

## **SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN CONTINUA POR PESO**

### *UTILIZACION EN EL MANEJO DE POLVOS Y MATERIALES SOLIDOS TRANSPORTADOS A GRANEL.*

**Resumen:** *Con el advenimiento de nuevos materiales y sistemas de control digital de bajo costo, los sistemas de dosificación por correas transportadoras accionadas por motores de CA y lazos de control propio, permitirán poner al alcance de numerosos usuarios potenciales equipos de alta exactitud en variadas aplicaciones de pesaje dosificado.*

#### **Indice:**

- 1. Introducción.**
- 2. Presentación de algunas variables de diseño.**
- 3. Consideraciones sobre flujos de sólidos.**
- 4. Alimentadores en general.**
- 5. Control del flujo.**
- 6. Algunas aplicaciones.**

#### **1. Introducción.**

Los Alimentadores o Dosificadores juegan un rol de importancia en numerosas aplicaciones industriales, en las cuales se requiere automatizar la dosificación de materiales hacia procesos productivos.

Por otro lado, las actuales tendencias industriales consideran de suma importancia la exacta medida de los componentes de los productos finales de materiales tales como el Cemento, Alimentos para Animales, Cerámicas, Aceros, etc., de tal manera de resolver sobre la calidad en el instante inicial del proceso productivo.

Los Alimentadores Pesométricos , diseñados adecuadamente para la aplicación son la mejor solución de dosificación, la mas exacta y de bajo costo, considerando que en general estos equipos tienen una alta disponibilidad.

Las actuales sistemas de accionamiento en CA, han permitido estandarizar dichos componentes, y utilizar toda la enorme gama de aplicaciones para las cuales pueden ser configurados. Los controladores del tipo PID, reducidos a programas de facil configuración, ajuste y operación, han reducido al mínimo, los riesgos inherentes a los lazos de control realimentados.

Algunos sistemas de alimentación pueden presentar deficiencias y problemas en el flujo de los materiales, lo cual puede deberse a alguno de los siguientes aspectos.

- i) Diseño no adecuado de la Tolva o Buzón, lo cual puede deberse a falta de información sobre las propiedades del material en lo que respecta a sus propiedades mecánicas.
- ii) Poco conocimiento con el equipo Alimentador en lo que respecta a su funcionalidad.
- iii) Aplicación no adecuada para el equipo.
- iv) Selección no adecuada del tipo de equipo, lo que redundará en posibles errores en el montaje, ubicación errónea en la línea de proceso y finalmente, poca accesibilidad para mantención o simple falta de observación rutinaria de su funcionamiento.

Podemos señalar que el montaje inicial del equipo y su posterior puesta en servicio determinarán el funcionamiento del mismo durante su vida útil.

## 2. Presentación de algunas variables de diseño.

El diseño de un Sistema de Alimentación o Dosificación Pesométrico debe iniciarse siempre en las primeras etapas de cualquier proyecto que lo considere, habiéndose definido el proceso propiamente tal. Para diseñar un Sistema Dosificador Pesométrico eficiente se requiere conocer el tipo de almacenamiento a utilizar, y como será el comportamiento del material almacenado en la Tolvas, la distribución de presiones en ella y específicamente cuán fluidizable es. Tal información permitirá diseñar adecuadamente partes fundamentales del Alimentador, como ser el tamaño y forma de la salida del Buzón de carga, el ancho de la correa transportadora, su velocidad, o el Buzón de alimentación al proceso. Deben considerarse también todos los esfuerzos producidos por el roce del material contra las estructuras con las cuales entra en contacto y que afectarán de mayor o menor grado el peso sensado.

