

Diseño De Una Tolva Para Almacenamiento De Desechos Sólidos Para Ser Quemados En Hornos Cementeros En El Ecuador

¹Roberto Elizalde Ruiz, ²Julián Peña Estrella

¹Ingeniero Mecánico, 2006, e-mail: Roberto.Elizalde@weatherford.com

²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1987, Profesor de ESPOL desde 1987, e-mail: jpena@espol.edu.ec

RESUMEN

Los desechos sólidos causan un severo impacto en el ecosistema. La quema de estos desechos es una solución para el medio ambiente, y una fuente de energía, debido a su capacidad calorífica. En esta tesis, se diseñará una tolva de recepción, para almacenamiento y bombeo de desechos sólidos hacia un horno cementero.

Después de presentar los antecedentes que llevaron a la propuesta de diseñar un sistema de quema de desechos sólidos, como impacto al medio ambiente, ahorro de combustible, y el Tratado de Basilea, un convenio entre países para reducir las emisiones de desechos al medio ambiente, se detallan los factores que regirán el diseño, que incluyen normas y estándares a aplicar, el sistema de bombeo a ser acoplado y factibilidad económica y técnica.

A continuación, se diseña la tolva de recepción. Se realizan los cálculos estructurales de cada uno de los elementos que componen la tolva, respetando siempre las normas de construcción, internacionales y locales. Una vez diseñada la tolva, se diseña el acople de la misma con el sistema de bombeo ya proporcionado. Finalmente, se analizan aspectos técnicos y económicos, para determinar las ventajas y restricciones de instalar dicha infraestructura, y las perspectivas a futuro de su uso.

ABSTRACT

Solid wastes cause a severe negative impact on the ecosystem. The burn of these wastes is a positive thing for the environment, and an alternative source of energy, due to its caloric capacity. This project presents the design of a solid wastes reception, storage and pumping tank to cement kilns.

After evaluating the different issues that resulted in the proposal of designing an alternative fuel burning facility, like impact on the environment, fuel savings, and the Basilea Treaty, a treaty among countries to reduce harmful waste emissions to the environment, we proceed to detail the canons that will rule the design, like standards

and codes applied, the pumping system to be attached to the tank, and the technical and economical feasibility.

Next, we proceed to design the 150 ton capacity tank. Structural analysis and calculations are made to every element and node of the structure, following the international and internal standards. Once the tank is designed, we need to adapt this structure to the pumping system provided by a third party. Finally, the construction schedule is designed, along with the final costs and technical solutions to construction problems encountered. To determine the advantages and restrictions of building such a structure, and the future perspectives of its use.

INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado trata del “Diseño De Una Tolva Para Almacenamiento De Desechos Sólidos Para Ser Quemados En Hornos Cementeros En El Ecuador”, cuyo fin es contribuir con una reducción de costos significativo a un sistema de quema de desechos sólidos a ser implementada en el país. El sistema planteado cuenta con varios componentes diseñados en el extranjero, entre estos una tolva de recepción de los desechos. Al diseñar esta tolva en el país, se espera reducir el costo del sistema en casi un 40%.

El diseño de la tolva de recepción de desechos sólidos debe cumplir todos los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo a ser acoplado, el cual consta principalmente de un tornillo sinfín que será acoplado por debajo de la tolva, y un bastidor para la alimentación de desechos al tornillo sinfín que irá dentro de la tolva. Se tendrán en cuenta varios puntos como facilidades para la inspección, mantenimiento y reparación de los componentes a ser acoplados, esfuerzos en la tolva provocados por el peso de los desechos, posibles sismos, y factores de forma, protección, prevención y métodos de seguridad en caso de incendios debido al alto punto de inflamabilidad de los desechos a ser receptados. Al poder resolver todos estos puntos, se garantiza un diseño de igual calidad al diseño extranjero, a un costo mucho menor.

