

IMPLEMENTACION DE UN SILO DE PESAJE PARA MINERALES, UTILIZADOS EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN DE CHATARRA EN LA EMPRESA ADELCA C.A

Diego Terán¹, Edgar Taimal².

¹Docente de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica del Norte, Otavalo, Imbabura

²Estudiante de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Imbabura
dfteran@utn.edu.ec, edotaimal@gmail.com

RESUMEN: La empresa Adelca se encuentra ubicada en la Parroquia de Aloag, Provincia de Pichincha, la empresa cuenta con el negocio de procesamiento de chatarra para la obtención de acero para la construcción.

En el presente documento, se detalla la problemática en el proceso de pesajes de minerales, en donde los trabajadores de la empresa Adelca C.A, realizan tareas de gran esfuerzo físico y expuestos a una excesiva contaminación. Mediante la automatización de los procesos se logra obtener el control de información, y además suministrar las cantidades correctas de los minerales utilizados en el proceso de la fundición de chatarra. Obteniendo así mejorar el entorno de trabajo par los empleados destinados a realizar las tareas de pesaje.

ABSTRACT: The enterprise Adelca is located in Aloag town, Pichincha Province, the company enjoys the business of processing scrap for producing construction steel

In this document, the problems detailed in the weighing process of minerals, where company workers Adelca CA, perform physically demanding tasks and exposure to excessive pollution. By automating processes is achieved gain control of information, and also provide the right amounts of minerals used in the process of the melting of scrap. Achieving and improving the work environment couple employees to perform tasks for weighing.

PALABRAS CLAVE: Silo, Pesaje Automático, Celdas de Carga, Profibus.

1 INTRODUCCIÓN

El saber cuantificar la cantidad de materia prima utilizada en determinado proceso es muy importante.

Básicamente se puede decir que todo lo que se puede medir, también se puede controlar. En la actualidad en la empresa Adelca CA sección Acería, cuenta con un sistema de dosificación manual de minerales, hacia las cestas de carga de chatarra. El sistema actual es un sistema de pesaje manual rudimentario, mediante el uso de palas y una balanza, que se utiliza para obtener la cantidad requerida por el proceso de fundición de chatarra, este proceso conlleva de mucho esfuerzo físico y de un inminente riesgo para la salud.



Figura 1. 1 Pesaje de carbón mediante el uso de palas y una balanza

La función de los elementos adherentes como el Carbón, Cal Dolomítica y Cal Cálctica en el proceso de fundición de chatarra a través del Horno de Arco Eléctrico, es capturar la escoria de la chatarra en fundición, realizando la función de un filtro siempre y cuando las cantidades dosificadas en las cestas sea la adecuada.

1.1 Sistemas de pesaje

La nueva tecnología en controladores de peso nos permite tener monitoreo del proceso en tiempo real. Características como la inmunidad a la vibración permiten pesar hasta el proceso más difícil. La calibración electrónica nos permite implementar un sistema en menor tiempo y sin errores.

1.2 Componentes de Sistemas de pesaje

Un sistema de pesaje consiste de una o más celdas de carga, una caja sumadora y un controlador de peso. Típicamente se utilizan sistemas de tres o cuatro puntos que facilitan el arreglo mecánico.

1.3 Actuadores mecánicos

Un actuador mecánico 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.

Existen dos tipos de actuadores; neumáticos e hidráulicos, son muy utilizados como base para construir un robot, ya que permiten el movimiento de rotación (motor) y traslación (cilindro).

1.3.1 Actuadores Mecánicos Neumáticos

Para 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,

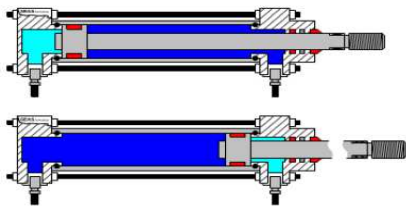


Figura 1.2 Cilindro doble efecto

1.3.1.1 Actuadores Neumáticos Lineales.

El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras). Los actuadores rotativos o giratorios son los encargados de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación.

1.4 Definición de actuador eléctrico

Los actuadores son los dispositivos encargados de efectuar las acciones físicas, ordenadas por algún sistema de control. Esta acción física puede ser un movimiento lineal o un movimiento circular según sea el caso. Se le da el nombre de actuadores eléctricos cuando se usa la energía eléctrica para que se ejecuten sus movimientos.

1.4.1 Motores de corriente continua

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio. La principal característica es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

1.4.1.1 Principio de funcionamiento.

Se basa en la segunda Ley de Lorentz.

$$F = B * l * I$$

Ecuación 1. 1 Fuerza motor eléctrico

F: Fuerza en newton

I: Intensidad que recorre el conductor en amperios

L: Longitud del conductor en metros lineales

B: Inducción en teslas

1.4.2 Motores paso a paso

Es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control.

1.4.3 Motores de corriente alterna (AC).

La corriente alterna es aquella en que la que la intensidad cambia de dirección periódicamente en un conductor. Como consecuencia del cambio periódico de polaridad de la tensión aplicada en los extremos de dicho conducto.