Podemos enumerar algunos fenómenos o comportamientos del material en el alimentador que se consideran en su diseño:

### 2.1 Variables dependientes del material.

- i) *No existencia de Flujo.* Causado por formación de "Arcos" u "Hoyos de ratón".
- ii) *Flujos erráticos.* Causados por los fenómenos anteriores los cuales se forman momentáneamente y luego colapsan.
- iii) *Fluidización.* Causada por un efecto de aireación del material lo que permite que el flujo sea:
  - a) errático y/o
  - b) flujo de alta velocidad debido a una inadecuada abertura de la salida del buzón de carga.
- iv) *Almacenamiento reducido.* La formación de arcos impide la carga nominal

- del Buzón, o disminuye la capacidad del mismo.
- v) *Segregación*, al cargar el Buzón, las partículas de mayor tamaño emigran hacia las paredes posibilitando que la descarga conteniendo en un comienzo partículas de tamaño pequeño. Cuando el nivel del Buzón decrece, se produce la mezcla de tamaños.
- vi) *Degradación*, debido a la secuencia existente en algunos Buzones, Primero-que entra, Ultimo-en salir, ( first-in, last-out), el material depositado en el fondo del Buzón se descargará solo cuando el Buzón se desocupe completamente. Puede entonces producirse acumulación de deshechos en la “zona de almacenamiento muerta”.

El flujo de material puede obstruirse por dos formas, a), bloqueo por partículas o terrones de gran tamaño y b), si el material presenta aspecto fibroso, gran cohesión o se cohesiona por la presión en el interior del buzón lo que dificulta su paso por la abertura del mismo.

Para el primer caso, es necesario considerar las siguientes reglas para el diseño de la abertura del buzón hacia la correa: i), el mínimo tamaño de la abertura deberá ser 5 o 7 veces el tamaño máximo de las partículas o terrones y ii) dimensionando el ancho, este debe ser 5 veces el tamaño del terrón mas grande y en el alto este debe ser 3 veces.

Los valores indicados son los mínimos; la apertura de la tolva hacia la correa deberá ser lo suficientemente grande para permitir el flújo gravitacional máximo de diseño sin obstrucciones. El alimentador puede extrangular el flujo pero no expulsa el material desde la tolva.

Si el material es fibroso, debe considerarse que este tiende a formar nidos o bolas en el buzón, por lo que se requiere de diseños especiales tanto en la tolva como en el alimentador. El usuario de la aplicación debe entregar la mayor cantidad de información sobre el material y el fabricante debe considerar solicitar algún estudio exterior sobre el diseño.

Para prevenir la obstrucción por aglomeración del material u *obstrucción cohesiva*, se requiere un análisis de las propiedades de fluidez del material. Si un flujo presenta problemas debido a *obstrucción cohesiva*, se debe relacionar con la fineza del material y se requiere entonces de un análisis del tamaño de las partículas y su distribución. Un regla simple es que si un 15 al 20 % del material está constituido por tamaño malla Tyler #16, esto es 1 mm  $\varnothing$  de fino, esta cantidad de material de será suficiente para llenar los huecos entre las partículas mas gruesas lo que permitirá al material ganar resistencia<sup>[1]</sup>.

**2.2** Entre las variables que actúan sobre la adquisición del peso y que están relacionadas con los accionamientos, puesto que tienden a resistir el movimiento como ser las fuerzas de fricción o esfuerzos cortantes, cabe mencionar:

- Fricción entre la correa y las láminas soportantes o estaciones.
- Fricción entre el material transportado y la correa.
- Fricción entre el material y las paredes del buzón y las orillas.
- Fuerzas cortantes entre el material y la compuerta reguladora de flujo.
- Fricción en las poleas y en rodamientos.

Cada uno de estos elementos debe calcularse independientemente, a pesar que la información existente hasta hoy no es suficiente para determinar con exactitud los valores de las fuerzas involucradas.

### **3. Consideraciones sobre flujos de sólidos.**

Antes de establecer una teoría o un eventual método de cálculo sobre los flujos de materiales sólidos, es esencial conocer y entender la naturaleza física de ellos. Cuando un sólido fluye en una tolva o buzón, las siguientes condicionantes se producen en el interior de la masa deformable<sup>[2]</sup>:

- a) Las deformaciones producidas por los esfuerzos cortantes son continuas.
- b) La presión ejercida sobre el sólido cambia mientras este se mueve desde una posición del canal de flujo a otra.
- c) La resistencia y densidad del sólido cambia cuando la presión cambia.
- d) Cuando el flujo se detiene, la presión ejercida en el flujo permanece constante.

