

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HORNO ROTATORIO TIPO MARMITA HORIZONTAL PARA PRODUCCIÓN DE YESO BETA

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HORIZONTAL KILN TYPE ROTARY POT FOR THE PRODUCTION OF BETA PLASTER

Ing. Hutch Mike Miranda Montaña ^{1 * §}

Recibido: Junio 15, 2023; Aceptado: Agosto 30, 2023

RESUMEN

Debido al impacto generado por las emisiones y la gran cantidad de combustible consumido para la actual producción de yeso, se implementó una tecnología eficiente para la obtención del mismo, empleando un horno rotatorio que mejore las condiciones de procesamiento y abarate los costos de producción, teniendo como base la ética profesional, el respeto por el medio y la vida humana. El horno estará diseñado para un trabajo eficiente de forma discontinua y por periodos de tiempo, en los que la calcinación de la piedra mineral se repetirá sucesivas veces. Las mejoras esperadas son: la reducción de emisiones, disminución del consumo de combustible e incrementar la calidad del producto para cumplir los requerimientos estipulados.

Palabras claves: Yeso, Hemi hidrato, Di hidrato, Rotatorio, Eficiencia, Calcinación, Deshidratación, Emisiones, Combustible.

ABSTRACT

Due to the impact generated by emissions and the large amount of fuel consumed for the current production of gypsum, an efficient technology was implemented to obtain it, using a rotary kiln that improves processing conditions and lowers production costs, taking as a basis professional ethics, respect for the environment and human life. The kiln will be designed for efficient discontinuous work and for periods of time, in which the calcination of the mineral stone will be repeated successive times. The expected improvements are: reduction of emissions, decrease in fuel consumption and increase in product quality to meet the stipulated requirements.

As a concluding phase, the project culminated in the practical deployment of the systems within a functioning greenhouse. This real-world implementation served to validate the correct operation of each of the described components and their seamless integration into the greenhouse environment.

Keywords: Gypsum, Hemihydrate, Dihydrate, Rotating, Efficiency, Calcination, Dehydration, Emissions, Fuel.

Citación: Miranda Montaña Hutch Mike, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HORNO ROTATORIO TIPO MARMITA HORIZONTAL PARA PRODUCCIÓN DE YESO BETA.** Revista Científica EMINENTE 2023, 7-2: 71-77.

- ¹ Ingeniero Químico – Docente Ingeniería Ambiental, Industrial, Petrolera y Ciencias Básicas - Unidad Académica La Paz - Escuela Militar de Ingeniería.
- * Corresponde al Autor (correo electrónico: hmirandam@doc.emi.edu.bo).
- [§] Dirección de contacto Investigador primer autor: EMI – Irpavi: Av. Rafael Pabón s/n, Telf.: 78785057 - La Paz - Bolivia.

INTRODUCCIÓN

A inicios del año 2015 se realizó la sistematización de la empresa productora de yeso “ALIANZA” en la República Federativa de Brasil (figura 1), dentro la cual se observó el proceso productivo de obtención de yeso de forma mecanizada.

Figura 1. Yeso Alianza – Pernambuco Brasil.



Fuente. Alianza

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa Alianza, es un ente productivo, de materiales para la construcción como el yeso de fundición, El yeso de revestimiento, Bloques de Yeso para paredes pre fabricadas, Placas de yeso para cielos falsos y yeso cola que es un tipo de yeso mejorado.

Esta empresa es pionera en la producción de placas de yeso de forma mecanizada, utilizando su línea de producción denominada Carrusel patentada por ellos. La ubicación de la planta radica en el estado de Pernambuco en la región de Araripe, sector Trindade del Brasil.

La empresa es una de las más grandes del sector y también antigua con una larga tradición yesera.

DESCRIPCIÓN DEL ACUERDO PARA LA SISTEMATIZACIÓN

Gracia al apoyo por parte de la Cooperación Suiza “Swisscontact”, se pudo tener acceso a la sistematización de la planta productora de la empresa Alianza, puesto que ellos fueron quienes sustentaron los gastos involucrados en dicha investigación.

Se tuvo la misión de dar a conocer el proceso productivo de yeso, mediante réplicas de la experiencia, y también

hubo la necesidad de implementar dicha tecnología en Bolivia, en los sectores de:

Vichaya – La Paz; Monte Negro – Cochabamba; Entre Ríos – Tarija y Warnes – Santa Cruz

La tecnología se implementó en año y medio, lo cual hizo que el diseño fuera corroborado con la construcción de una planta prototipo instalada en Montenegro – Cbba., que produce 3,5 toneladas de yeso por hora.

RESULTADOS ESPERADOS

Implementar bajo las condiciones de nuestro país una planta prototipo, implicando las siguientes metas.

