

FABRICACIÓN DE UN MODELO A ESCALA DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAMIENTO, DOSIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE COMPONENTES INERTES PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE DINAMITA EN LA EMPRESA EXPLOCEN C.A.

Betancourt Carlos / Reyes Daniel ▶ ESPE ▶ 19 de Agosto del 2012
beto.cb.06@gmail.com / danielreyesec@gmail.com

Resumen:

El presente proyecto se lo realizo en la empresa Explocen C.A., empresa ubicada en el poblado de Poaló, provincia de Cotopaxi desde el mes de Agosto del año 2012 hasta el mes de Agosto del presente. Dada la oportunidad política del crecimiento en el volumen de ventas al estar reformándose las leyes mineras, está empresa dio apertura a los autores del presente proyecto para la investigación con objetivo de mejora en la línea de producción de dinamita.

La investigación de la línea, ayudó a identificar los puntos en la línea de producción donde no se realizan de manera adecuada o se realizan de manera ineficiente los procesos y presentar una propuesta de mejora para estos problemas, además junto con la propuesta se construyó un prototipo a escala que refleja las hipótesis de la propuesta finalmente señalar también las conclusiones obtenidas, recomendaciones y un presupuesto de la solución mostrada.

Tres problemas importantes fueron encontrados en el área de formulación de componentes inertes, contaminación del espacio de trabajo, tiempos de proceso innecesariamente elevados y desperdicio de material. Problemas que pueden ser mejorados con la inversión adecuada generando ganancia no solo económica para la empresa sino también para la comodidad de los trabajadores.

Para solucionar estos problemas se planteó el diseño de tres etapas en el proceso: almacenamiento, dosificación y transporte de dos de los componentes inertes de la dinamita como son el Nitrato de Amonio y el Aserrín, hacia una tolva de mezclado para estos materiales. Junto con este diseño, se diseño también las mismas tres etapas para un prototipo a escala 1:200, escala aplicada a la masa a almacenar. De esta consideración se partió con el diseño geométrico del prototipo, para su posterior fabricación. Para poder realizar las pruebas, se diseño adicionalmente un HMI para el control del proyecto con las opciones de modo Manual y Automático.

Finalmente, Los resultados de las pruebas mostraron que el proyecto cumple con los objetivos planteados y de realizarse en un futuro, la línea de producción de dinamita presentará una mejora importante para la empresa.

INTRODUCCIÓN

EXPLOCEN C.A. es una empresa ecuatoriana productora de explosivos y accesorios, constituida el 27 de abril de 1977, con el objetivo de fabricar, importar, exportar, almacenar, comercializar y distribuir explosivos industriales y accesorios de voladura, para cumplir la demanda del mercado: hidrocarbúrico, minero, obras civiles, exploración sísmica, así como para atender las necesidades de seguridad nacional, Fuerzas Armadas y Policía Nacional.

Explocen fabrica varios productos en diferentes líneas de procesos. Entre ellas la línea de producción de dinamita en la cual se desarrolló este proyecto.

El proceso de formulación de dinamita se lo realiza en el edificio 104. Se trae las materias primas inertes: nitrato de amonio y aserrín.

Para comenzar el proceso, se vierte el nitrato de amonio en un molino. A su vez el aserrín pasa a través de un detector de metales para remover cualquier impureza metálica que haya quedado como posible residuo.

Posteriormente se recolectan las materias primas en sacos para ser pesadas de acuerdo a las cantidades requeridas en los parámetros de formulación para el tipo de dinamita que se esté fabricando.

Acabado el proceso de pesaje se transporta los sacos con los materiales inertes hacia la siguiente habitación en la que se mezclarán los materiales inertes con la gelatina explosiva.

DESARROLLO DEL TRABAJO

JUSTIFICACIÓN

Dadas las características actuales del proceso, el cual es realizado de manera completamente manual, el diseño de un sistema automático de alimentación ayudará a mejorar la precisión de dosificación de los

materiales en los porcentajes requeridos para obtener un producto de mejor calidad.