Si la presión sobre una cantidad de material fluyendo en una tolva cansolidada a un punto es igual a la resistencia para soportar un arco en ese mismo punto, el flujo se detendrá. Por lo tanto es necesario conocer la resistencia que desarrolla el sólido fluyente bajo un estado de deformaciones y presión continua.

Al estudiar las deformaciones de un material sólido y granular se considera su comportamiento como equivalente a un sólido plástico. En la región plástica los sólidos se asumen isotrópicos, friccionables y cohesivos. En el inicio de una falla, los sólidos se expanden, mientras que en un flujo estacionario este puede contraerse o expandirse. Durante el estado de flujo estacionario el sólido se deforma continuamente sin cambios significantes de su densidad.

La teoría está de acuerdo con las presiones y velocidades a la cual está sometida la masa fluyente del sólido granular. Si la presión se conoce, las propiedades resistivas del sólido pueden ser determinadas por test de esfuerzo y las restricciones que condicionan la detención del flujo se pueden predecir.

#### 4. **Alimentadores en general.**

Existe una gran variedad de Alimentadores disponibles en el mercado, y es siempre interesante conocer sobre las ventajas, desventajas y limitaciones de los diferentes tipos. Podemos reagrupar los alimentadores en dos categorías.

*i) Alimentadores Volumétricos, tales como:*

- a) Alimentadores de tornillos.
- b) Alimentadores con Paletas
- c) Alimentadores de mesas rotatorias.
- d) Alimentador de correa o cinta articulada o rastra.
- e) Alimentadores vibratorios.
- f) Alimentadores de correa o cinta.

Todos estos alimentadores se diseñan para que entreguen un volumen constante de material. Al multiplicar la tasa de descarga por la densidad se obtiene el peso del material entregado, lo cual permite errores en la medición de a lo mas un 10%. Se pueden realizar ajustes en la descarga, los cuales pueden ser:

- a) Variación en la velocidad de rotación de el tornillo, de las paletas o de la mesa giratoria.
- b) Variación en la velocidad de la correa, de la cinta articulada, o en la altura de la compuerta de descarga.
- c) Variación en la frecuencia amplitud de la vibración o en la altura de la compuerta de descarga de dicho alimentador.

*ii) Alimentadores Gravimétricos o Alimentadores Pesométricos.*

En general estos contienen una correa transportadora de velocidad fija o variable y emplean un mecanismo sensor de peso y se diseñan para entregar una tasa fija de material con exactitud, aunque las características físicas de este cambien, esto es por variaciones de densidad, cambios en el contenido de humedad, cambios en la granulometría, etc. Los Alimentadores pesométricos pueden dividirse en dos categorías.

- a) *Alimentadores con Lazo de Control sobre el Peso del Material.* En este caso la velocidad permanece constante y se regula la altura de la compuerta de carga del material sobre la correa en función del peso.
- b) *Alimentadores con Lazo de Control sobre la Velocidad.* En este caso es la velocidad de la correa del alimentador la que controla la cantidad de material sobre el proceso que sigue a continuación.

En general, dado el estado del arte en los sistemas de control digital y de los equipamientos desarrollados, como ser Inversores, integradores, etc. es que la mejor precisión se obtiene con el control de la tasa de flujo por variación de la velocidad. En

la Figura 1 puede observarse un típico sistema de control utilizado en los "Alimentadores con Lazo de Control sobre la Velocidad".

### 5. Control del flujo.

Los Sistemas de Control de los Alimentadores Pesométricos están compuestos de tres partes principales a saber:

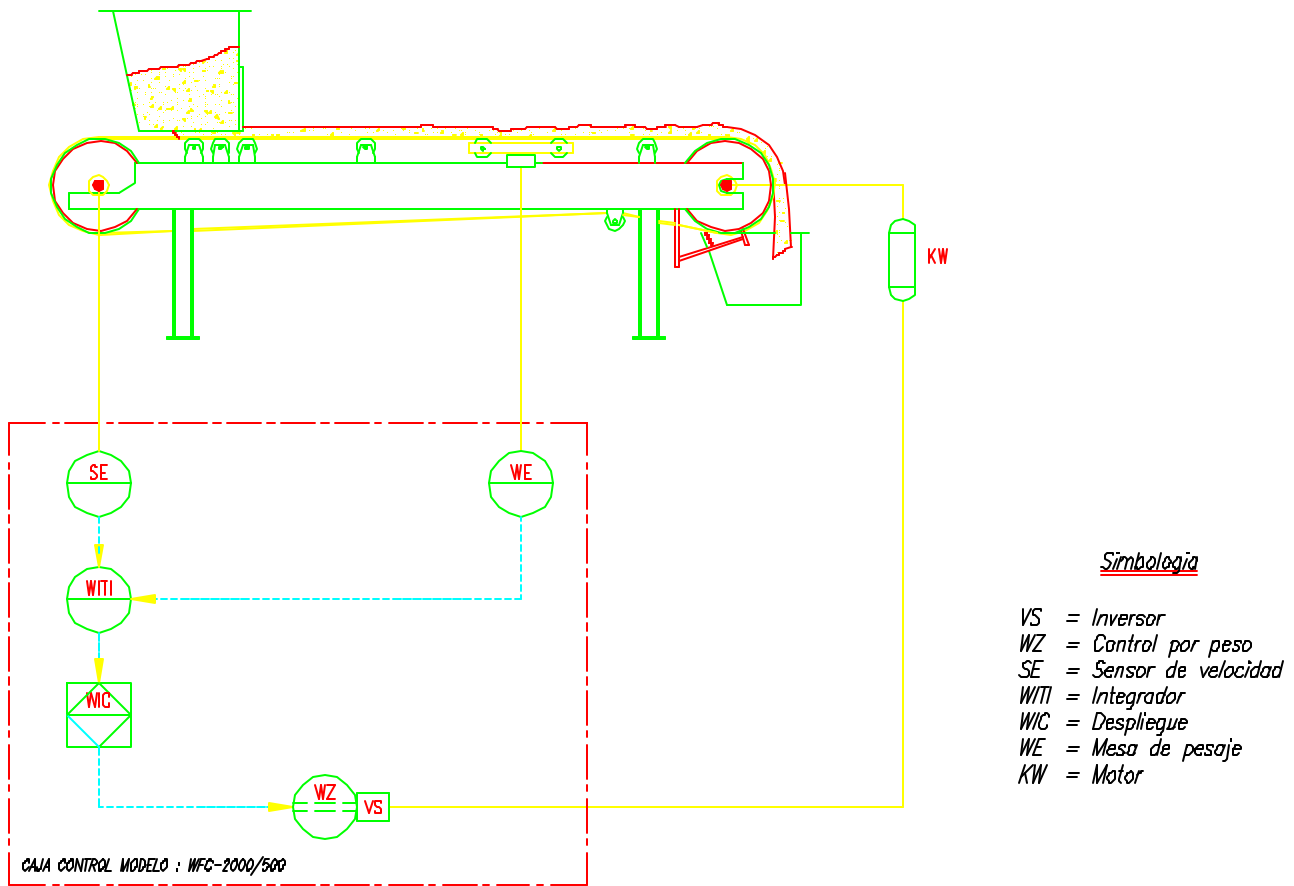


Figura 1

- i) Medición de la Variable de Proceso o Flujo del material transportado por la correa del Alimentador.
- ii) Detección del error y Control con el Algoritmo utilizado en el PID.
- iii) Elemento de Control Final, el cual es en general el Conversor de frecuencia que actúa sobre el Motor.

La Figura 1 presenta un esquema P&ID, en el cual la variable de proceso se determina sensando la Velocidad (SE) y el peso (WE). Estos dos elementos ingresan a un integrador ( WITI) que calcula el flujo transportado, "**Variable de Proceso**", y además en el se ha configurado un Controlador PID, el cual mide el "**error**" producido entre la "**Variable de Proceso**" y la "**Referencia**" o "**Setpoint**", para actuar sobre el Conversor (VS) con la "**Variable de Control**", corrigiendolo de acuerdo al Algoritmo Utilizado, el cual a su vez actúa sobre el motor de CA.