Una vez identificados todos los factores mencionados anteriormente, se procede al diseño de forma, que nos determina la forma básica de la estructura. Para el diseño de forma, aparte del sistema acoplar, se debe tomar en cuenta la cantidad de desecho a manejar, el espacio disponible, ya que esta tolva debe ir por debajo del suelo, para que los camiones puedan descargar fácilmente los desechos. Otro punto importante,

es que la tolva no puede estar asentada en el piso, debido a que debajo de ésta va el tornillo sinfín, y debajo del tornillo sinfín, la bomba de fluidos pastosos, la cual bombea los desechos arriba a los quemadores del horno.

Con el diseño de forma determinado, se procede a realizar los cálculos estructurales de la tolva. Se analizan cada uno de los elementos que la componen, los soportes de la estructura, los rigidizadores del piso, las paredes con sus tensores, el techo, entre otros elementos, tomando siempre en cuenta todos los esfuerzos presentes, y las normas a cumplir, las cuales son principalmente la de diseños de tanques a presión, y las normas de seguridad de la planta cementera. Una vez diseñada la tolva, se procede a diseñar y programar el acople de los equipos y el resto del sistema. Al ser todos equipos pesados y deben ser llevados al fondo del agujero donde serán colocados, se debe crear un diseño respectivo del galpón que cubrirá al sistema, de forma que la reparación, mantenimiento y montaje no sean un problema.

En la última parte de este trabajo se detalla la factibilidad técnica de la ejecución de la obra. En esta fase se analizan factores de viabilidad de la misma, como por ejemplo si las dimensiones del proyecto están acorde a los provistos en la planta, si la excavación para el sistema es viable y hasta que punto, se analiza si las proyecciones de uso del sistema a futuro son compatibles con las dimensiones y flujo diseñadas. Otro factor que afecta esta parte del proyecto, es la programación de la obra, pues para que el proyecto sea rentable, debe culminar en cinco meses desde la presentación del proyecto completo. Entonces, se realiza una programación que incluye la importación de equipos, los trabajos de soldadura, cimentación y otros, de modo que se pueda cumplir esta expectativa

CONTENIDO

Los desechos sólidos constituyen un serio problema al medio ambiente, debido a que estos toman mucho tiempo y recursos para ser degradados naturalmente. El ejemplo más contundente es el polipropileno, un derivado del petróleo del cual se hacen vasos de plástico, el cual toma más de mil años en convertirse en partículas diminutas, sin poder ser nunca degradado.

Para acelerar este proceso, se procede a quemarlos. Esta es una manera muy eficaz de acelerar la degradación, con un impacto mínimo al medio ambiente. Aunque las partículas incineradas, que incluyen algunas tóxicas, como por ejemplo dioxinas y furanos, viajan por el aire grandes distancias antes de caer a la tierra, éstas no afectan

de manera grave al medio ambiente ni a las poblaciones cercanas, siempre que se sus niveles estén por debajo de niveles peligrosos, y el sistema de incineración se encuentre en un área abierta. Todas estos parámetros están regulados por la Secretaria de Medio Ambiente de cada país, las cuales se basan principalmente en las normas de la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental, que hace los estudios para establecer límites y tolerancias de estas sustancias en el aire. Es una gran ventaja que más de 1 tonelada de basura puedan ser convertidas en 300 Kg. De cenizas, y utilizar la energía producida en algo útil.

Considerando entonces la quema de estos desechos sólidos como una opción viable siempre que existan las regulaciones ambientales requeridas, los países interesados en esta solución, que son todos los países integrantes de la ONU, se reúnen en Basilea, Namibia, el 22 de marzo de 1989, para acordar las leyes que regirán el volumen de esta quema de desechos

Aparte de ayudar a degradar estos desechos, la quema de desechos sólidos representa también un ahorro en el combustible para el horno de una planta cementera. Ésta usa generalmente coque como combustible para alimentar el horno de los precalentadores. Al quemar los desechos sólidos en la pre-cámara del horno, éstos liberan toda su capacidad calorífica, disminuyendo el uso de combustible, lo que resulta en un ahorro. Mientras que el poder calorífico del coque usado para alimentar el horno es de 33,76 MJ/Kg. El poder calorífico promedio, pues éste depende de la mezcla de desechos que va entrando al sistema, de estos desechos, es de 16,5 a 34 MJ/Kg. Es entonces fácil apreciar como los desechos sólidos aportan considerablemente a mantener el calor requerido en el horno, ahorrando combustible al sistema.

