Cleaner III (02 celdas Denver 18 sp), el relave del Cleaner II alimentará al Cleaner I. El concentrado del Cleaner III se alimentará a la celda columna mediante una bomba vertical 3½” y el relave del Cleaner III, alimentará al Cleaner II. El concentrado de la celda columna pasa por un muestreador automático y finalmente se descarga a un espesador de Zn de 20 pies de diámetro. El relave de la celda columna se junta con el concentrado de la 1ra y 2da Scavenger de Zn.

### **3.3.4 Sección Espesado y filtrado**

El concentrado final proveniente del circuito de flotación plomo plata, se enviara a un espesador de 20 pies de diámetro a través de una bomba; la descarga del espesador (Underflow), se enviara a un tanque pulmón de 4.0m x 4.5m y el rebose del espesador (Overflow), se enviara de retorno a un tanque de agua de flotación de Pb- Ag.

La descarga del tanque pulmón del concentrado Pb-Ag serán enviados a un filtro prensa de 1500 x 1500 mm automático de 21 placas, el cual filtrara el concentrados Pb-Ag, en 12 horas

aproximadamente, la descarga del filtro se enviará a una faja reversible que descargara el concentrado de Pb-Ag , a su stock respectivo.

El concentrado final proveniente del circuito de flotación zinc se enviara a un espesador de 20 pies de diámetro a través de una bomba; la descarga del espesador (Underflow) se enviara a un tanque pulmón de 4.0m x 4.5m y el rebose del espesador (Overflow), se enviara de retorno a un tanque de agua de flotación de zinc.

La descarga del tanque pulmón del concentrado de Zinc serán enviados a un filtro prensa de 1500 x 1500 mm automático de 30 placas, el cual filtrara el concentrado de Zinc, en 12 horas aproximadamente, la descarga del filtro se enviará a una faja reversible que descargara el concentrado de zinc, a su stock respectivo.

### **3.3.5 Sección espesamiento de relave**

El relave proveniente del circuito de flotación de zinc se enviara a un espesador de 50 pies de diámetro; la descarga del espesador (Underflow), se enviara a un tanque pulmón de 12m x 12m, el cual alimentará a una bomba de diafragma que enviará el relave a una cabeza de 400 m y 1950 m. de longitud, donde se encuentra la presa de relaves. El rebose del espesador (Overflow) se enviara al tanque de agua de procesos al igual que el agua recuperada de la presa de relaves.