Al automatizar el proceso con el sistema de alimentación automático se puede tener una mejora de producción de 125 [kg/h] teóricamente, pero teniendo consideraciones de eficiencia del sistema automatizado, se plantea una mejora de 100 [kg/h], es decir del 40% de la producción actual.

Por lo tanto la producción esperada después de la implementación del sistema es de 350 [kg/h]. Lo que en un turno de 8 horas da 2800 [kg] de dinamita. Aplicando los porcentajes de composición de la dinamita de la Tabla 1.1, tenemos la capacidad de tolva requerida para cada material en la Tabla 1.2.

Producción en un turno de 8 horas 980 kg de materiales inertes

Elemento	Porcentaje [%]	Masa [kg]	Capacidad de los silos requerida para tres turnos de 8 horas [kg]
Nitrato de amonio	85	833	2800
Aserrín	15	147	500

Tabla 1. Capacidad requerida para los silos

El sistema planteado tiene como beneficio la reducción de los tiempos de ciclo al evitar los tiempos muertos generados por la producción manual, además que uno de los factores principales para la automatización de este proceso es la necesidad de aumentar la capacidad de producción.

Se podrá también minimizar la exposición de los operarios a este tipo de ambiente nocivo al tener el proceso monitorizado mediante una interfaz HMI que tiene el control y la visualización del sistema de manera remota y da flexibilidad al mismo.

Es importante la realización de pruebas a escala, debido a que éstas arrojan resultados apropiados para

► FABRICACIÓN DE UN MODELO A ESCALA DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAMIENTO, DOSIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE COMPONENTES INERTES PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE DINAMITA EN LA EMPRESA EXPLOCEN C.A.

una toma de decisiones temprana, sin incurrir en gastos innecesarios, y aplicación rápida de correctivos de ser necesarios, es por eso que la construcción de un adecuado modelo a escala del sistema será parte fundamental del trabajo a realizarse.

DISEÑO DEL SISTEMA

DISEÑO MECÁNICO

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Para realizar el análisis de cargas y esfuerzos en el silo, se utilizaron las conclusiones de los ensayos experimentales del libro “Silos” de Ravenet, obteniendo los siguientes resultados:

- ALTURA SILO: 2.60 [m]
- ALTURA ESTRUCTURA: 3 [m]
- DIÁMETRO: 1.05 [m]
- MATERIAL: ACERO INOXIDABLE 304 PARA EL NITRATO Y ACERO ASTM A36 PARA EL ASERRÍN.

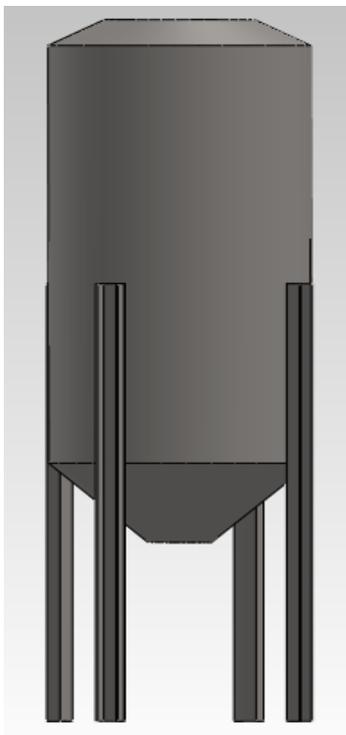


Figura 1. CAD silo Solid Works

DOSIFICACIÓN

Se calculó la velocidad de flujo requerida y el área de la apertura para lograr esto, con dichos valores se seleccionó de proveedores la opción más adecuada que se muestra a continuación.



Figura 3. Válvula tipo Orifice Gate de la serie Quantum

PESAJE

La medición de flujo de masa, se lo hace a través de celdas de carga, para esta selección estas, se escogió celdas de alta precisión y alto rechazo al ruido, ya que la dosificación requiere un nivel de error bajo al ser ingredientes químicos para fines explosivos.

A continuación se muestra la figura de las celdas de carga seleccionadas:



Figura 3 Celda de carga tipo flexión de viga de 1500 kg.