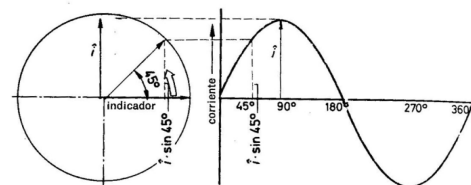


Figura 1. 4 Corriente alterna sinusoidal

1.5 Sensores de peso.

Los sensores de peso son aquellos dispositivos electrónicos desarrollados con la finalidad de detectar los cambios eléctricos provocados por una variante en la intensidad de un peso aplicado sobre la báscula o balanza, información que a su vez transmite hacia un indicador de peso o controlador de peso.

1.5.1 Celdas de carga.

El principio básico de una celda de carga está basado en el funcionamiento de cuatro galgas extensiométricas (strain gauge), dispuestos en una configuración especial.

Una galga extensiométrica es un sensor basado en el efecto piezo - resistivo. Un esfuerzo que deforma a la galga y producirá una variación en su resistencia eléctrica, por lo tanto la galga extensiométrica es básicamente una resistencia eléctrica.

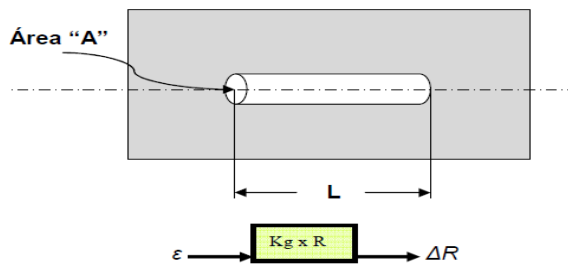


Figura 1. 5 Conductor lineal sometido a deformaciones longitudinales.

Si se considera un hilo metálico de longitud "L", sección "A" y resistividad "ρ", su resistencia eléctrica "R" estaría dada por:

$$R = \rho * \left(\frac{L}{A}\right) = \rho * \left(\frac{L}{\pi * r^2}\right) [\Omega]$$

Ecuación 1. 2 Resistencia a la Deformación

1.5.2 Materiales de construcción de las celdas de carga.

De acuerdo a las aplicaciones que se realizan y a los ambientes a los cuales estarán expuestas las celdas de carga se detalla una lista de materiales con las cuales son fabricadas las celdas de carga

1.5.2.1 Celdas de carga de aluminio

Se utilizan elementos de celdas de carga de aluminio primariamente en aplicaciones de un solo punto y de baja capacidad

1.5.2.2 Celdas de carga de acero al carbón.

Las celdas de carga fabricadas de elementos de acero al carbón son por mucho las celdas de carga más populares.

1.5.2.3 Celdas de carga de acero inoxidable

Celdas de acero inoxidable son más caras que celdas de carga de acero al carbón. A veces vienen equipadas con cavidades de tejido herméticamente sellado que las hace ser la selección ideal para ambientes corrosivos y de alta humedad.

1.5.3 Clasificación de celdas de carga según su morfología.

En este caso podemos dividir las células de carga en distintos grupos:

1.5.3.1 Células Monoplato.

También llamadas mono célula. El sistema interno de trabajo de las bandas extensiométricas es a flexión. Son las que se utilizan en balanzas y pequeñas plataformas

1.5.3.2 Células de cortadura simple:

Se acostumbra a montar en básculas de 2 o más células de carga. El funcionamiento interno es a cortadura. En este caso soportan capacidades más grandes, hasta los 5000 kg. Las células se conectan entre ellas mediante la caja suma,



Figura 1. 6 Celda de carga de cortadura tipo viga

1.5.3.3 Célula de Carga de Doble Cortadura.

Es el mismo caso que las anteriores, para básculas multi - célula; con la diferencia de que pueden soportar cargas mayores.

1.5.3.4 Células de Tracción – Compresión.

Este tipo de células, también llamadas S, funcionan tanto a tracción como a compresión. Internamente acostumbran a funcionar a cortadura y se pueden encontrar en capacidades entre 30 kg y 10000 kg.

1.6 Control de calidad.

Proceso seguido por una empresa de negocios para asegurarse de que sus productos o servicios cumplen con los requisitos mínimos de calidad, establecidos por la propia empresa. Con la política de Gestión (o administración) de Calidad Óptima (GCO) toda la organización y actividad de la empresa está sometida a

un estricto control de calidad, ya sea de los procesos productivos como de los productos finales.

1.7 Análisis de los sistemas de dosificación¹

Para esta sección se tratara el estudio de diferentes sistemas de pesaje de sólidos así como el funcionamiento de estos sistemas, con lo cual permitirá optar por un sistema determinado de pesaje para nuestro propósito

1.7.1 Sistema basado en tolva de pesaje



Figura 1. 7 Silo tipo tolva (Aviles. M, 2011)

Este sistema brinda la facilidad de pesar cualesquier producto en tolva, sin importar su forma, solo con la simple necesidad de la implementación de celdas de carga, y su aplicación está dirigida, a productos líquidos, polvos materiales viscosos y sólidos granulados.

1.7.2 Pesadora ensacadora

La pesadora ensacadora posee una capacidad variable dependiendo de sus características. En sus versiones automáticas, como la de la figura.