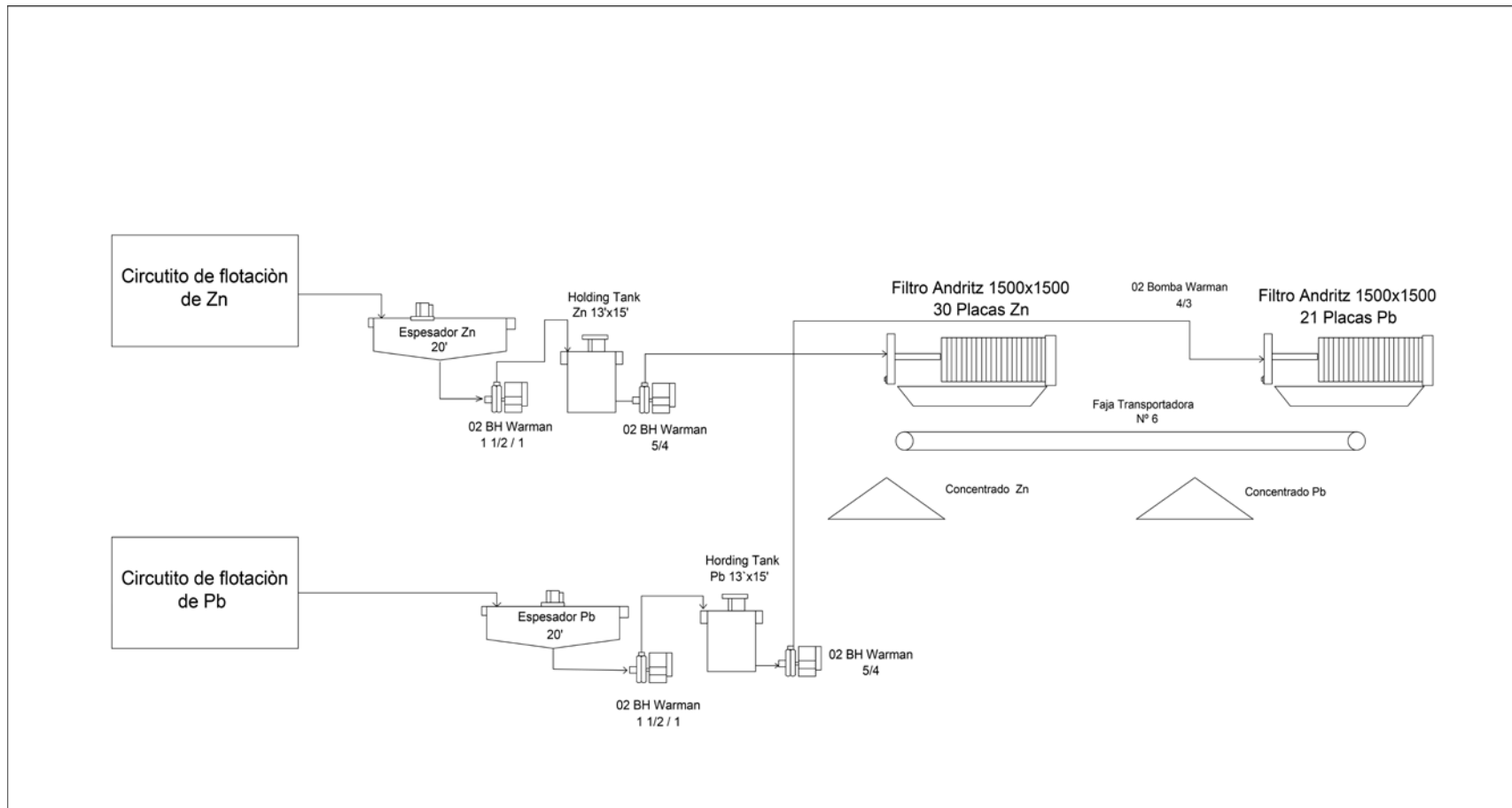


Fig. 3.5 Área de espesado y filtrado

Tabla 3.4 EQUIPO EN EL AREA DE ESPESADOR Y FILTRO

AREA	EQUIPO	MARCA	MODELO	CIRCUITO O UBICACIÓN
CONCENTRADO	Bomba Centrifuga	WARMAN	5 / 4	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	5 / 4	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	5 / 4	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	5 / 4	
	Bomba Centrifuga	WARMAN	1.5 / 1	
	Bomba Centrifuga	WARMAN		
	Bomba Centrifuga	WARMAN	2 / 1.5	
	Bomba Centrifuga	WARMAN		
	Bomba sumidera Zn	VULCO	GALIGHER 1.5 / 36"	
	Bomba sumidera Pb-Ag	VULCO	GALIGHER 1.5 / 36"	
	Holding Tank de Zn / 13' x 15'			
	Holding Tank de Pb-Ag / 13' x 15'			
	Espesador de Pb-Ag			
	Espesador de Zn			
	Bomba Centrifuga	HIDROSTAL	EQ BOMBA 40-160-DHE-C385-1R	Pb - Ag
	Bomba Centrifuga	HIDROSTAL	EQ BOMBA 40-160-DHE-C385-1R	Pb - Ag
	Bomba Centrifuga	HIDROSTAL	EQ BOMBA 40-160-DHE-CS-1R	Zinc
Bomba Centrifuga	HIDROSTAL	EQ BOMBA 40-160-DHE-CS-1R	Zinc	
FILTRO	Filtro Prensa	ANDRITZ	21 PLACAS	
	Faja Transportadora reversible N°6	CEMPROTECH	24" X 17.40	
	Compresora Sullair N°1	SULLAIR		
	Compresora Sullair N°2	SULLAIR		
	Tanque Pulmon de aire N°1	SULLAIR		
	Tanque Pulmon de aire N°2			
	Tanque Pulmon de aire N°3			
	Bomba sumidero	VULCO	GALIGHER 1.5 / 36"	
Puente grúa	DEMAG	5 TON		

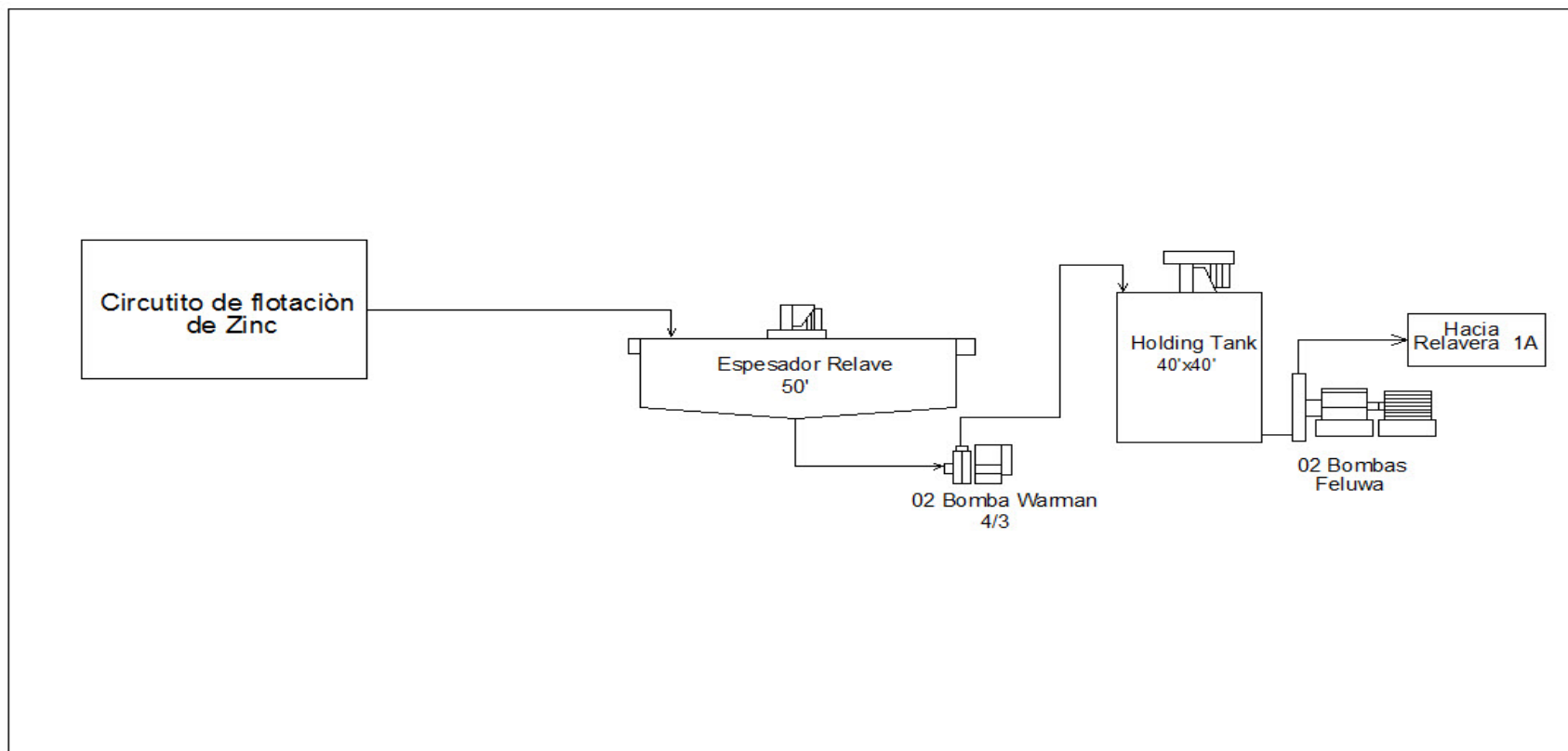


Fig. 3.6 Área de espesador de relave y bomba de relave

**Tabla 3.5 EQUIPO EN EL AREA DE ESPESADOR DE RELAVE Y BOMBA FELUWA**

<b>AREA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>CIRCUITO O UBICACIÓN</b>
ESPEADOR DE RELAVE	Bomba Centrífuga	WARMAN	4 / 3	
	Bomba Centrífuga	WARMAN	4 / 3	
	Bomba Centrífuga			
	Bomba Centrífuga			
	Espeador de 50´			
	Holding Tank 40´x 40´			
	Bomba sumidera N°1	VULCO	GALIGHER 2.5" x 48"	ESPEADOR DE 50´
CASA DE BOMBAS	Bomba Feluwa N°1	FELUWA		
	Bomba Feluwa N°2	FELUWA		
	Puente grúa	DEMAG	3.2 TON	
	Tanque pulmon	SULLAIR		
	Bomba sumidera N°2	VULCO	GALIGHER 1.5 / 36"	BOMBAS FELUWA
	Bomba sumidera N°3			
	Bomba inmersible N°1	VULCO	GALIGHER 2.5" x 48"	POZA DE CONTINGENCIA

## CAPITULO IV

### AUTOMATIZACIÓN DEL MOLINO

#### 4.1 Parámetros Operativos

Se tiene que tener presente los parámetros operativos en la operación del molino ya que depende de la calidad de la molienda, dentro de los principales parámetros encontrados tenemos:

- **Control de ingreso del mineral:** Este control lo realiza el operador y lo establece según los rpm de las fajas alimentadoras. Cuando el mineral viene fino el tonelaje que pasa es mayor, pero cuando el mineral viene grueso tiende a bajar. Esta observación se corrige cuando el molinero se encuentra cerca de la faja y nota anomalías.
- **Ingreso de agua:** El ingreso de agua en la alimentación del mineral, como en la descarga del molino son parámetros para controlar la densidad y el % de malla. El ingreso de agua en el molino es muy variable debido a que el operador tiene que observar la granulometría del mineral entrante y la densidad del hidrociclón, variando según como se opere en el circuito de flotación. El agua que ingresa al molino proviene de un tanque de agua, que tiene que estar a una altura para que llegue a presión al área de molienda.
- **Rebose del tanque de descarga:** El mineral que llega al cajón de descarga se tiene que mantener en un nivel que se encuentre por encima de la boca de succión de la bomba y por debajo del límite superior del cajón de descarga, si no se logra controlar, observaremos que la carga se derrama y ensucia el ambiente de trabajo y si baja hasta la boca de la bomba, la flotación no es constante.