La Planta Cementera para la cual se diseñó este sistema, receipta lodos de las siguientes características:

Tabla 1. Características generales de los desechos sólidos a quemar.

Flash Point Mínimo	38° C
Viscosidad	400 – 2000 cps
Densidad	400 – 2500 Kg /m ³
Nivel PH	4 – 11

Un factor que define las dimensiones de la tolva es el volumen necesario de almacenamiento. Después de un estudio por parte de la empresa, se logró tener una

proyección de la cantidad de desecho que tenía que almacenar la tolva, mientras entra material, y sale hacia los quemadores. Teniendo en cuenta el tiempo que toma descargar a una volqueta grande sus 33 m³ de material, menos el tiempo que toma a las bombas que trabajan a 12 m³/hr, mientras el sistema trabaje las 24 horas del día, se pudo determinar la cantidad de material que la tolva debe almacenar, la cual es de 3 volquetas llenas, o sea, 99 m³. Se decide entonces diseñar una tolva de 105 m³, de 7.5m x 3.5m x 4.0m. A esto se le suma la altura de las columnas inferiores, necesarias para albergar el tornillo sinfín y la bomba de lodos La forma rectangular fue escogida par facilitar la deposición de los desechos desde las volquetas, y para acoplar a esta estructura un bastidor diseñado por una tercera compañía

Para calcular las cargas que actuarán sobre la tolva, se procede a cuantificar el material. Se sabe que la tolva almacenará 105 m³, entonces como la densidad mayor se dijo que seria de 2500 Kg./m³, se determina que almacenará 262 500 Kg. de material. A esto se le suma el peso de la tolva, que se asumirá de 25 000 Kg. Después tenemos una carga viva que será originada por la acción del bastidor moviéndose dentro de la tolva, la cual por ser un movimiento muy lento, se lo asume de 4 000 Kg., entonces tenemos:

$$\text{Carga Muerta} = 287\,500 \text{ Kg.}$$

$$\text{Carga Viva} = 4\,000 \text{ Kg.}$$

A esto se le adhiere la fuerza que se origina por sismo. Para calcular esta fuerza se utiliza el manual AWWA – Welded Steel Tanks For Water Storage, que determina que éste peso es de $V_F = 127\,180 \text{ Kg.}$

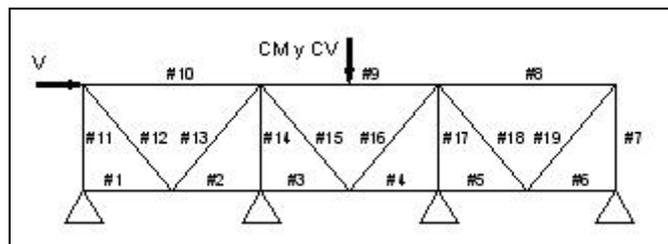


Fig. 1: Distribución de cargas de la estructura de soporte.

Una vez que se han definido las fuerzas que actúan sobre la estructura de soporte, se procede por métodos convencionales de análisis de estructuras, a seleccionar las vigas y columnas para cada elemento de la estructura, cuyo resultado es:

Tabla 2. Resultados de la selección de vigas.