TRANSPORTE

La selección del tornillo sin fin, se llevó a cabo siguiendo el método indicado en el catálogo de Martin Sprocket para tornillos sin fin, este utiliza un conjunto de tablas y ecuaciones cuyo fin es obtener la geometría del sistema, así como también la potencia necesaria para la selección del motor más adecuado.

Para el diseño, lo primero fue tabular las principales propiedades físicas relacionadas con el transporte del Nitrato de Amonio como: tipo de material, densidad, tamaño de grano, higroscopía, etc. También se debe definir el flujo que se desea obtener, es decir la cantidad de masa que se espera movilizar en cierto tiempo determinado

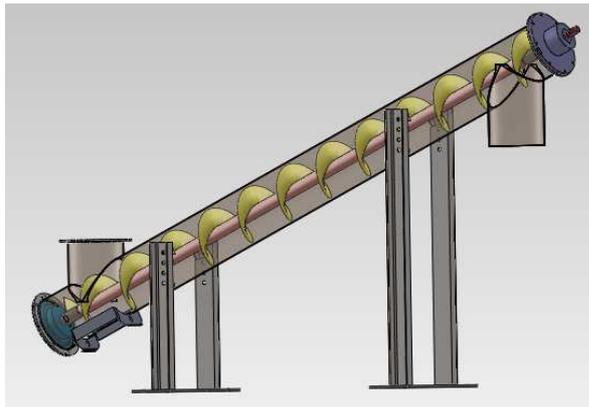


Figura 4. CAD tornillo sin fin Solid Works

ACCESORIOS

MOLINO

Dentro del proceso de fabricación de la dinamita, se necesita moler el nitrato de amonio previo a la mezcla con los demás materiales. Para esto se sugiere la adaptación de un molino industrial simple para completar el proceso. Las características principales para la selección del molino son el material de construcción y el tipo de molino. Para el nitrato de amonio se recomienda utilizar un molino construido de acero inoxidable. El tipo de molino óptimo para el

nitrato de amonio debido a sus propiedades físicas y químicas, es un molino de martillos. Esto dado que se debe controlar el calor generado por la fricción al ser molido el material y con otro tipo de molinos esta temperatura llega a ser mayor.

FLUIDIFICADOR

El ensilaje presenta ciertos problemas en el flujo a la salida de la tolva con algunos materiales debido a diferentes causas como: baja densidad, alta cohesión entre las partículas de material, alto rozamiento con las paredes entre otras.

En el presente proyecto, el aserrín precisamente por ser un material de densidad baja y sus partículas al poseer la capacidad de adherirse unas con otras para formar grumos o agrupaciones, no permite un flujo normal y se atasca a la salida del silo, si bien es cierto el ángulo de la tolva fue calculado en laboratorio midiendo el ángulo de talúd natural y el de rozamiento con el metal del silo, otras propiedades físicas que no se toman en cuenta en estos procedimientos ocasionan esta falta de flujo continuo.

Los diseñadores de silos han estudiado este problema en materiales como los ya descritos, y en consecuencia el mercado ofrece dispositivos conocidos como fluidificadores, que brindan una eficaz solución, existen varios tipos de estos mecanismos, los más usados son: sistemas de vibración magnética o neumática, o sistemas de ventilación.

En este caso, se sugiere que el fluidificador sea neumático debido a su bajo costo y alta efectividad, pero debido a que la humedad del aserrín debe ser menor del 3 [%] es necesario que el aire esté seco. Precisamente la empresa cuenta con una línea de aire seco en el edificio donde se lleva a cabo la fabricación de dinamita.

A Continuación se muestra el sistema de fluidificación escogido

► FABRICACIÓN DE UN MODELO A ESCALA DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAMIENTO, DOSIFICACIÓN Y TRANSPORTE DE COMPONENTES INERTES PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE DINAMITA EN LA EMPRESA EXPLOCEN C.A.