- **Cavitación de Bomba de Descarga:** Cuando existe deficiencia en la alimentación de mineral y la alimentación del agua, el nivel de la pulpa en el cajón de descarga tiende a bajar hasta la boca de succión de la bomba, originándose cavitación. Este problema se presenta cuando los Hz de la bomba supera la capacidad que ingresa al cajón de descarga.
- **Densidad de Pulpa Variable:** La densidad depende del mineral y agua que ingresa al molino en los respectivos puntos. Pero el mineral y agua tienden a variar por falta de control, esto no permanecerá constante.
- **Presión de llegada al Hidrociclón:** La presión con que trabaja tiene que ser mayor de 11 Psi para que obtener una buena clasificación. En los ciclones el operador debe estar observando que estén en buenas condiciones el Vortex y Apex, ya que este es un factor para una mala malla y el aumento de la carga circulante en el molino.

#### 4.2 Operación del Molino:

El responsable del control de los parámetros es el operador del molino que trabaja en un turno de 12 horas, habiendo dos turnos por día. La operación es totalmente manual y los parámetros de operación se establecían según el conocimiento del operador.



Fig. 4.1 Molino en operación



#### **4.2.1 Arranque del Molino**

El proceso de arranque del molino comienza lubricando las chumaceras manualmente. Se procede a prender el sistema de lubricación Belt-Ray, que lubrica cada 20 min.

Luego se procede a ingresar agua al molino para evitar el desgaste de las bolas con el forro del molino produciéndose una cama amortiguadora contra el impacto, seguidamente se prende la bomba del cajón de descarga para evitar que el agua se rebalse del cajón, seguidamente observar que ningún personal se encuentre trabajando o este cerca del molino, seguidamente se arranca el motor del molino, observando que el motor agarre fuerza al comienzo y gire, luego procedemos a la alimentación del mineral. Encendiendo la faja transportadora 5, seguidamente faja transportadora N° 4, terminando con el feeder 3 o 4.

#### **4.2.2 Parada del Molino**

En la parada del molino primero debo parar el feeder 3 o 4 dependiendo con cual se trabaje, después paro la faja transportadora 4, terminando de parar la faja transportadora N° 5, se hace esta secuencia para que no quede mineral en las fajas. Una vez terminada esta acción se procede a cerrar el agua en la alimentación al molino y esperamos 15 minutos para que el mineral sea molido y clasificado a flotación, quedando solamente bolas y agua.

Seguidamente se procede apagar el motor del molino para detener el molino. El agua que ingresa al cajón de descarga se cierra y se procede apagar la bomba del cajón de descarga.

### **4.2.3 Carga de Molino**

En esta zona se encuentran enclavadas las fajas que transportan el mineral al molino. Primeramente se tiene que arrancar la faja transportadora N° 5 que dará pase para arrancar la faja transportadora N° 4 y esta a su vez da paso para arrancar la faja alimentadora N° 3 o N° 4 dependiendo de la carga que se encuentre en la tolva.

La alimentación de la carga se activa mediante botoneras que se encuentran en el CCM (Centro de Control de Motores), y campo y que es controlado el tonelaje por una balanza Nuclear de la marca Belt-Way, en esta balanza se encuentra un indicador donde se observa el tonelaje pasado por hora y el tonelaje acumulado en este tiempo. La forma de controlar el tonelaje de entrada, el operador tiene que acercarse al CCM (Centro de Control de Motores) y regular mediante los Hz del motor.

La alimentación del agua depende del ingreso del mineral, densidad y porcentaje de malla del O/F del ciclón. Mientras más agua se adicione al molino, el tiempo de residencia del mineral será menor y no se molerá, pero si el ingreso del agua al molino es poco, el tiempo de residencia será mayor y tendremos un mineral más molido.

En cuanto a la seguridad, este sistema de fajas solo presenta Pull Cords en todas las fajas y se encuentran enclavadas secuencialmente, tal como se explicó anteriormente. Aparte de eso cada faja cuenta con un botón de emergencia que se encuentra en el panel de accionamiento de fajas.

#### 4.2.4. Descarga del Molino

En este punto se observa que la densidad de descarga del molino es de 2300 gr/lit. Se tendrá que alimentar agua al cajón de descarga para obtener una buena clasificación en el hidrociclón que el operador podrá controlar con la densidad del O/F del ciclón. Ya que si la densidad de O/F es mayor a 1300 quiere decir que no se está adicionando agua a la descarga del molino, teniendo material grueso en la malla, pero si la densidad del O/F es menor a 1300 quiere decir que se está adicionando agua en cantidad clasificando material fino en la malla.

Los Hz que trabaja la bomba sirve para tener una buena clasificación, si la presión que llega al hidrociclón es mínima, no habrá una buena separación entre los finos y gruesos, teniendo una densidad y una malla fuera de los parámetros establecidos.



Fig. 4.2 Cajón distribuidor en la descarga del molino 8'x10'

### 4.3 Control del área de molienda.

De acuerdo al análisis del sistema se elaboró el control que se uso en el área de molienda.

#### 4.3.1 Control de fajas

El control de las fajas es muy importante, en la alimentación del mineral al molino y en la secuencia de enclavamiento de las fajas en el arranque y en su modo de trabajo en manual y automático.

La secuencia de enclavamiento es encender la faja transportadora N° 5, luego la faja transportadora N° 4 para después arrancar la faja alimentadora N° 4 o N° 5 dependiendo del mineral que se encuentre en la tolva.

Además se cuenta con una balanza nuclear Belt-Way ubicada en la faja transportadora N° 5 que trabajaría como indicador. El actuador final sería el variador del motor de la faja, que aumentara o disminuirá la velocidad de la faja según como se setee en el controlador.



Fig. 4.3 Faja transportadora en movimiento

### 4.3.2 Control de Ingreso de Agua

El ingreso de agua se realiza mediante una tubería de 2.5 pulg., en este sistema se montara una válvula de accionamiento neumática del tipo mariposa desde el cual se podrá regular el porcentaje de apertura programado en el controlador, cuyo indicador de flujo de agua es un caudalímetro electromagnético.

En este punto de alimentación del mineral obedece a una relación sólido/liquido que servirá para optimizar la molienda, conforme ingresa mineral al molino la relación programada en el controlador hará accionar una válvula, alimentando o minimizando agua al sistema.