Elemento	Resultado # Mayor (Kg)	DISEÑO	FACTOR DE SEGURIDAD
1	-31.225,4	2 UPN 120	1,51
2	31.225,4	2 UPN 120	-
3	14.941,3	2 UPN 120	-
4	14.941,3	2 UPN 120	-
5	8.496,0	2 UPN 120	-
6	-8.496,0	2 UPN 120	-
7	-38.507,4	2 UPN 140	-
8	-8.496,0	2 UPN 140	-
9	-31.960,9	2 UPN 140	-
10	-74.546,6	2 UPN 140	1,16
11	-56.591,8	2 UPN 140	-
12	46.902,1	2 UPN 100	-
13	-46.902,1	2 UPN 100	-
14	-71.993,4	2 UPN 140	1,04
15	-22.442,7	2 UPN 100	1,98
16	-22.442,7	2 UPN 100	-
17	-64.982,6	2 UPN 140	-
18	-12.776,7	2 UPN 100	-
19	12.776,7	2 UPN 100	-

Para diseñar las paredes y el piso de la estructura, se utiliza la teoría de placas planas. Esta teoría tiene dos objetivos prácticos. El primero es dividir la sección a diseñar en secciones más pequeñas, mediante la adición de vigas de soporte externo, o correas, las que absorberán parte de la carga, ayudando a diseñar una estructura más delgada. El segundo es proporcionar una teoría que describa de mejor manera la repartición de esfuerzos en la placa que se está diseñando, para calcular así una estructura en base a datos más reales de distribución de esfuerzo. Las correas o vigas de soporte, son calculadas con un análisis convencional de repartición de carga distribuida. Se llega entonces a diseñar una tolva con paredes de 12mm y piso de 20mm de espesor. Las vigas de soporte del piso se arman en una malla, separando vigas de cinco tipos diferentes, dependiendo del valor de la carga que soportan.

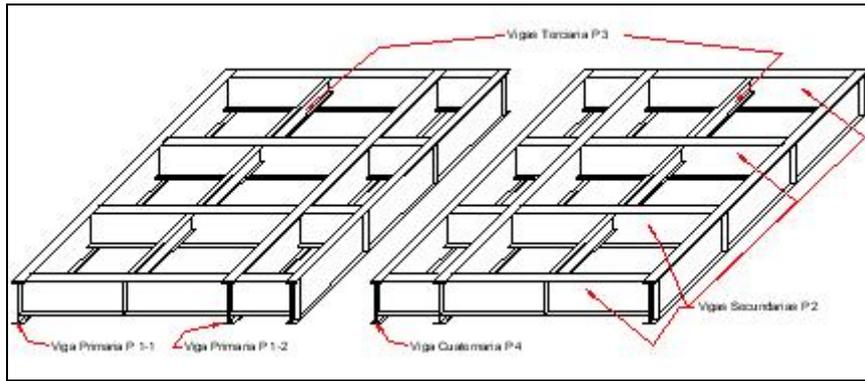


Fig. 2: Detalle de la Colocación de Vigas del Piso

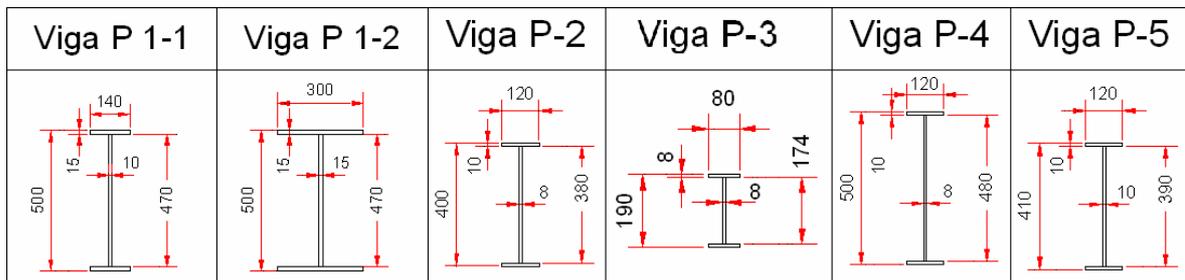


Fig. 3: Vigas Diseñadas para Soporte de Piso

Las correas para el soporte de las paredes también fueron diseñadas de la misma manera. Pero en este diseño entra también como soporte una malla interna, donde se depositarán los desechos, de tubos, los cuales irán conectados de manera transversal, empernados en la parte interior en cada cruce de la malla de correas exteriores. Esto es necesario, ya que de no haber esta malla interior, la presión que ejercería el material excedería el esfuerzo de fluencia de las paredes y armazón exterior. Si se quisiera diseñar un tanque sin estos soportes, el cálculo del espesor de las paredes es de más de 50 cms., lo cual no es factible ni económica, ni físicamente.