Figura 1. 8 Pesadora ensacadora (Aviles. M, 2011)

¹Avilés. M. Caviedes. G (2011). Implementación Del Sistema De Dosificación Y Control De Pesaje Dinámico Para Empaquetamiento De Comestibles Sólidos (tesis de pregrado). Repositorio EPN

1.7.3 Pesadora multicabezal

El pesaje multicabezal utiliza el principio de combinación de pesos a través de distintas balanzas que se descargan de manera aleatoria según el peso seleccionado. El uso de múltiples tolvas permite una alta precisión al pesaje.

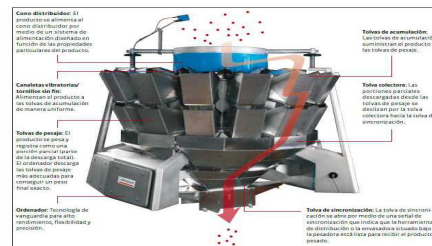


Figura 1. 9 Pesadora multicabezal (Aviles. M, 2011)

1.8 Características del carbón

El carbón es un sólido oscuro, estratificado y combustible, resultado de la acumulación y enterramiento de materia vegetal desde las primitivas eras geológicas. Estos depósitos se convierten en carbón a través de unos cambios biológicos iniciales y posteriormente efectos mecánicos de presión y temperatura en el seno de los sedimentos.



Figura 1. 10 Angulo de reposo del carbón

En la figura anterior (1.10) se puede observar el ángulo de reposo formado por el carbón tipo canasta, este ángulo se forma al dejar caer una porción de carbón en una superficie plana, la manera de medir este ángulo, es mediante la experimentación.

2 DISEÑO MECÁNICO DEL SILO.

2.1 Análisis de la capacidad del Silo

De acuerdo a las presentaciones de adquisición de los minerales la empresa adquiere el carbón y la cal, los mismos que vienen en presentaciones de 1000 kg. De acuerdo a las características de densidad de los minerales se va a determinar el volumen que ocupa cada mineral, por lo tanto tenemos.

2.2 Densidad.

La densidad "δ" es el resultado de comparar, por división, la masa "m" de un cuerpo con su volumen "V".

$$\sigma = m/V$$

Ecuación 2. 1 Densidad

En este caso el carbón mineral, el cual tiene una densidad de entre 1,3 y 1,6 gr/cm³, para fines del proyecto se utilizara el valor máximo, y despejando de la ecuación anterior (2.1), tenemos:

$$m = \sigma \cdot V$$

Como las unidades de la densidad del carbón están en gr/ cm³, debemos transformarlos a la unidades de kg/ m³

Con lo que tenemos

$$1,6 \frac{gr}{cm^3} \cdot \frac{kg}{1000 gr} \cdot \frac{1000000cm^3}{1m^3}$$

De donde el valor de la densidad en kg/m³ es

$$d = 1600 \text{ kg/m}^3$$

2.3 Diseño del silo

Para iniciar con la construcción del silo, tomamos como punto inicial las presentaciones de adquisición por parte de la empresa de los materiales, en el caso del carbón y de la cal, se realizan en presentaciones de 1000 kg, Entonces como datos para el cálculo del silo tomamos en cuenta que el silo debe ser de al menos 1m³.

2.3.1 Calculo del volumen total del silo.

Debido a la geometría del silo, y como hemos optado por el silo tipo tolva, el volumen total del silo conllevara el cálculo por separado de las formas regulares que tiene el silo, esto quiere decir que el volumen total será la sumatoria de todos los subvolumenes calculados por separado.

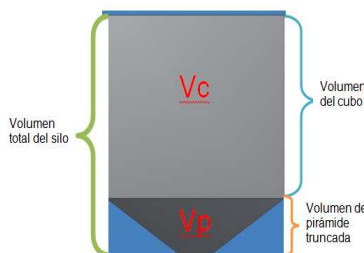


Figura 2. 1Silo Contenedor Referencia Volumen.

La expresión matemática para el cálculo del volumen del silo quedara de la siguiente manera:

$$Vc + Vp = Vts$$

Ecuación 2. 2Volumen del Silo

De donde:

Vc = volumen del cubo.

Vp = volumen de pirámide truncada

Vts = volumen total silo

$$\begin{aligned} S_L &= 4a^2 \\ S_T &= 6a^2 \\ V &= a^3 \\ d &= a\sqrt{3} \end{aligned}$$

Figura 2. 2 Cuadro formulas respecto al cubo

$$\begin{aligned} S_L &= Ap (p + p_1) \\ S_T &= S_L + S_1 + S_b \\ V &= \frac{h(S_1 + S_b + \sqrt{S_1 \cdot S_b})}{3} \end{aligned}$$

Figura 2. 3 Cuadro formulas respecto a la pirámide

Teniendo como datos que el silo tiene 1m por lado y la altura de la tolva es de 0.3 m y la salida de descarga del mineral es de 0,2 m tenemos el volumen total del silo reemplazando en la ecuación 2.2

$$Vc + Vp = Vts$$

$$Vts = 1 + 0.165$$

$$Vts = 1.165 \text{ m}^3$$

Dado que el volumen total del silo será de 1.165 m³, el mismo que albergara una masa total de 1864 kg aproximadamente, tomando como referencia la ecuación de la densidad.

2.3.2 Esfuerzos en Silos y Tolvas.

El análisis de los esfuerzos en los silos y tolvas busca determinar posibles fallos en la construcción mecánica de los mismos.