Tabla 4.1 Datos del molinero relación mineral agua

<b>MINERAL (TMP)</b>	<b>AGUA (m3/hr)</b>	<b>DENSIDAD (gr/lt)</b>	<b>RELACION S/L</b>
21,30	10,8	2368	1,97
20,80	10,7	2350	1,94
21,20	11,3	2340	1,88
21,00	11,2	2346	1,88
20,90	10,9	2359	1,92
21,50	11,1	2345	1,94
21,20	11	2337	1,93
20,90	11	2342	1,90
21,10	10,9	2350	1,94
21,00	10,8	2340	1,94
21,50	11,3	2360	1,90
21,40	11,2	2320	1,91
20,80	10,5	2335	1,98
21,10	10,7	2342	1,97
20,90	11,1	2331	1,88
21,30	11	2345	1,94
21,20	11,2	2337	1,89
20,90	11	2345	1,90

La densidad con que debe trabajar el hidrociclón es un factor muy importante, para eso tenemos un densímetro nuclear de la marca MITRAC 31 que se indica a que densidad trabaja el hidrociclón, de esta forma enviara una señal al controlador accionando una válvula neumática tipo mariposa.



Fig. 4.4 Entrada de agua en la alimentación de mineral al molino

### 4.3.3 Control de Nivel en cajón de descarga

En la descarga del molino de bolas se encuentran muchos parámetros a controlar, como el nivel de los cajones y la densidad con que va a trabajar el hidrociclón D-10.

Para el control del nivel del cajón tenemos el indicador de presión y el indicador de nivel del cajón de descarga, que es un sensor de nivel de tipo radar, cuyo objetivo es mandar la señal al controlador para regular el variador, aumentando o disminuyendo la velocidad del motor de la bomba. Si el nivel esta alto, el variador aumentará los Hz de la bomba de tal forma que no se derrame la carga fuera del cajón de descarga, cuando el nivel está cercano a la boca de succión de la bomba el variador disminuirá Hz de tal forma que la bomba no cavite. En este punto el indicador de presión juega un papel importante, ya que enviará una señal al controlador indicando que no se baje los Hz de un valor determinado teniendo una presión mayor a 11 Psi.