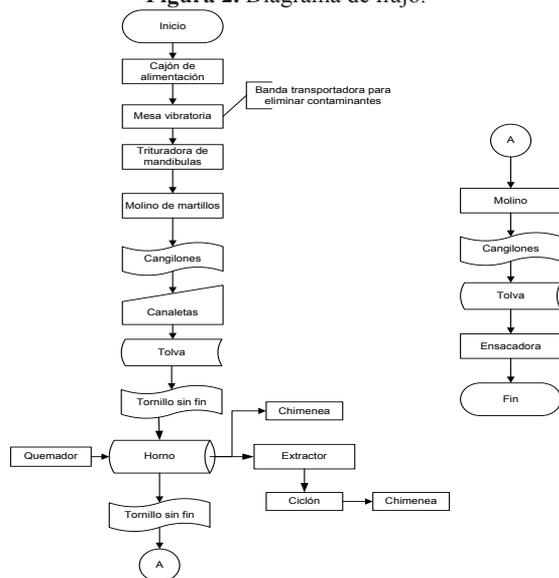
Diseñar y construir un horno rotatorio tipo marmita horizontal energéticamente eficiente para su implementación en Montenegro – Cochabamba, Bolivia, además de la línea de producción total. Esperando obtener:

- Determinar flujos de materia.
- Determinar flujos de energía.
- Implementar la línea productora prototipo.

DIAGRAMA DE LA LÍNEA DE PROCESAMIENTO

La figura 2 es un bosquejo sencillo de la configuración general de la planta.

Figura 2. Diagrama de flujo.



Fuente. Elaboración propia.

Según cálculos realizados la configuración de la línea de producción tiene las siguientes capacidades en cuanto a maquinaria, estas capacidades están representadas en la tabla 1.

Tabla 1. Capacidad instalada de equipos.

Equipo	Capacidad nominal	Capacidad real
Cajón alimentador	20 t/h	8 t/h
Trituradora	20 t/h	8 t/h
Molino	20 t/h	8 t/h
Cangilón	5 t/h	4 t/h
Tolva de mineral molido	4,2 t	5 t
Tornillo sin fin	20 t/h	5 t por 15 minutos
Horno de calcinación	4,2 t	4,5 t
Tornillo sin fin	20 t/h	5 t por 15 minutos
Molino de yeso	20 t/h	8 t/h
Cangilón	5 t/h	4 t/h
Tolva de yeso	3,5 t	4 t
Enscadora	2240 u/h	2250 u/h

Fuente. Elaboración propia.

METODOLOGÍA

De la calcinación, proceso por medio del cual el mineral, que es Sulfato de calcio Di hidratado por acción de calor pasa al estado de Sulfato de calcio Hemi hidratado, con lo que la sustancia inicial cambia por completo sus propiedades fisicoquímicas.

Dimensionamiento del horno rotatorio de calefacción indirecta (gas – leña).

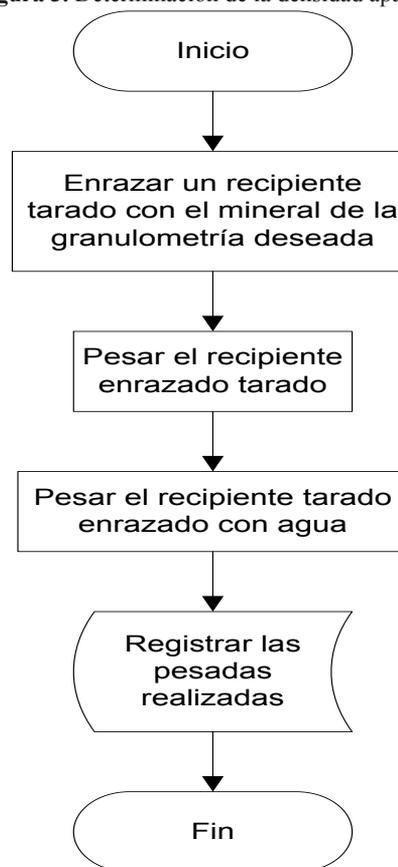
• Determinación de la densidad aparente del mineral de yeso

Para determinar la densidad aparente de un sólido granular se emplea el método de enrazado en un recipiente de volumen fijo.

Reduciendo el tamaño inicial de la muestra de alrededor de unos 100 mm de longitud principal a partículas cercanas al tamaño de un grano de arroz (5 mm aprox.)

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de la determinación de la densidad aparente.

Figura 3. Determinación de la densidad aparente



Fuente. Elaboración Propia.