Se puede explicar el funcionamiento del Control como sigue: La salida de Control, es en general una señal normalizada de 4 a 20 mA que regula la frecuencia de salida de un Inversor de CA, el cual previamente se configura para la aplicación. Cambios en la densidad del material, tales como aumento o disminución, producen una variación en la señal de control de 4 a 20, lo que determina una disminución o aumento de la frecuencia del Inversor y por lo tanto una disminución o aumento de la velocidad de la cinta, lo que permite tener un flujo constante, sea en Toneladas Métricas Hora [TMH], en Kilogramos métricos por Minuto[kgMm] o e Libras por Minuto[lbmin]. El resultado neto es un Control del Alimentador que es exacto sobre un rango amplio y que responde instantáneamente a cambios en la densidad del material transportado.

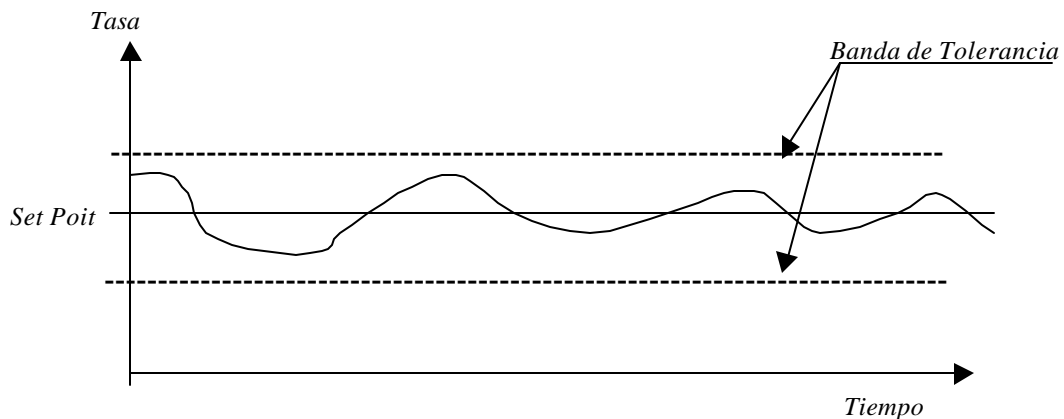


Figura 2

Control del Alimentador

## 6. Algunas Aplicaciones.

Son numerosos los Sistemas en los cuales tienen aplicación los Alimentadores o Dosificadores continuos, especialmente por que en la mayoría de los procesos que involucran sólidos, es el peso de los materiales una medida importante y que aparentemente no cambiará en el futuro inmediato.

Un Alimentador Pesométrico está compuesto por los siguientes elementos:

- i) Un sistema sensor de peso, compuesto de una mesa de pesaje y celdas de carga, que se suman en una caja de unión.
- ii) Un sensor de velocidad, el cual genera pulsos de 5 volts en función de las rpm del tambor de cola del alimentador.
- iii) Un Integrador/Totalizador/Controlador, que se configura y se calibra para la aplicación específica. La señal de Control de esta unidad es de 4 a 20 mA y refleja la acción del algoritmo sobre el error entre la señal de proceso y la señal de referencia entregada o "setpoint".
- iv) Un variador de frecuencia o Inversor, el cual recibe la señal de control y genera el accionamiento sobre el motor/reductor del Alimentador.
- v) Un sistema de "Control de Recetas", opción que se utiliza cuando existe un conjunto de Alimentadores, cada uno dosificando según el "set point" entregado por la receta seleccionada.

A continuación se muestran algunas aplicaciones de los Alimentadores Pesométricos.

- i) Unidad Dosificadora Simple.(Fig. 3)