Fig. 4.5 Cajón de descarga del molino 8x10

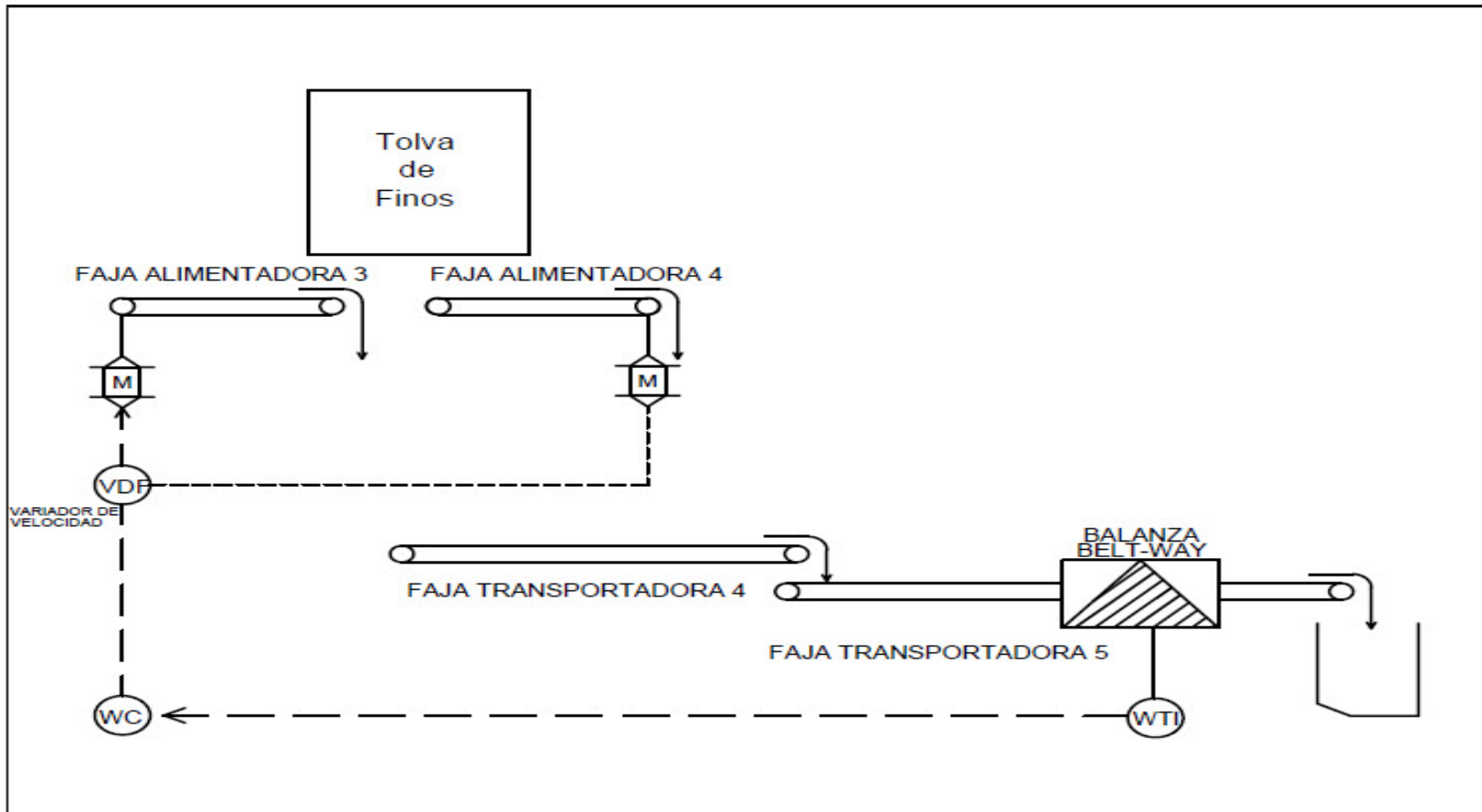
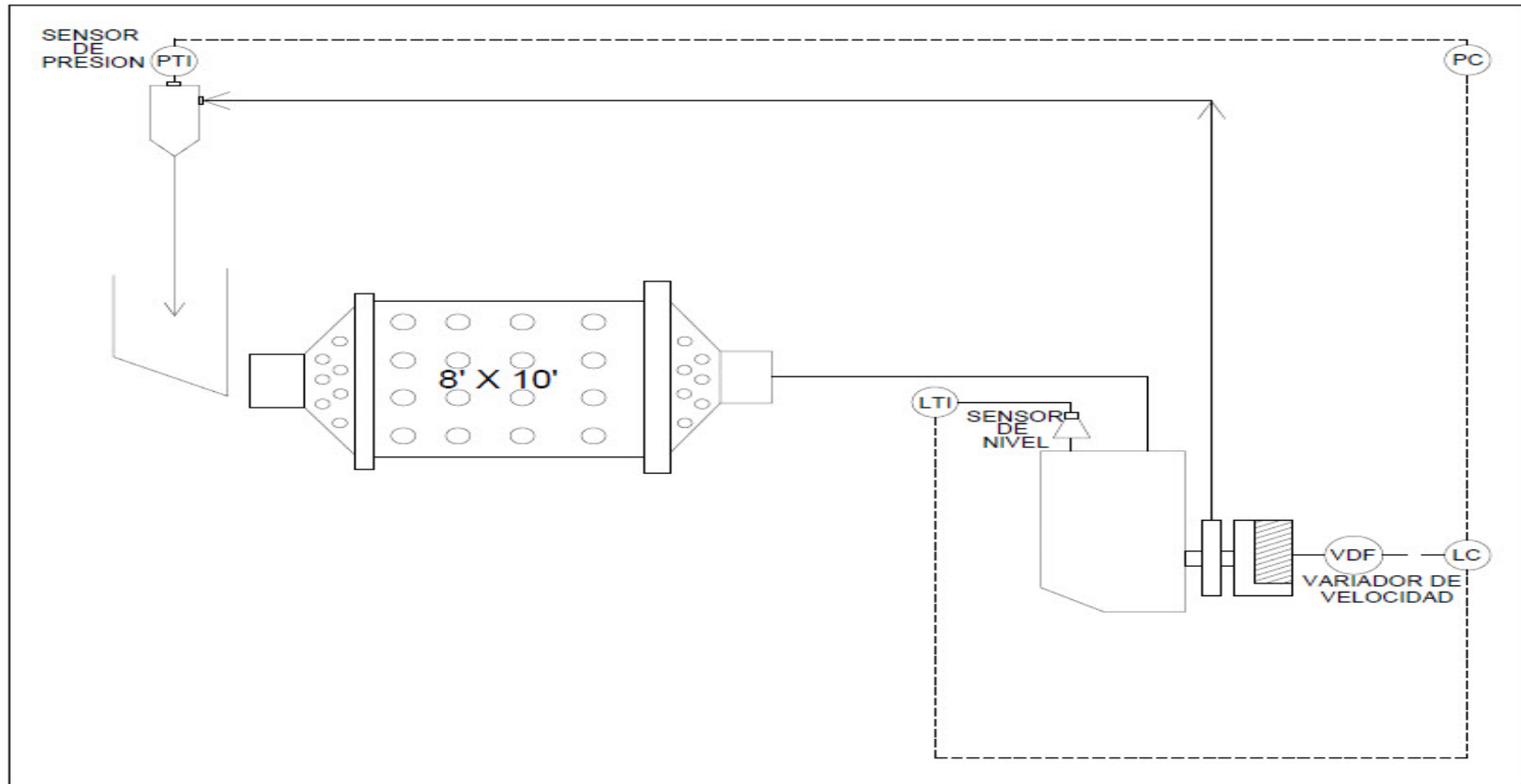
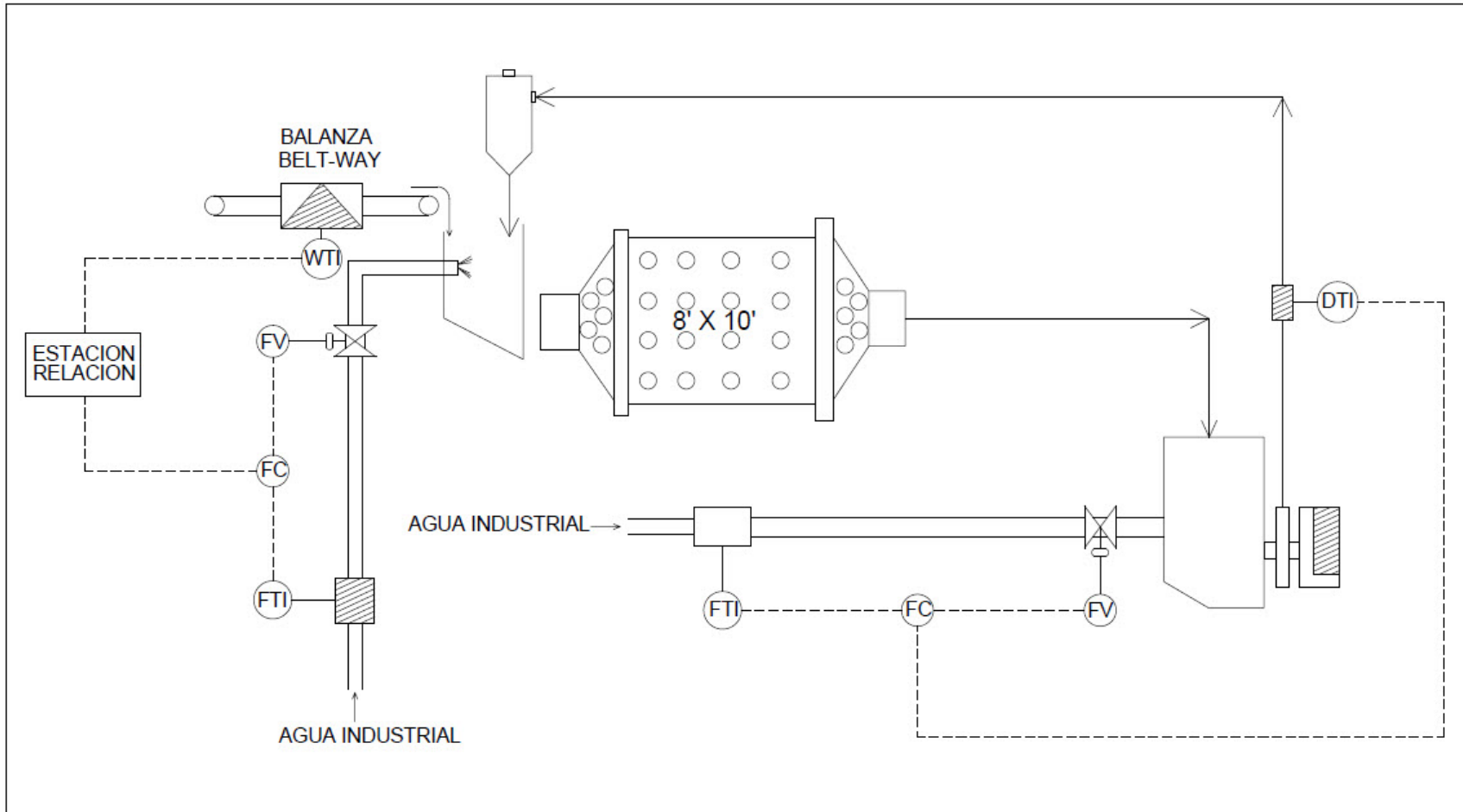