2.3.2.1 Método De Janssen

En 1895. H. A. Janssen estudió las presiones estáticas debido al material almacenado en silos. Su teoría se basa en el equilibrio de una sección diferencial del silo con el material en reposo. Con este análisis consiguió derivar la expresión para la presión vertical del material, la presión lateral y la fuerza de fricción en la pared del silo.

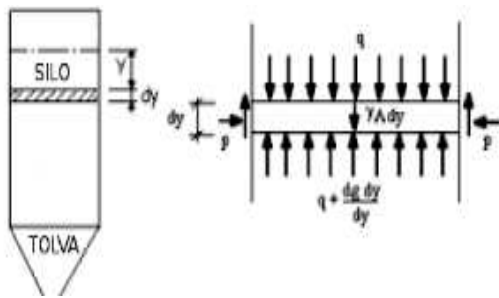


Figura 2. 4 Referencia de fuerzas y Presiones

Las expresiones a las que llegó Janssen son las siguientes²:

$$K = \frac{Ph}{Pv} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

Ecuación 2. 3 Coeficiente de Rankine

$$U' = \tan \varphi'$$

Ecuación 2. 4 Coeficiente de fricción del material almacenado

$$R = A/U$$

Ecuación 2. 5 Radio Hidráulico

$$Pv = \frac{wR}{U'k} \left(1 - e^{-\frac{U'kh}{R}} \right)$$

Ecuación 2. 6 Presión Vertical

$$Ph = k * Pv$$

Ecuación 2. 7 Presión Horizontal

Dónde:

K = coeficiente de Rankine.

w = densidad del material almacenado.

h = altura

A = área

U = perímetro

R = radio hidráulico

Φ = ángulo de reposo del material almacenado

Φ' = ángulo de rozamiento entre el material almacenado

U' = coeficiente de fricción del material almacenado

Ph = presión horizontal en kg/m²

Pv = presión vertical en kg/m²

Para aplicar las expresiones de Janssen tenemos los siguientes datos

Densidad del material $w = \rho = 1600 \text{ kg/m}^3$

Altura silo $h = 1 \text{ m}$

Área del silo $A = 1 \text{ m}^2$

Perímetro del silo $U = 4 \text{ m}$

$U' = 0,475$

$$R = \frac{A}{U}$$

$$R = \frac{1}{4}$$

$R = 0,25 \text{ m}$

Como $U' = \tan \Phi'$

Entonces despejando

$$\Phi' = \arctang U'$$

$\Phi' = \arctang 0,475$

$\Phi' = 33 \text{ grados}$

$\Phi = 39 \text{ grados}$

Reemplazando tenemos en las expresiones tenemos

$$K = \frac{1 - \sin 45}{1 + \sin 45}$$

$K = 0,32172586$

Para obtener la presión horizontal

$$Pv = \frac{wR}{U'k} \left(1 - e^{-\frac{U'kh}{R}} \right)$$

Reemplazando y realizando el cálculo de la expresión tenemos

$$Pv = 1486,91579 \text{ kg/m}^2$$

Para obtener la presión horizontal, despejamos de la expresión

$$K = \frac{Ph}{Pv}$$

$$Ph = K * Pv$$

Reemplazando valores tenemos

$$Ph = 0,32172586 * 1486,91579$$

$$Ph = 116,163284 \text{ kg/m}^2$$

2.4 Selección de material para la construcción del silo

El material que se utilizara para la fabricación del silo es acero SAE A-36, que por sus características mecánicas y la facilidad de adquisición de este tipo de acero.

2.4.1 Química Acero A-36

El A-36 es un acero de bajo carbono con muy pocas aleaciones. Su composición química es de 0,26% de carbono, 0,75% de manganeso, 0,2% de cobre, 0,04% de fósforo y 0,05% de azufre, mientras que el resto es hierro. El manganeso y el cobre le dan al acero la resistencia y la dureza.

2.4.2 Propiedades mecánicas Acero A-36

En términos de sus propiedades mecánicas, el acero A-36 está diseñado para ser resistente y fuerte. Tiene una resistencia máxima a la tracción (la cantidad de presión que se necesita para deformar el material) de 58.000 a 79.800 libras por pulgada cuadrada (psi) (10.355 a 14.247 kg/cm²).

Por lo expuesto anteriormente sobre todo en la parte mecánica del acero, y comparando los valores de presiones que requiere este tipo de acero para

²Echeverría. A. Sandoval. L. (2013), Dosificación automática de sólidos, para el laboratorio del AIM de la Escuela Politécnica del Ejército. (Tesis Pregrado). Repositorio ESPE

deformarse, 14.247 kg/cm^2 es mucho mayor a las presiones calculadas en las expresiones de Janssen cuyos valores son: $P_v = 1486,91579 \text{ kg/m}^2$: y $P_h = 116,163284 \text{ kg/m}^2$ por lo tanto se utilizara planchas de acero A-36 de un espesor de 6mm, por facilidad de encontrar en el mercado local y su fácil soldabilidad.

2.5 Distribución de los puntos de apoyo para las celdas de carga

El número recomendable de soportes depende de la geometría, el peso bruto, y la fuerza estructural y estabilidad del silo. Obviamente el número de soportes que se escoge para un silo influye la capacidad de las celdas de carga requeridas, en nuestro caso será de 4 por la geometría del silo.