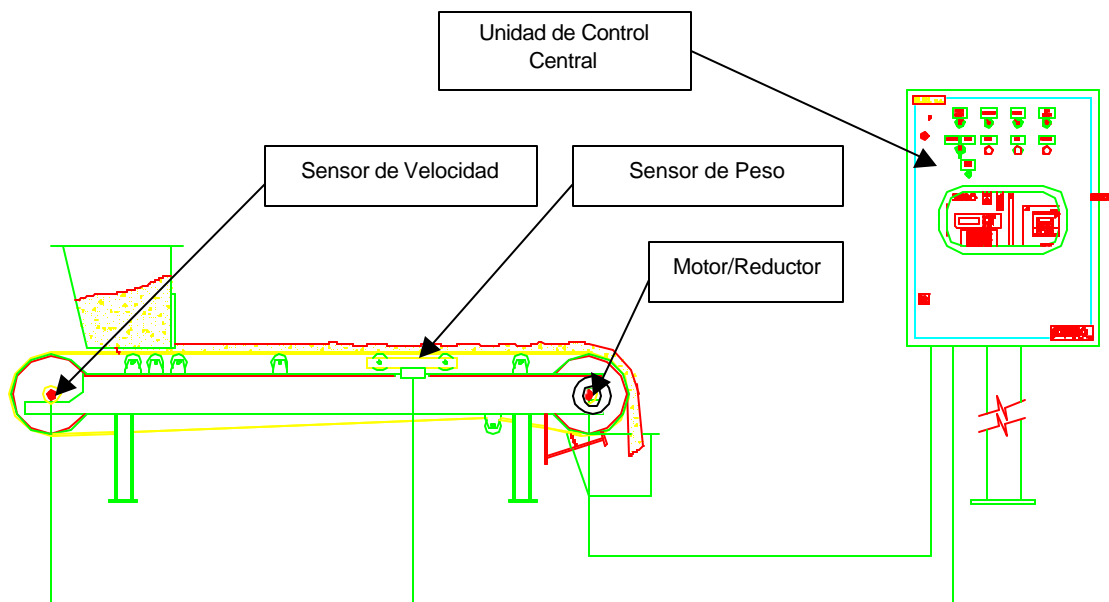


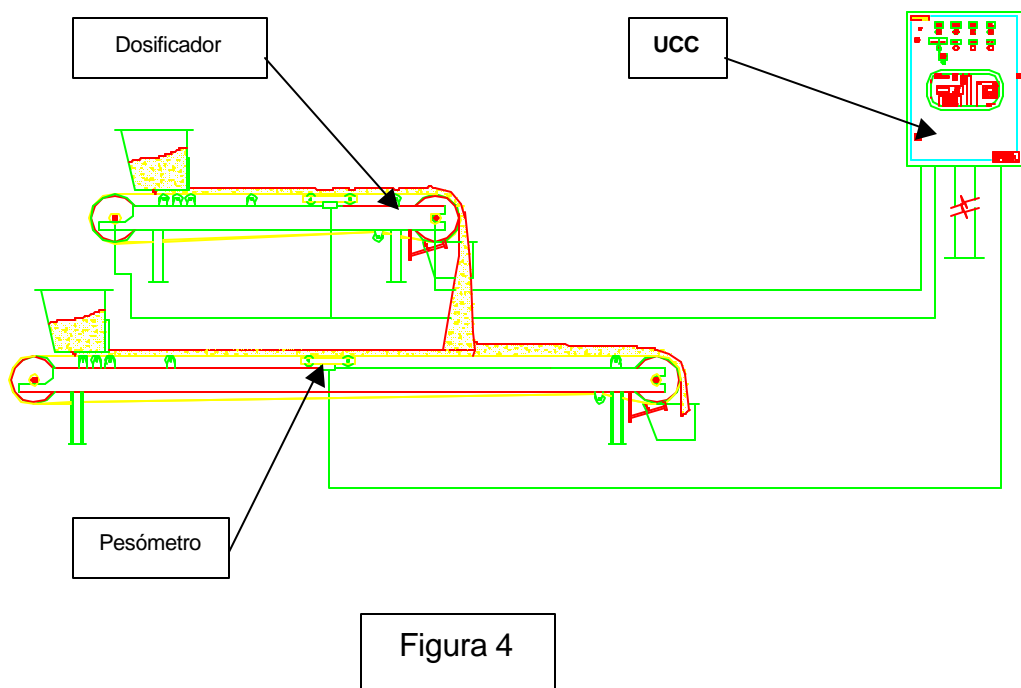
Figura 3



En Figura 3, la Unidad de Control Central, en un contenedor NEMA 4 o 4X, incluye el Integrador/Totalizador/Controlador y el Inversor. Este último puede ser montado también en un CCM local.

ii) Unidad Dosificadora de Aditivos (Fig. 4)