Fig. 4.6 Estrategia de control de fajas alimentadoras





**Fig. 4.7** Estrategia de control del cajón de descarga del molino



**Fig. 4.8 Estrategia de control de alimentación de agua**

**Tabla 4.2 ESTRATEGIAS DE CONTROL**

<b>EQUIPO</b>	<b>ESTRATEGIAS DE CONTROL</b>	<b>MODOS DE CONTROL</b>	<b>VARIABLES CONTROLADAS</b>	<b>VARIABLES MANIPULADAS</b>	<b>TIPO DE VALVULA</b>	<b>TIPO DE ACCION</b>	<b>EN CASO DE FALLA DE AIRE</b>
Peso en la faja transportadora N°5	Feed Back WC	P,I	Peso seteado en la faja transportadora N°5	Velocidad en las fajas alimentadoras N°3 y N°4	No hay valvula, actua sobre un variador de frecuencia	Accion Inversa, cuando el peso baja el variador aumenta su frecuencia	No actua valvula
Alimentacion de agua y mineral	Relacion, Feed back FC	P,I	Se setea una relacion mineral/agua para controlar agua al ingreso del molino	Se acciona el actuador dependiendo del ingreso del mineral	Mariposa	Accion directa, Mientras mas mineral entra, la valvula de agua se abre	Air to Open
Alimentacion de agua al cajon de descarga	Feed Back FC	P,I	Se controla el ingreso de agua dependiendo de la densidad que llega la pulpa al ciclon	se acciona el actuador dependiendo de la densidad seteada	Mariposa	Accion directa, Mientras mas densidad entra al ciclon, la valvula de agua se abre, para reducirlo al valor seteado	Air to Open
Nivel del cajon de descarga	Feed Back LC	P,I	Se controla el nivel del cajon de descarga, no sobrepasando se del limite de cajon y para no cavitara la bomba	Velocidad en el motor que recircula al hidrociclon del molino	No hay valvula, actua sobre un variador de frecuencia	Accion inversa, cuando el nivel esta bajo tiende a disminuir la frecuencia del motor para ,antener en el valor seteado	No actua valvula

## CAPITULO V

### INSTRUMENTOS DE AUTOMATIZACION

#### 5.1. Válvula Mariposa

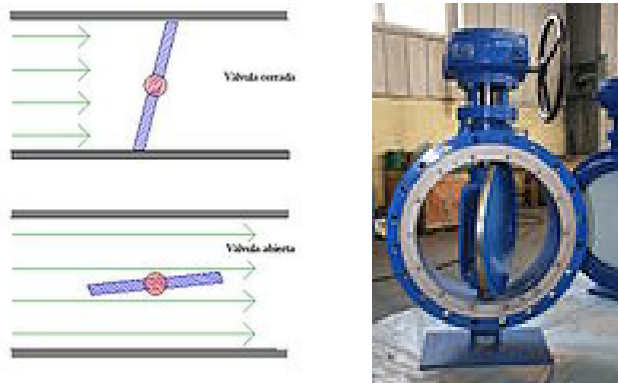


Fig. 5.1 Válvula mariposa

Una válvula de mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada «mariposa», que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.

En el ámbito de las válvulas para uso en hidráulica, se distinguen por las siguientes características:

Están en todos los casos contenidas al interior de la tubería; Tienen una baja pérdida de carga cuando están totalmente abiertas.

La relación entre el área de paso y el ángulo de giro de la mariposa no es lineal.

Son utilizadas en conductos de aire, tuberías para líquidos y en aplicaciones mecánicas, como en algunos tipos de motores térmicos.

Hay que distinguir básicamente dos tipos de válvulas de mariposa:

Válvulas de mariposa de eje centrado.

Válvulas de mariposa de eje descentrado.

Las de eje centrado tienen el cuerpo totalmente recubierto de un elastómero, normalmente EPDM y tienen la ventaja que éste está protegido ante la posible corrosión del fluido vehiculado, además de ser bidireccionales.

Las de eje descentrado se utilizan sobre todo en industria petroquímica puesto que para servicios de agua convencionales no están recomendadas. Sin embargo pueden hacer cierres con seguridad fuego (metal-metal) o utilizarse en servicios de regasificación (-200 °C), estas necesidades con las de eje centrado no se pueden cubrir.

## 5.2. Actuador



Fig. 5.2 Actuador Neumático

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Existen varios tipos de actuadores como son:

Electrónicos

Hidráulicos

Neumáticos

Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

### **5.2.1 Actuadores neumáticos**

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.

### 5.2.2 Partes de un actuador

Dentro de las partes de un actuador se encuentra:

**Sistema de "llave de seguridad":** Este método de llave de seguridad para la retención de las tapas del actuador, usa una cinta cilíndrica flexible de acero inoxidable en una ranura de deslizamiento labrada a máquina. Esto elimina la concentración de esfuerzos causados por cargas centradas en los tornillos de las tapas y helicoils. Las llaves de seguridad incrementan de gran forma la fuerza del ensamblado del actuador y proveen un cierre de seguridad contra desacoplamiento peligrosos.

**Piñón con ranura:** Esta ranura en la parte superior del piñón provee una transmisión autocentrante, directa para indicadores de posición e interruptores de posición, eliminando el uso de bridas de acoplamiento. (Bajo la norma Namur).

**Cojinetes de empalme:** Estos cojinetes de empalme barrenados y enroscados sirven para simplificar el acoplamiento de accesorios a montar en la parte superior. (Bajo normas ISO 5211 Y VDI).

**Pase de aire grande:** Los conductos internos para el pasaje de aire extra grandes permiten una operación rápida y evita el bloqueo de los mismos.

**Muñoneras:** Una muñonera de nuevo diseño y de máxima duración, permanentemente lubricada, resistente a la corrosión y de fácil reemplazo, extiende la vida del actuador en las aplicaciones más severas.

**Construcción:** Se debe proveer fuerza máxima contra abolladuras, choques y fatiga. Su piñón y cremallera debe ser de gran calibre, debe ser labrado con maquinaria de alta precisión, y elimina el juego para poder obtener posiciones precisas.

**Ceramigard:** Superficie fuerte, resistente a la corrosión, parecida a cerámica. Protege todas las partes del actuador contra desgaste y corrosión.

**Revestimiento:** Un revestimiento doble, para proveer extra protección contra ambientes agresivos.

**Acople:** Acople o desacople de módulos de reposición por resorte, o de seguridad en caso de falla de presión de aire.

**Tornillos de ajuste de carrera:** Provee ajustes para la rotación del piñón en ambas direcciones de viaje; lo que es esencial para toda válvula de cuarto de vuelta.

**Muñoneras radiales y de carga del piñón:** Muñoneras reemplazables que protegen contra cargas verticales. Muñoneras radiales soportan toda carga radial.

**Sellos del piñón - superior e inferior:** Los sellos del piñón están posicionados para minimizar todo hueco posible, para proteger contra la corrosión.



**Resortes indestructibles de seguridad en caso de falla:** Estos resortes son diseñados y fabricados para nunca fallar y posteriormente son protegidos contra la corrosión. Los resortes son clasificados y asignados de forma particular para compensar la pérdida de memoria a la cual está sujeta todo resorte; para una verdadera confianza en caso de falla en el suministro de aire.