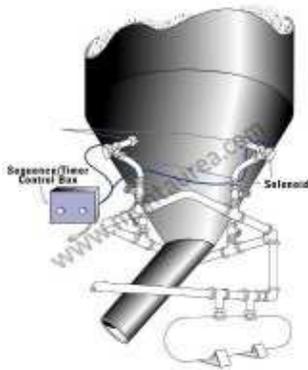


Figura 5. Fluidificador de alto rendimiento de la empresa Montàurea.

PROTOTIPO

Los sistemas de almacenamiento, dosificación y transporte fueron escalados geoméricamente de las dimensiones de la planta real, pero se tomo ciertas consideraciones de potencia en la selección de motores como la extrapolación de tablas en el caso de los tornillos sin fin.

Los elementos mecánicos del prototipo se muestran a continuación:

Almacenamiento:

- ALTURA SILO: 0.45 [m]
- ALTURA ESTRUCTURA: 0.65 [m]
- DIÁMETRO: 0.17 [m]



Figura 6. Silo Prototipo

Dosificación:

- DIÁMETRO: 3 [cm]
- TIPO DE ACTUADOR: MOTOR ELÉCTRICO 12 [V DC]
- VELOCIDAD ANGULAR: 500 [RPM]
- FINALES DE CARRERA ÓPTICOS



Figura 7. Compuerta dosificadora Prototipo

Transporte:

- DIÁMETRO: 5 [cm]
- LONGITUD: 50 [cm]
- FLUJO: 50.4 [kg/h]
- VELOCIDAD ANGULAR: 80 [RPM]
- POTENCIA: 2.4 [W]



Figura 8. Tornillo Sin Fin Prototipo

Molino:

- MOLINO DE GRANO
- FLUJO: 60 [kg/h]



Figura 9. Molino Prototipo

Fluidificador:

- VÁLVULA SOLENOIDE de 2 VÍAS 2 POSICIONES DE 2 - 8 [bar]



Figura 9. Válvula solenoide 12[V]

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez terminada la construcción y ensamblado del modelo a escala se procedió a realizar las pruebas para verificar el correcto funcionamiento del sistema según los objetivos planteados.

- Porcentaje de error en la dosificación menor al 3%.
- Reducción del tiempo de proceso en la etapa de formulación previo a la mezcla de materiales inertes.
- Reducción de la cantidad de polvo durante la formulación.

Las variables que sirven de indicadores para evaluar el funcionamiento del sistema son:

- Peso dosificado.
- Tiempo de dosificación.

Mediante estos indicadores se puede realizar una evaluación cuantitativa, así como cualitativa del modelo a escala.

Se realizarán 5 pruebas para 4 distintas cantidades de material. Tanto en el silo de nitrato de amonio como en el silo de aserrín. Los materiales a utilizarse son los que utiliza la empresa para la producción de dinamita. Aserrín molido y secado a menos del 3% de humedad y nitrato de amonio en forma de esferas como se utiliza previo a la etapa de molienda, los cuales nos facilitó la empresa.

Cabe recalcar que el material utilizado en las pruebas no puede ser reutilizado para la producción y debe ser desechado.

Para verificar el funcionamiento del sistema se debe comparar la cantidad requerida por el operario con la cantidad de material a la salida del sistema. Para esto se utilizó una balanza electrónica de precisión que permite medir la cantidad de material después del proceso.

El procedimiento a seguir para las pruebas es el siguiente:

1. Llenar el silo del material (aserrín o nitrato de amonio según sea el caso).
2. Seleccionar el modo automático de funcionamiento.
3. Asignar el peso a dosificar en la interfaz HMI.
4. Registrar el tiempo hasta que el material llegue a la salida del sistema de transporte.
5. Registrar el tiempo que tarda en salir el material.
6. Recolectar el material en el recipiente de control.

7. Verificar la cantidad de material después del proceso mediante la balanza electrónica de control.
8. Evaluar la cantidad de polvo en el ambiente después de la prueba cualitativamente.
- 9.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las tablas de medición de masa de los dos materiales, reflejan tanto similitudes como diferencias, entre las similitudes, podemos apreciar que en ningún caso las mediciones presentan error del 0 [%], una de las razones por las que sucede esto es que ambos materiales despiden polvo a la salida y al recibir el material en un recipiente abierto éste se levanta al aire perdiéndose una cantidad de material, otra razón es la vibración que generan los motores, si bien el filtrado en las celdas de carga es bueno, son muy susceptibles a la vibración, y debido a que las estructuras son altas y de patas delgadas, este problema se transmite directamente a las celdas.