En algunos procesos se requiere de dosificar un determinado tipo de material en función de otro que está siendo transportador a granel. La señal de peso del transportado a granel, que en general es de 4 a 20 mA, extraída de un pesómetro ubicado en el transportador, se ingresa a la Unidad de Control Central donde se ha programado que la señal de referencia o "setpoint" varíe en función del peso sensado. La dosificación del material manejado por el Alimentador seguirá en peso al flujo del material del transportador principal.



iii) Unidades Dosificadoras para Fabricación de Cemento.(Fig 5)

Es una de la aplicaciones mas extendidas de los Alimentadores. La producción de Cemento requiere mezclar hasta tres o mas materiales antes de realizar la molienda fina. La exactitud de la mezcla asegura la calidad del producto final y en general, en los

dosificadores se requiere un pesaje con un mínimo de 0.5 % de error. Adicionalmente, diferentes clases de Cemento requieren de diferentes proporciones en las mezclas, esto es diferentes recetas. Un sistema de este tipo implica también incluir enclavamientos con los motores de los Molinos, con los Elevadores de Capacho o con los Sistemas de Transporte Neumático y con los Filtros de Polvo. El operador debe tener también un Panel de Control que permita reconocer con rapidez Alármás y actuar. Desde el Panel podrá detener o activar el sistema.

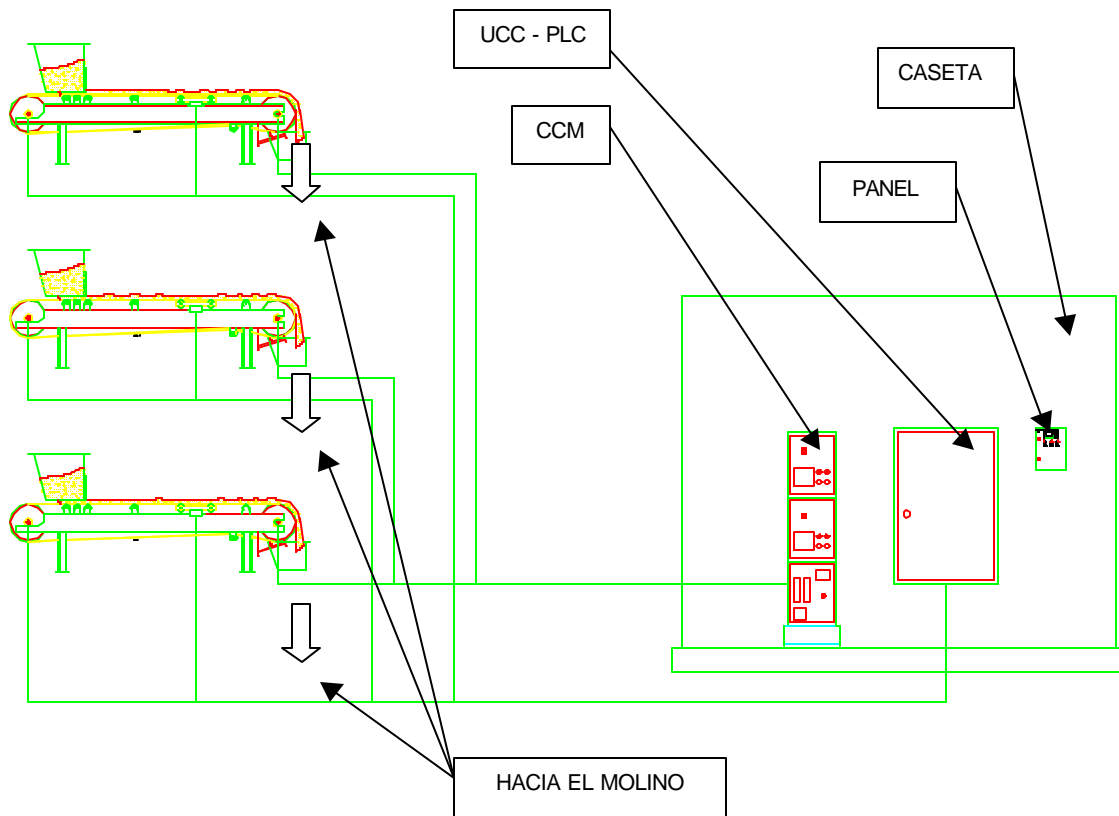


Figura 5

- iv) Unidad dosificadora de Mineral de Cu (Oxidos), para producción de aglomerado en el proceso de formación de Pilas de lixiviación.