### 5.3. Balanza para Faja transportadora

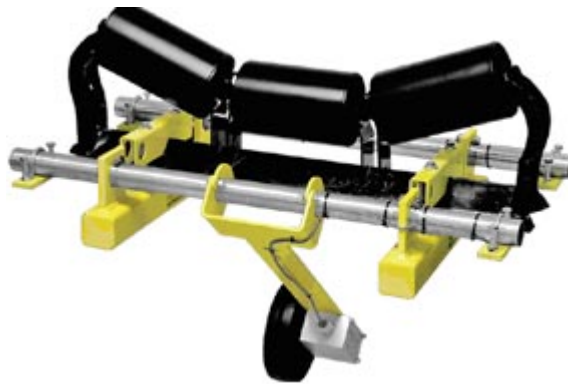


Fig. 5.3 Balanza para Faja Transportadora

Balanzas para Fajas Transportadoras Belt – Way son:

- Adaptable a cualquier modelo de faja.
- Fácil de instalar.
- Larga duración.
- Fácil de calibrar.
- Máxima precisión.
- Confiable.

### **5.3.1 Características**

#### **a) Se adapta fácilmente a cualquier ancho de faja**

La balanza modular BELT-WAY tiene un diseño simple y versátil que se instala fácilmente con cualquier ancho de faja transportadora.

#### **b) Fácil instalación y calibración**

La balanza BELT-WAY se instala rápidamente en cualquier modelo de faja en instalaciones fijas o portátiles. Se calibra estáticamente, simplemente presionando una tecla o con material pre-pesado.

#### **c) Precisión**

El conjunto sensor de BELT-WAY incorpora celdas de carga de máxima calidad aprobadas por OIML. El margen de error en una balanza simple está alrededor del 0.5% y puede mejorarse considerablemente con nuestro sistema DUAL hasta alcanzar un 0.25%

Estos márgenes están considerados con cargas del 25% al 100% de la capacidad y siguiendo las instrucciones del manual del fabricante para la instalación.

#### **d) Electrónica avanzada a prueba de agua**

El integrador (caja de control) BELT-WAY incorpora microprocesadores de avanzada mostrando información detallada en su Display de 4 líneas y 20 caracteres de tipo fluorescente. La cubierta con protección NEMA-4X asegura excelente protección EMI/RF. La alimentación estándar es

110/220VAC o 12/24VDC. Hay disponible una amplia gama de opciones que incluyen control de pulsos, Serial Modbus RTU o Modbus TCP.

**e) Monitoreando su producción - Almacenamiento de Datos**

El integrador BELT-WAY incorpora un puerto Serial RS-232 que permite comunicación con impresoras, pantallas remotas, computadoras u otros dispositivos seriales.

Incluye igualmente comunicación de RED para computadoras o visores remotos. El software BELT-WAY Data Collection posibilita el monitoreo local o por internet.

Hay disponibles versiones para comunicación inalámbrica Modbus Serial RTU, Modbus TCP.

### **5.3.2 OPCIONES DISPONIBLES**

**a) Data Logger FLASH compacto**

Con esta opción podemos recolectar data de operación en una tarjeta FLASH compacta para ser posteriormente transferida fácilmente a su sistema.

**b) Software para control de producción**

Supervise su producción por red local o vía internet.

**c) Estación de arranque-parada**

Permite parar el sistema de faja cuando se alcanza un peso pre-fijado para automatizar sus procesos de producción.

#### d) **Compensación automática del ángulo**

Este dispositivo opcional evita la necesidad de recalibrar su sistema cuando es necesario variar el ángulo de operación de la faja. Adaptable a cualquier modelo fijo o portátil.

### 5.4. DENSIMETRO



Fig. 5.4 Densímetro Nuclear

El equipo es adecuado para aplicaciones en líquidos así como sólidos a granel en depósitos bajo condiciones difíciles de proceso. Las posibilidades de aplicación se encuentran en casi todos los sectores industriales.

El valor de medición es detectado sin contacto, a través de la pared del depósito. Usted no necesita ninguna conexión a proceso y ninguna abertura del depósito. El equipo es por lo tanto ideal para la instalación posterior.

El equipo tiene múltiples posibilidades de aplicación. Aparte de las aplicaciones principales tales como medición de densidad y detección de nivel límite el MINITRAC 31 también puede detectar cantidades residuales y el flujo másico en combinación con un flujómetro.

- 1 Medida de nivel - Detección de cantidad residual
- 2 Detección de nivel
- 3 Medición de densidad
- 4 Medición de caudal

Otras posibilidades de aplicación son además el empleo como alarma contra radiación externa o como corrección de valor real.

Si se ha seleccionado alarma contra radiación externa, el equipo detecta la radiación de fuentes externas de radiación. Posibles fuentes externas de radiación pueden ser por ejemplo. una prueba de costura de soldadura en un equipo vecino u otros equipos radiométricos.

Si el equipo trabaja como corrección de valor real, el mismo transmite un valor real, para corregir otro sensor radiométrico. De esta forma se puede adaptar la medición exactamente a las condiciones en el depósito.

#### **5.4.1 Principio de funcionamiento**

En caso de medición radiométrica un isótopo de cesio-137- o cobalto-60 emite una radiación gamma concentrada, que se debilita durante la penetración de una pared de tubería y el medio. El detector de NaI del lado opuesto de una tubería p. Ej., recibe la radiación entrante. La intensidad de la radiación depende de la densidad del producto de medición. El principio de medición se ha acreditado en condiciones de proceso extremas, porque mide sin contacto desde el exterior a través de la pared de la tubería. El sistema de medición garantiza máxima seguridad, fiabilidad y

disponibilidad de la instalación, independiente mente del medio y sus propiedades.

### 5.5. CAUDALIMETRO - PROCESS MASTER



**Fig. 5.5 Caudalimetro Electrónico**

El caudalimetro ha sido desarrollado teniendo especialmente las exigencias cada vez más fuertes sobre los caudalímetros modernos. El concepto de equipo modular proporciona flexibilidad, una operación económica y una gran flexibilidad así como una mayor vida útil y menos tareas de mantenimiento.

Con la integración en los sistemas de Asset Management de ABB y el uso de funciones de autorregulación y diagnóstico se aumenta la disponibilidad de las instalaciones y se disminuyen los períodos de inactividad.

#### **5.4.1 Funciones modernas de diagnóstico**

Las funciones modernas de diagnóstico controlan la funcionabilidad del equipo y simplifican los procesos técnicos.

Los valores límite de los parámetros de diagnóstico se pueden ajustar in situ. Si se sobrepasan estos valores límite se emite una alarma.

Para continuar con el análisis, los datos de diagnóstico se pueden leer a través de una interfaz de infrarrojos. Los estados críticos se pueden reconocer a tiempo y se pueden tomar las contramedidas necesarias.

Esto posibilita una mayor productividad y evita períodos de inactividad.

Los mensajes de estado se clasifican de conformidad con los requisitos de NAMUR.