2.5.1 Capacidad de la celda de carga

Independientemente de la forma de la celda de carga que se vaya a utilizar la manera de seleccionar su capacidad siempre estará ligado con el número de apoyos que se va a utilizar en el sistema de pesaje.

2.5.2 Estimación de peso muerto del silo

Es una estimación del peso del silo vacío mas todos sus soportes mecánicos y demás estructura, para nuestro caso tomamos en cuenta el material del cual se va a fabricar el silo

El silo será fabricado en planchas de acero, de un grosor de 6 mm, con una densidad de $7,87 \text{ gr/cm}^3$.

Entonces para calcular la superficie total del silo tenemos la siguiente expresión:

$$S_{ts} = S_c + S_p$$

Ecuación 2. 8 Superficie total del silo

De donde:

S_{ts} = superficie total del silo

S_c = Superficie lateral del cubo

S_p = Superficie lateral de la pirámide truncada

Cabe recalcar que el silo es conformado por un cubo y la pirámide truncado (Tolva).

Superficie lateral del cubo determinada por.

$$S = 4a^2$$

Formula tomada del cuadro de fórmulas respecto al cubo.

$$S = 4 \times 1 \text{ m}^2$$

$$S = 4 \text{ m}^2$$

Superficie lateral de la pirámide truncada dada por cuadro fórmulas de pirámide truncada, (figura 2.9)

$$S = 0,5 \text{ m}^2$$

$$S_{ts} = S_c + S_p$$

$$S_{ts} = 4 + 0,5$$

$$S_{ts} = 4,5 \text{ m}^2$$

La superficie del silo se multiplica por el espesor de la plancha

Tenemos

Volumen del material del silo = $S_{ts} \times 6 \text{ mm}$

Volumen del material del silo = $0,027 \text{ m}^3$

Ya con estos datos calculamos la cantidad de masa estimada del silo sin ninguna carga.

$$m = \rho \times V$$

$$m = 7870 \times 0,027$$

$$m = 212,5 \text{ Kg.}$$

Con esto hemos estimado el cuerpo más grande del sistema, a lo que también se considera los cuerpos pequeños adicionales. Se estima un peso aproximado de 300 kg, que será la carga muerta (C_m).

La carga viva es el valor neto del mineral, $C_v = 1600 \text{ Kg}$.

2.5.3 Carga bruta

La carga bruta es la sumatoria de la carga viva más la carga muerta. Para el cálculo de la carga bruta se establece la siguiente expresión, por definición.

$$C_b = C_m + C_v$$

$$C_b = 1900 \text{ Kg}$$

Con la división de la carga bruta del silo para el número de soportes que tendrá el sistema.

Capacidad de la celda de carga es = $1900 / 4$

Capacidad de celda = $541 \text{ kg} = 1190,2 \text{ lb}$.

2.6 Mecanismo de apertura del Silo

Para el mecanismo de apertura del silo se ha determinado un mecanismo móvil giratorio debido las condiciones físicas y granulométricas del material a ser pesado, la compuerta de apertura estará accionada con un cilindro neumático lineal, el mismo que le hará pivotar en los bocines de la compuerta.

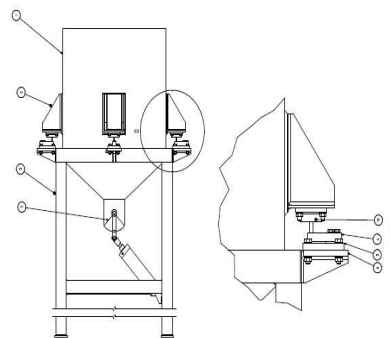


Figura 2. 5 Silo Pesaje

2.7 Selección de actuador neumático

Para la selección del cilindro neumático hay que tomar en cuenta que fuerza es la que el material almacenado en el silo justo en la salida del mismo, con

lo cual sabremos qué fuerza hay que superar para romper el equilibrio y lograr abrir la tapa del silo, fuera que es igual a 823 N.

Con la ayuda de tablas de actuadores estandarizados tenemos

Ø VASTAGO [mm]	Ø EMBOLO [mm]	FUERZA NETA [N] a P=6 bar	LONGITUDES DE CARRERAS NORMALIZADAS [mm]
—	6	15	10, 25, 40, 80
4	12	60	10, 25, 40, 80, 140, 200
6	16	106	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300
10	25	260	25, 40, 80, 140, 200, 300
12	35	509	70, 140, 200, 300
16	40	665	40, 80, 140, 200, 300
18	50	1039	70, 140, 200, 300
22	70	2037	70, 140, 200, 300
25	100	4156	70, 140, 200, 300
30	140	8140	70, 140, 200, 300
40	200	16625	70, 140, 200, 300
50	250	25977	70, 140, 200, 300

Tabla 2. 1Tamaños Normalizados de Cilindros y Longitudes de Carreras.

3 IMPLEMENTACIÓN ELECTROMECÁNICA DEL SISTEMA DE PESAJE

3.1 Implementación de un Sistema de Pesaje

Para la implementación del sistema de pesaje luego del estudio sobre los tipos de celdas de carga, se utilizara las celdas de carga más comunes en el mercado, en nuestro caso se utilizaran celdas de carga de viga al corte,

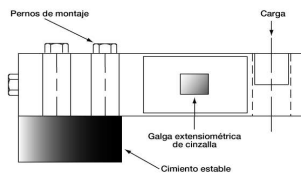


Figura 3. 1Viga al corte

Las celdas de carga de viga al corte ofrecen muchas ventajas cuando son utilizadas en módulos de pesaje bien diseñadas.