Es la aplicación generalizada en la obtención de aglomerado que forman las pilas de Lixiviación. Existe un Alimentador Pesométrico que pesa el Mineral Chancado a ¼" y que a una tasa fija, dada por el Alimentador, se dosifica con Agua y Acido Sulfúrico, para el caso de minerales de Cu. En el Tambor Aglomerador se efectúa también la adición del agua y Acido. El tiempo de residencia del material en el tambor permite que todas o la mayor parte de las partículas se empape con la solución. Nuevamente la

exactitud de la dosificación del Alimentador, permite fijar el flujo en las Válvulas de Agua y Acido, no utilizandose control adicional.

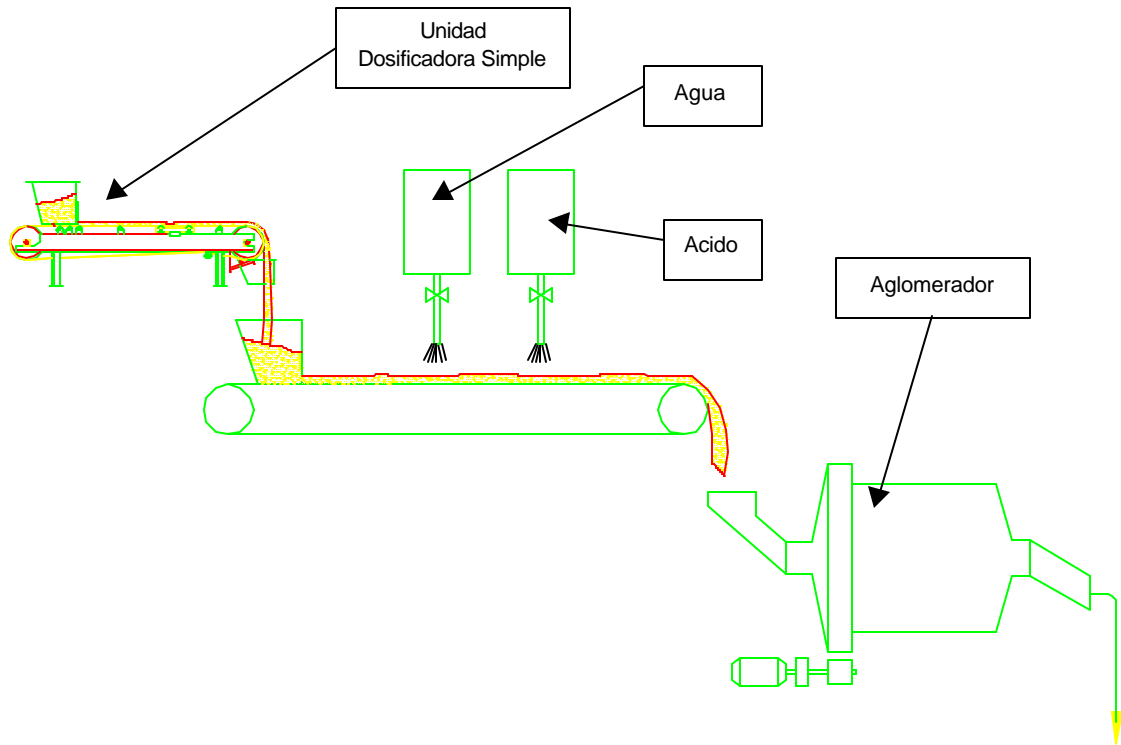


Figura 6

---

<sup>[1]</sup> Jennike A.W. analiza en su trabajo sobre “Almacenamiento y flujo de Sólidos” y entrega las herramientas de cálculo para el diseño de tolvas funcionales. “Storage and Flow of Solids”, Bulletin No 123, Utah Engineering Experiment Station, University of Utah, Salt Lake City, Utah, (Nov. 1964)

<sup>[2]</sup> Hendrick Colijn , “Weighing and Proportioning of Bulk Solids”