Entre las diferencias, podemos ver que el error porcentual el Aserrín es mayor, esto debido a que las pruebas con Aserrín están hechas con masas menores que las de Nitrato y también debido a la compactación natural debido a las propiedades físicas de éste.

Cant. Requerida [g]	P1	P2	P3	P4	P5	Prom. Pruebas	Err. [%]
500	503	502	494	497	502	500	0.8
1000	1010	994	986	1010	983	997	1.3
1500	1492	1516	1480	1496	1515	1500	1.0
2000	1962	2029	2033	2034	2037	2019	1.6

Tabla 2. Tabulación datos pruebas nitrato de amonio

Cant. Requerida [g]	P1	P2	P3	P4	P5	Prom. Pruebas	Err. [%]
250	244	258	254	245	251	251	2.3
500	493	484	484	498	507	493	1.9
750	758	769	722	767	743	752	2.6
1000	1003	1022	1033	971	998	1005	2.40

Tabla 3. Tabulación datos pruebas aserrín

Del paso desde la salida de la compuerta hasta que empieza a salir del transportador de Nitrato se puede decir que se realiza al mismo tiempo para cualquier masa que se seleccione, esto se debe a que el tiempo que retarda el Molino aunque apreciable, es mínimo porque el nitrato de amonio es un material blando y se puede triturar rápidamente, adicional a esto, el flujo a través del molino es constante; la variación existe en el tiempo desde que los primeros gramos de nitrato de amonio llegan a En el aserrín se puede apreciar algo similar al Nitrato de Amonio, el tiempo desde la compuerta hasta la salida del sistema de los primeros gramos es constante, sin embargo es menor al aserrín, esto es debido a que la densidad del aserrín es menor que la del nitrato, y además como se dijo el molino no afecta en demasía, sin embargo al compararlo con el aserrín si existe una diferencia.

Nitrato [g]	Tiempo de Proceso [s]	Tiempo de dosificación [s]	Promedio y Desviación		Cantidad de polvo en el ambiente
			Tiempo de Proceso [s]	Tiempo de Dosificación [s]	
P1	28.75	11.46	27 ± 2	11 ± 1	0
P2	24.18	11.11	Error	Error	0
P3	28.07	12.49	Porcentual [%]	Porcentual [%]	0
P4	28.36	10.39			1
P5	25.10	10.33	7.79	7.96	1

Tabla 4. Tabulación datos pruebas nitrato de amonio

La principal diferencia está en el tiempo de dosificación. El tiempo de dosificación en el sistema de Aserrín también es proporcional a la masa que se ordena extraer, la diferencia está en que el flujo másico es menor al del Nitrato, esto es por la diferencia de densidad, y porque el flujo de aserrín no es constante a la salida de la tolva por necesitar un fluidificador, esto también se puede apreciar en la desviación estándar de las mediciones del tiempo de dosificación, ya que llega a los ± 5 [s] con un error del 8 [%] con respecto al promedio. la salida del transportador hasta que éste acaba de dosificar, esto es precisamente lo que se esperaba, porque no solamente aumenta el tiempo de dosificación al aumentar la masa, sino que es proporcional a ésta.