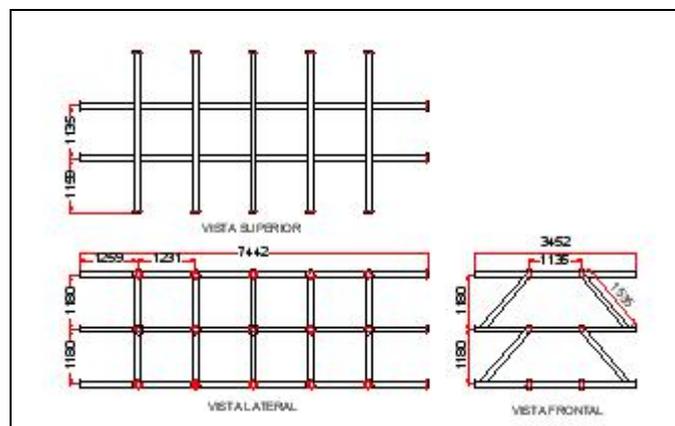


Fig. 4: Esquema de los Tensores de Pared

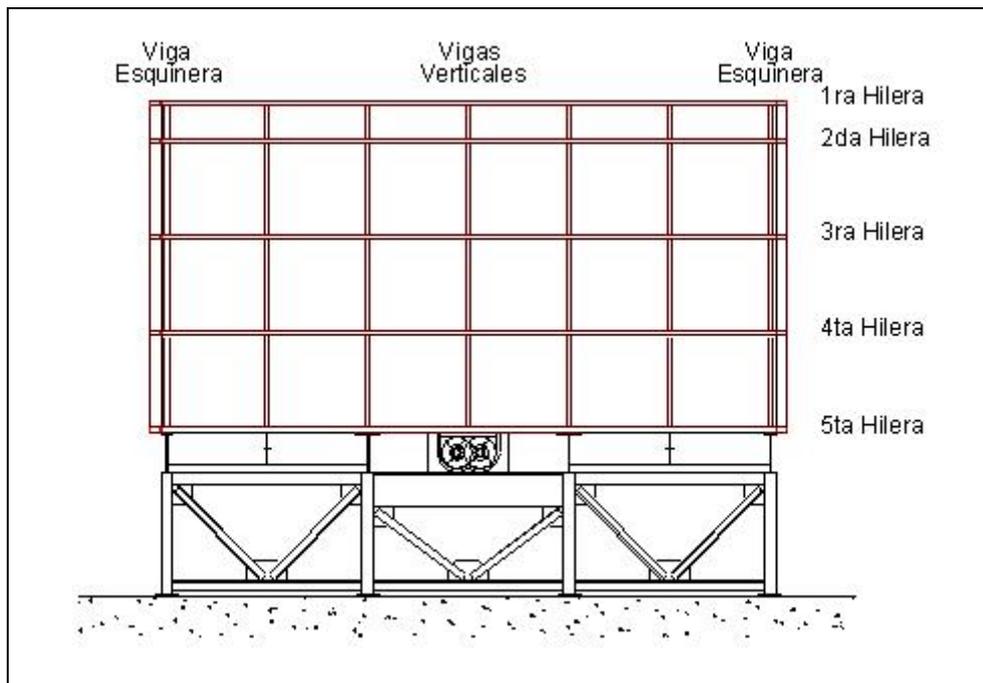


Fig. 5: Esquema de la Colocación de Correas de Soporte

Una vez que se ha diseñado la tolva de recepción y almacenamiento, se procede a acoplar ésta al sistema de bombeo, que fue provisto por una tercera compañía. El sistema de bombeo consiste en un bastidor que se debe situar al fondo, para empujar el lodo hacia el tornillo sinfín, situado en la mitad del piso, debajo de éste, el cual a su vez transporta los lodos a la bomba de pistones, debajo del piso y de tornillo sinfín.