En caso de error en el display aparecerá un texto de ayuda que depende del diagnóstico que simplifica y acelera considerablemente la resolución de problemas. Es toda una seguridad máxima en el proceso.

#### **5.4.2 Gran superioridad y fiabilidad**

Los electrodos de medición, que se limpian automáticamente y que van pulidos y hermetizados al doble aumentan la fiabilidad y el rendimiento del aparato.

La elevada frecuencia de excitación del transductor hace que el tiempo de reacción del caudalímetro ProcessMaster sea rápido. Los métodos de filtración modernos, los cuales separan la señal de medición de la señal de perturbación posibilitan también en condiciones difíciles una medición exacta con una precisión máxima (error máximo de medición de un 0,2 %).

### **5.4.3 Funcionamiento sencillo y rápido**

Gracias a la tecnología punta de memoria en el transductor la comprobación de la asignación del transductor y del convertidor de medición es innecesaria. Gracias a la incorporación del SensorMemory el convertidor de medición reconoce el transductor automáticamente. Después de conectar la energía auxiliar el convertidor de medición ejecuta una configuración automática. Los datos del transductor y los parámetros específicos del punto de medición se cargan automáticamente. Los errores se eliminan de tal manera que la puesta en funcionamiento se realiza con mayor rapidez y facilidad.

### **5.4.4 Proporciona una gran seguridad**

La modificación de los parámetros preajustados en fábrica se realiza a través del display sencillo y los botones sin contacto de manera rápida y sencilla. Todo ello sin tener que abrir la carcasa. La función de "Easy Set-up" guiará a aquellos usuarios sin experiencia a través de la configuración paso a paso con gran seguridad.

La función de la softkey simplifica el manejo, el cual se realiza como el de un teléfono móvil moderno. En la configuración se muestra el área de ajuste permitida del parámetro correspondiente y se rechazan las entradas no admisibles.

### **5.4.5 Convertidor de medición universal - potente y flexible**

El display con iluminación de fondo se puede girar sin necesidad de usar herramientas adicionales. El contraste se puede ajustar y la visualización es completamente configurable. El tamaño de los signos, la cantidad de las líneas y la resolución del display (decimales) son ajustables. En el modo



Multiplex se pueden preconfigurar diferentes representaciones del display que se pueden consultar consecutivamente.

Gracias a la construcción inteligente del módulo de la unidad enchufable del convertidor de medición, éste se puede desmontar fácilmente sin desatornillar los cables o retirar los conectores.

Ya sean los impulso de recuento activos o pasivos, 20mA activos o pasivos, la salida del estado activa o pasiva, el convertidor de medición siempre ofrece la señal correcta. El protocolo HART es estándar.

Este convertidor de medición universal simplifica la existencia de piezas de recambio y los costes de almacenaje.

## 5.6. SENSOR DE NIVEL DE RADAR



**Fig. 5.6 Sensor de Nivel**

Medición sin contacto bajo condiciones de proceso difíciles

### **5.5.1 Principio de medida**

Impulsos de microonda extremadamente cortos son emitidos por el sistema de antena hacia el producto, reflejados por la superficie y captados de nuevo por el sistema de antena. Se propagan a la velocidad de la luz y el tiempo desde la emisión hasta la recepción de la señal es proporcional al nivel en el depósito. Un procedimiento especial de prolongación del tiempo proporciona una medición precisa y segura de los tiempos extremadamente cortos. Los sensores radar emiten en las bandas de frecuencia C y K con muy baja potencia.

El probado sistema de procesamiento de señales ECHOFOX selecciona de una forma fiable el eco del nivel correcto de entre varios ecos falsos. No es necesario ajustar el equipo llenando y vaciando el tanque.

### **5.5.2 Aplicaciones en líquidos**

Dos frecuencias de emisión están disponibles para estas aplicaciones.

Los sensores compactos de alta frecuencia (banda K) VEGAPULS 61, 62 y 63 son apropiados para aplicaciones que requieren gran precisión. Incluso con antenas pequeñas, se consigue una excelente focalización. Los equipos de baja frecuencia (banda C) VEGAPULS 65 y 66 pueden traspasar la espuma y las fuertes condensaciones siendo especialmente adecuados para condiciones de proceso difíciles.

Independientemente de la generación de vapor, gases, cambios en la presión y la temperatura los equipos detectan el nivel de una forma fiable.

### **5.5.3 Aplicaciones en sólidos**

Los equipos de alta frecuencia VEGAPULS 67 y 68 que emiten en banda K se usan para este tipo de aplicaciones. Gracias a su buena focalización, la influencia de los elementos instalados en el silo o las adherencias en la

pared son descartadas. Una electrónica de alta sensibilidad adaptada a los requisitos de la medición en sólidos, posibilita la medición fiable de diferentes productos hasta 75 m. El principio de medición no se ve afectado por la fuerte generación de polvo, ruido durante el llenado, turbulencias por llenado neumático y fluctuaciones de la temperatura. El área de aplicación cubre aplicaciones en la industria de la alimentación y el procesamiento de plásticos hasta la generación de metal y el procesamiento de rocas y minerales.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. El control de fajas es una estrategia de control importante porque permite una alimentación constante del mineral, optimizando el proceso de molienda; Ya que el ingreso de mineral es variable, presentándose mineral grueso y fino en ciertos tiempos.
2. La relación mineral/agua depende de la granulometría de ingreso del mineral, teniendo una relación mayor cuando el mineral esta grueso, permitiendo más tiempo de residencia en el mineral; y una relación menor cuando el mineral esta fino, permitiendo menos tiempo de residencia en el mineral.
3. La operación del molino se puede realizar en modo eléctrico, sin uso del PLC y el sistema de supervisión, y en modo automático. Todo enclavamiento a sistemas de seguridad responde aun en automático.
4. En la clasificación con hidrociclón, debemos tener presente la presión de clasificación sin descuidarnos de la bomba del cajón de descarga, ya que originaría cavitación de la bomba.
5. Se requiere mantenimiento de los instrumentos de medición y controladores de los lazos de control; caso contrario tendríamos variación de medidas y desviación del control.

## **CAPITULO VII**

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Tecsup Virtual. “Concentración de Minerales-Molienda”  
Convenio de Cooperación Técnica Tecsup/BID .  
Pag. 4 – 17.
2. Tecsup Virtual. “Concentración de Minerales-Flotación”  
Convenio de Cooperación Técnica Tecsup/BID .  
Pag. 1 – 16.
3. Paredes Malca Mario Antonio. “Circuito Convencional de Molienda y Clasificación. Ajuste de lazos de Control de primer orden usando modelos empíricos una aplicación en sistemas de control automático”.  
Pag. 160 – 177
4. Hidalgo Osorio Edwin Gustavo. “Automatización e Implementación de un Sistema HMI/SCADA para el MONITOREO DE VARIABLES DEL PROCESO DEL MOLINO DE PAPEL”  
Pag. 45 – 51
5. Vildosola Eugenio “ ACTUADORES: DEFINICON Y TIPOS”.  
[OnLine]. [www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf](http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf)]