3.2 Consideraciones generales de montaje para vigas al corte

Debido a investigaciones realizadas para el proyecto se ha encontrado estas posibles consideraciones sobre la instalación de este tipo de celdas de carga, las mismas que se describen a continuación.

- La superficie de montaje debe ser plano y nivelado.

- El bloque de montaje debe ser lo suficiente grueso para proveer suficientes hebras para los tornillos de montaje.
- La carga debería ser aplicada verticalmente a través de la línea central del hueco de carga.
- La introducción de la carga tiene que proveer la flexibilidad necesaria para evitar la transmisión de fuerzas ajenas y para tolerar la deflexión inevitable de la celda de carga misma.

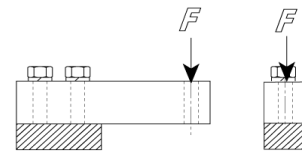


Figura 3. 2 Fuerza aplicadas a las celdas de viga al corte

3.3 Orientación de vigas al corte.

La Figura 3.3 ilustra cuatro diferentes silos y configuraciones de montaje recomendadas para módulos de pesaje de viga al corte.

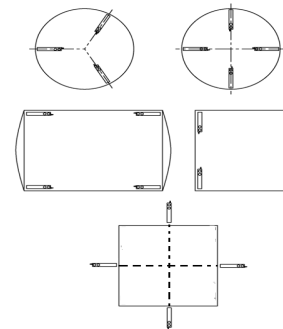


Figura 3. 3 Instalación de celdas de acuerdo a su aplicación

3.4 Aplicación de fuerzas en celda de carga

Básicamente la carga o fuerza debe ser aplicada perpendicularmente sobre el sensor evitando fuerzas laterales. Cuando se utiliza un contenedor se debe buscar su centro de gravedad, y nivelar el peso en todos sus puntos de apoyo.

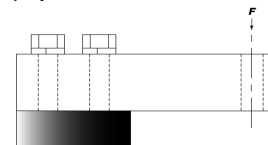


Figura 3. 4 Orientación ideal de la fuerza

La Figura 3.4 muestra un arreglo típico de montaje para una viga al corte. El término fijo queda sujetado a una fundación "rígida" mientras que el extremo libre es

voladizo para permitir que se encorve hacia abajo cuando se aplica una carga (F).

3.5 Electroválvula

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo del fluido a través de un conducto como puede ser una tubería, la válvula esta controlada por una corriente eléctrica, a través de una bobina solenoide.

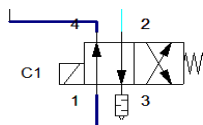


Figura 3.5 Electroválvula (esquemático)

3.6 Diagrama electro-neumático de activación del cilindro neumático

En la figura 3.6 se puede observar la implementación electro-neumática del control del cilindro neumático. En donde la fuente de aire está a una presión de 6 bar.

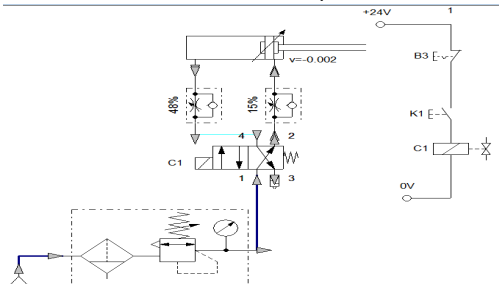
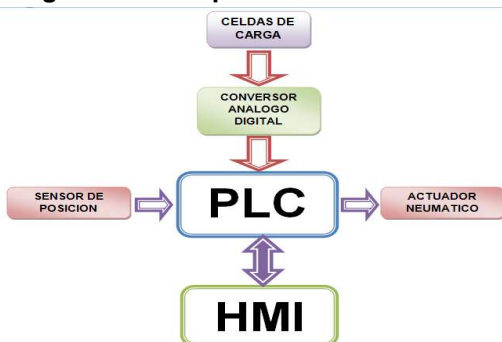


Figura 3.6 Diagrama neumático de activación del cilindro

3.7 Diagrama de bloques del sistema



4 HARDWARE y SOFTWARE DE CONTROL DEL SISTEMA DE PESAJE

4.1 Hardware

Para lo que es el sistema de control del peso del silo se ha decidido la utilización del siguiente hardware: un PLC marca SIEMENS de la serie s7 300, conjuntamente con los módulos de entradas y salidas digitales, como sistema de conversión de la señal análoga digital se utilizara un dispositivo de lectura de peso como es el dat 400 Presice, una pantalla HMI ktp 600DP marca siemens para la interfaz hombre máquina, como elementos más relevantes para la programación del control, del sistema de pesaje del silo, cabe recalcar que estos elementos estarán comunicados vía Profibus

CPU s7 300 315 2dp

HMIktp 600 dp

Dat 400 presice

La utilización de estos elementos dentro del proyecto, se consideró dos puntos muy importantes.