Se prosigue con la programación de la obra. Para esta sección, se toman en cuenta todos los factores de tiempo y coordinación de la obra. Teniendo como referencia el plazo de 5 meses, en el cual el sistema debe estar listo, se coordinan los diferentes eventos en la ejecución de la obra, que incluyen los 4 meses que demora el equipo de bombeo en llegar y ser desaduanizado, la capacitación, vacunación y permisos de los trabajadores que montarán la estructura, la compra de bombas y otros materiales, así como los materiales de las diferentes secciones, eléctrica, de obra civil, y mecánica. Otros eventos tomados en cuenta son el tiempo de excavación de la fosa donde será montada la estructura, así como el alquiler de la maquinaria necesaria para el transporte y montaje de los equipos y estructuras.

CONCLUSIONES

El realizar el diseño de la tolva de recepción y almacenamiento de desechos sólidos, permitirá ahorrar a la empresa cementera más de \$ 100 000 dólares por concepto de compra del diseño alemán. A este valor ahorrado, también deben sumarse los valores por concepto de construcción, los cuales también deben ser mucho mayores, debido a las exigencias de la compañía alemana en su diseño y métodos de construcción.

La teoría de placas planas aportó al diseño de una tolva factible de construir, ya que permitió encontrar una forma de disminuir el espesor del piso y paredes. Redujo el grosor de las paredes de 35 mm a 12 mm, y el del piso, de 40 mm a 20 mm. Esta teoría para ser aplicada en las paredes de la tolva, necesitó de los tensadores de pared para poder dividir la misma en secciones.

Los tiempos críticos se reducen sustancialmente puesto que al fabricar los elementos más esenciales dentro de la obra, los tiempos de importación que se encontraban en 3 meses, se reducen a 1 mes por fabricar, en caso de haber optado por la tolva de la tercera compañía.

La forma cuadrada de la tolva permite una mayor área de recepción de desechos al momento de ser descargadas desde un volquete.

La estructura diseñada cumple con todos los parámetros limitantes del sistema, los cuales incluyen el soporte del peso de los desechos, una fuerza sísmica, cargas vivas y muertas, la presión que ejercen los desechos en las paredes, las dimensiones necesarias para el lugar elegido para su construcción, y un diseño adaptable y confiable con el sistema de bombeo propuesto por la compañía que provee el sistema de bombeo.

REFERENCIAS

1. MAQUIBUMCO SA. Febrero 2006. Información sobre degradación de plásticos: <http://www.maquinaria-para-inyeccion-de-plasticos.com.mx/inyeccionplastico.htm>
2. Comunidad Europea. Abril 2005. Tratado de Basilea: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28043.htm>
3. Choike. Enero 2006. Tratado de Basilea: <http://www.choike.org/nuevo/informes/1081.html>
4. Red Proteger. Junio 2006. Poderes caloríficos: http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm
5. Manual de la A I S C (American Institute for Steel Construction). Load and Resistance Factor Design. “Loads and Loads Combinations”. (AISC, USA 1998) Capítulo 4, pp. 4-25.
6. AWWA Asociación Americana De Estructuras Para Agua. Tanques Soldados de Acero Para Tanques de Agua. (AWWA, USA, 2002) Sección 13, Parte 3. pp. 71 – 76.
7. Chase, Richard B. Manual De Operaciones De Manufactura Y Servicios. “Matriz de Selección”. (Mc Graw Hill, 2002). Tomo II, Cap. 12.
8. Megyery, Eugene F. Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo. “Soporte de Tirante para Tanques Rectangulares.” (Limusa, México, 1998). pp. 190 – 197.
9. Normas Internas. Parte IV 2A: Criterio de Diseño para Equipo Mecánico. “Tanques Para Combustible Alternativo Liquido”. (Soporte Técnico Holcim, 2004), Capítulo 32.