Ase rrín 750 [g]	Tiemp o de Proce so [s]	Tiem po de dosif [s]	Promed io y Desviac ión Tiempo de Proceso [s]	Promedi o y Desviaci ón Tiempo de Dosificac ión [s]	Cantid ad de polvo en el ambie nte
P1	22.25	46.64	25 ± 3	47 ± 2	2
P2	26.23	47.88	Error	Error	1
P3	21.23	49,77	Porcent	Porcentu	2
P4	27.46	45.65	ual [%]	al [%]	2
P5	25.68	46.35	10.30	3.43	1

Tabla 5. Tabulación datos pruebas aserrín

CONCLUSIONES

- La automatización de un proceso industrial, siempre conlleva cambios positivos para la empresa, en nuestro caso no se puede apreciar esto en la planta real, pero el modelo a escala nos brinda expectativas muy alentadoras y consideraciones importantes obtenidas a través del proceso de experimentación y construcción.
- Con respecto a la precisión en la formulación es clara la diferencia, en el proceso real, la diferencia puede llegar a ser de 1 [kg], mientras que en el proyecto realizado es de 20 [g] cuando es mayor, esto nos permite decir que al construir este sistema a escala real, la diferencia será bastante menor al 1 [kg], pero va a depender de la calidad de las celdas y de la instrumentación implementada para la medición.
- La calidad de la medición de las celdas es crucial. Ésta es la principal razón de los errores en el presente proyecto; el sistema debe ser inmune a la vibración ya que esta afecta la lectura de la masa, además debe tener un filtrado adecuado de señales para lograr lecturas confiables.
- Debido a que se escaló geométricamente el transportador y se extrapoló las tablas del procedimiento para diseñar tornillos sin-fin del catálogo de Martin Sprocket, los resultados no son 100 [%] iguales a los que se calculó, sin embargo tienen una muy buena aproximación por lo que las consideraciones tomadas previas a los cálculos fueron acertadas.
- Utilizar el módulo de Arduino como parte central en el control dio excelentes resultados. La simplicidad en la programación y en la implementación de las conexiones

facilitó mucho el desarrollo de la parte electrónica en la cual no hubo mayores problemas.

- El sello en los dosificadores es importante, sobre todo en el aserrín, ya que es el único elemento del sistema por el que podría fugar material y contaminar el ambiente de trabajo.
- En este proyecto, la medición de la apertura de de las compuertas se realizó indirectamente a través del flujo del material, pero se podría obtener un mejor control en la compuerta si se dispusiera de un preciso sistema de medida con sensores de tipo óptico o ultrasónico proporcionales a la distancia.
- El ambiente de trabajo mejora notablemente al realizarse el proceso de manera cerrada, porque evita que se volatilicen el aserrín y el nitrato molido, las pérdidas también son reducidas notablemente de esta manera.
- Las proyecciones de tiempos de proceso en caso de realizarse a escala real, sí se cumplirían totalmente, El modelo a escala, muestra que el sistema automático diseñado es bastante ventajoso comparado con el proceso actual de fabricación.

Diciembre 2012].

- [4] Omega, "Engineering technical reference: Omega," Diciembre 2012. [Online]. Available: <http://www.omega.com/prodinfo/LoadCells.html> . [Accessed Diciembre 2012].
- [5] Vortex, "Valves: Vortex," Diciembre 2012. [Online]. Available: <http://www.vortexvalves.es/iris/iris.php>. [Accessed Diciembre 2012].
- [6] Wikipedia, "Tornillo de Arquímedes: Wikipedia," Diciembre 2012. [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo_de_Arqu%C3%ADmedes. [Accessed Diciembre 2012].
- [7] Tecnoembalaje Ltda, 2009. [Online]. Available: http://www.tecnoembalaje.com/newsite/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=48&Itemid=25. [Accessed Diciembre 2012].
- [8] J. C. Santillán, "Criterios para el diseño de una cinta transportadora," 2008. [Online]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos58/disenocintas-transportadoras/disenocintas-transportadoras2.shtml>.
- [9] Universidad Nacional del Sur "Bahía Blanca", 2012. [Online]. Available: <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo12.pdf>. [Accessed Diciembre 2012].
- [10] N. P. Phokion, Nitroglycerine and Nitroglycerine Explosives, Baltimore: ANGRIF PRESS, 1998.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ravenet, Silos, Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1977.
- [2] Bühler AG, 2012. [Online]. Available: <http://www.buhlergroup.com/europe/es/products/silos-de-acero.htm>. [Accessed Noviembre 2012].
- [3] UDLAP, Junio 2012. [Online]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tron_p_b/capitulo_2.pdf. [Accessed