El sistema de pesaje de minerales, quedara como un sistema abierto, por tanto la utilización de un PLC que tenga excelentes prestaciones como los de la familia s300 son los adecuados, por su capacidad de memoria y la facilidad de incorporación de módulos para otras aplicaciones que complementen el presente proyecto, además se realizara la comunicación vía Profibus, ya que los equipos de la planta industrial está basada en este tipo de comunicación, y el presente proyecto debe complementar los equipos ya instalados dentro del proceso, el HMI que se utilizara nos ayudara de una manera intuitiva la utilización del dispositivo de pesaje.

4.2 Redes de comunicación

Es la transferencia de datos entre dos interlocutores con diferentes prestaciones y el control de un interlocutor por otro, además de la consulta o interrogación del estado interactivo del interlocutor. La comunicación puede establecerse mediante diferentes vías.

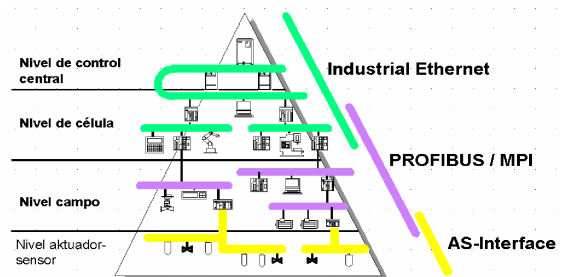
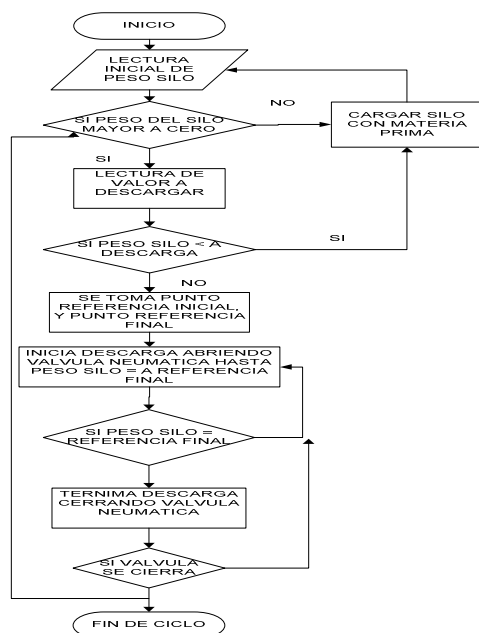


Figura 4.1 Niveles de automatización.

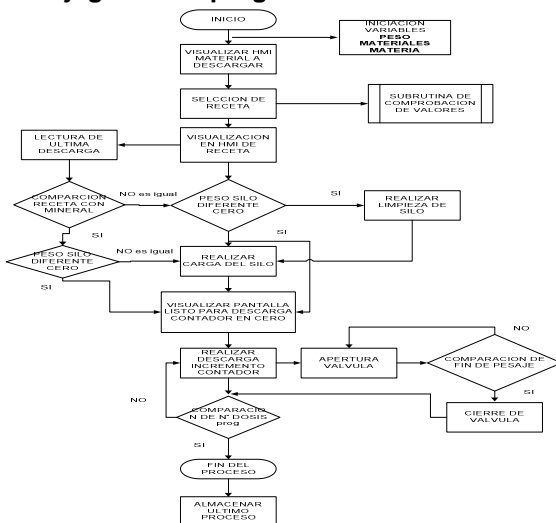
4.3 PROFIBUS DP

PROFIBUS-DP cumple los elevados requisitos de tiempo que se imponen para el intercambio de datos en el sector de la periferia descentralizada y los dispositivos de campo. La configuración DP típica tiene una estructura con un único maestro. La comunicación entre el maestro DP y el esclavo DP se efectúa según el principio Maestro-Eslavo. El maestro dirige todo el tráfico de datos en el bus, esto significa que los esclavos DP solo pueden actuar en el bus tras solicitarlo el maestro.

4.4 Flujograma programación PLC



4.5 Flujograma de programación del HMI



5 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se comprueba que todos los dispositivos del sistema se encuentren encendidos y no salte ninguna alarma de comunicación o de ningún otro tipo, revisión de los sensores que estén dando la señal de acuerdo a las características del mismo.

Se realiza una prueba inicial sobre el actuador neumático de apertura y cierre controlado desde el HMI, con esto se determina el correcto funcionamiento del sistema mecánico y control del actuador. Se realiza una primera lectura de peso en el silo, no necesariamente el valor mostrado en el HMI va a ser el peso real, ya que como es la primera lectura del equipo la lectura será errónea por qué no se encuentra calibrada.

Entonces para la calibración del sistema de pesaje se opta por la utilización de un peso patrón, el mismo que tiene un valor conocido, en este caso el peso patrón tiene un peso de 100 kg.

No Calibración	Peso Patrón	Lectura Obtenida	Porcentaje de error	CAUSA	SOLUCION
0	100 kg	155 kg	+ 55%	Sin calibración	1era calibración
1	100 kg	85 kg	-15%	Cableado celdas flojo	Reajuste del cableado
2	100 kg	115 kg	+15%	Celdas de carga a desnivel	Nivelación de las celdas de carga
3	100 kg	110 kg	+ 10%	Peso patrón ubicado de manera excéntrica en el silo	Colocar peso patrón en el centro del silo
4	100 kg	102 kg	+ 2%	Sensibilidad a la lectura muy alta	Calibración de la sensibilidad del conversor
5	100 kg	100 kg	0%	Solución de problemas anteriores	

Tabla 5. 1 Tabla de lecturas de calibración del silo

Ahora con la lectura real de los pesos se procede a realizar con las pruebas de la dosificación de los minerales.

La dosificación de minerales como el carbón, la cal, el ferro silicio, están dadas en diferentes medidas, para efectos del proyecto empezaremos las pruebas con el carbón tipo canasta. Obteniendo los siguientes resultados.

Descarga No	Valor determinado	Valor Descargado	Porcentaje de error
1	50 kg	65 kg	+30%
2	100 kg	116 kg	+16%
3	150 kg	162 kg	+8%
4	200 kg	213 kg	+6.5%
5	300 kg	315 kg	+5%

Tabla 5. 2 Valores determinado vs peso obtenido

De estos datos obtenidos se pudo observar que el principal problema que surgió fue principalmente una falla en la programación de activación de apertura y

cierre de la compuerta de descarga, para lo cual se revisa el programa en el PLC y se corrige el problema.

Descarga No	Valor determinado	Valor Descargado	Porcentaje de error
1	200 kg	199.6 kg	-0.2%
2	200 kg	200 kg	0%
3	200 kg	200 kg	0%
4	200 kg	201 kg	+0.5%
5	200 kg	200 kg	0%

Tabla 5. 3 Valores determinado vs peso obtenido 2

Luego de realizar la corrección por software se obtiene los resultados de la tabla anterior, en donde se observa, un gran mejoramiento, sobre los pesos deseados y los pesos obtenidos en el sistema de pesaje, dado que algunas variaciones se deben a que durante el ciclo de descarga también influyen otras variables, tal es el caso de las irregularidades del mineral.

6 CONCLUSIONES

Mediante la puesta en marcha del presente proyectos se disminuye el gran esfuerzo físico que realizaban los trabajadores destinados a realizar la dosificación de los minerales, bajando considerablemente los riesgos laborales.

El sistema de pesaje del silo esta dado para cierta granulometría no mayor a 30mm de material a pesar, debido a que si la granulometría del material es mayor a 30mm ocasionara que el mecanismo de la compuerta se trabase.

El sistema de montaje mecánico del silo debe estar en una superficie plana, para que las celdas de carga no obtengan lecturas erróneas, y esto provoque que se tenga dosificaciones erradas e incorrectas.

De acuerdo a la capacidad de las celdas de carga utilizadas el sistema de pesaje automático tiene una capacidad máxima de 2000kg con carga viva

Mediante la implementación de este proyecto, se puede determinar que todo lo que se puede medir, se puede controlar, y todo lo que se puede controlar se puede mejorar.

REFERENCIAS

[1]. Vilorio. J. (2005). *Neumática*, (2ª ed.) Editorial Thomson

[2]. Avilés. M. Caviedes. G (2011). Implementación Del Sistema De Dosificación Y Control De Pesaje Dinámico Para Empaquetamiento De Comestibles Sólidos (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Recuperada de <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/1316>

[3]. Rice Lake, Load Cell and Weigh Module Handbook, A Comprehensive

[4]. Formulas Matemáticas. (2008). En Lexus Editores S.A. (1ª ed.). Lima.

[5]. Ayuga, F. (1995), *Los Empujes Del Material Almacenado En Silos*

[6]. Echeverría. A. Sandoval. L. (2013), Dosificación automática de sólidos, para el laboratorio del AIM de la Escuela Politécnica del Ejército.(Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Campus Sangolquí,

[7]. Alciatore D G (2007). *Introducción a la Mecatrónica y los Sistemas de medición*. (3era ed.). México: McGraw-Hill

[8]. Shigley, J E., (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. (6ta ed.). México: McGraw-Hill

[9]. Ramón P, A. (2004). *Sensores y Acondicionadores de señal*. México:McGraw-Hill Interamericana

[10]. Piedrafitá. R. (2004). Ingeniería de la Automatización industrial (2ª ed.) México: Alfaomega.

[11]. Pérez. M. (2005), Instrumentación Electrónica, 2da edición.

[12]. Bolton, W. (2006). *Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y de Electricidad*, 3ª Edición.



Diego F. Terán P., nació en Otavalo-Ecuador el 13 de Noviembre de 1985. Realizo sus estudios secundarios en el Colegio Experimental Jacinto Collahuazo. Graduado en Ingeniería en Mecatrónica la Universidad Técnica del Norte el 2012. Estudio Energías Renovables en el 2006 en SEI (Solar Energy International)-EEUU. Actualmente como docente en la Universidad Técnica del norte y en proyectos de electricidad, energías renovables y automatización para la zona de Otavalo.

Área de Interés: Control y Automatización, Energías Renovables, Robótica e inteligencia artificial, Informática y microcontroladores. (ayllusck@gmail.com - dfteran@utn.edu.ec)



Edgar O. Taimal J. nació en San Gabriel – Carchi, Ecuador el 1 de Enero de 1984, Realizo sus estudios secundarios en el Colegio Nacional José Julián Andrade. Egresado de la Escuela de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte el 2014. Actualmente trabaja

como técnico mantenimiento en empresa Adelca Acerías del Ecuador. Área de Interés: Control y Automatización, Energías Renovables, Sistemas Hidráulicos y Pneumáticos. (edotaimal@gmail.com).