• Cálculo de la densidad aparente

masa de recipiente tarado

$$m_R = 21,5688g$$

masa de recipiente tarado + mineral enrasado

$$m_{R+M1} = 56,0412g \quad m_{R+M2} = 55,9640g$$

masa de recipiente tarado + agua enrasada

$$m_{R+W} = 49,6672g$$

$$\delta_{aparente} \Big|_{(15/15)} = \frac{m_{R+M} - m_R}{m_{R+W} - m_R}$$

$$\delta_{aparente} \Big|_{(15/15)} = \frac{57,9412 + 57,9640}{49,6672 - 21,5688} - 21,5688$$

$$\delta_{aparente} \Big|_{(15/15)} = 1,2949 \rightarrow \delta_{aparente} \Big|_{(15/15)} = 1,3$$

Valor que es sumamente importante al tiempo de realizar el diseño.

Masa molecular de las sustancias participantes en el proceso.

$$\text{Agua} = (W) \rightarrow H_2O \rightarrow M_w = 18$$

$$\text{Dihidrato} = \text{Aljez} (X) \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow M_x = 172$$

$$\text{Hemihidrato} = \text{Yeso} (Y) \rightarrow CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O \rightarrow M_y = 145$$

$$\text{Anhidrita} = (Z) \rightarrow CaSO_4 \rightarrow M_z = 136$$

Cálculo de la cantidad de materia prima necesaria en la alimentación del horno

$$3500 \text{ kg } Y \frac{93,79 \text{ kg } Z}{100 \text{ kg } Y} = 3282,65 \text{ kg } Z$$

$$x \text{ kg } X \frac{79,07 \text{ kg } Z}{100 \text{ kg } X} = 0,7907x \text{ kg } Z$$

$$3282,65 \text{ kg } Z = 0,7907x \text{ kg } Z \quad x = 4151,57 \text{ kg } X$$

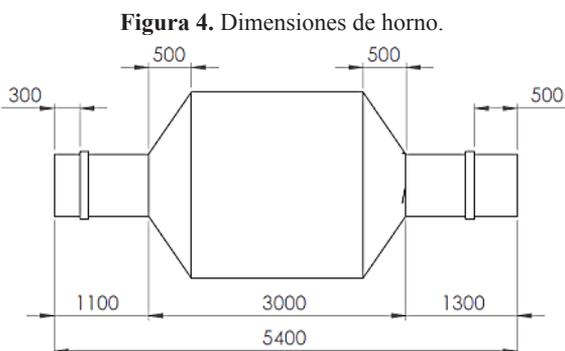
Cálculo del volumen de Dihidrato para el horno.

$$4151,57 \text{ kg } X \frac{1 \text{ m}^3 X}{1300 \text{ kg } X} = 3,1935 \text{ m}^3 X$$

Cálculo del volumen del horno por la materia prima.

$$3,1935 \text{ m}^3 X \frac{1 \text{ m}^3 \text{ total}}{0,3 \text{ m}^3 X} = 10,6451 \text{ m}^3 \text{ total}$$

Aplicando los anteriores valores y geometría de las secciones principales del horno se llega a las dimensiones que cubren el requerimiento de la materia prima por calcinación, ver figura 4 para apreciar las dimensiones básicas del horno rotatorio.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se aprecia el horno montado en instalaciones de la planta y en la figura 6 se tiene ya montado todo el sistema.

Figura 5. Horno montado en planta



Fuente. Elaboración propia.

Figura 6. Sistema completo.



Fuente. Elaboración propia.

Requerimiento de combustible.

Cálculo de la cantidad de leña a utilizar.

La leña necesaria para la obtención de 3,5 toneladas hora es:

$$2\,146\,368,5 \text{ kJ} \frac{1 \text{ kg Leña}}{15481 \text{ kJ}} = 138,65 \text{ kg Leña}$$

Cálculo de la cantidad de Gas Natural a utilizar.

El tipo de quemador para cumplir el requerimiento energético es de tipo pre mezcla de inducción, en donde el gas motriz es el gas natural, requiriendo dos quemadores móviles.

Para determinar que la masa de yeso este en su punto óptimo se instalara medidores y registradores de temperatura, para el control de la calcinación en tiempo real. Teniendo en cuenta que la temperatura recomendada de calcinación es de 600° C y en la masa calcinada de no más de 125° C.

• **Cálculo del poder calorífico medio del Gas Natural con composición promedio de Bolivia.**

Tabla 2. Composición, Gravedad específica y Poder Calorífico del GN, extractado de reporte de análisis cromatográfico

YPFB – Cochabamba.

Componentes		y %mol	y
C1		92,36	0,9236
C2		4,36	0,0436
C3		1,04	0,0104
iC4		0,1	0,0010
nC4		0,26	0,0026
iC5		0,05	0,0005
nC5		0,06	0,0006
C6		0,04	0,0004
N2		0,61	0,0061
CO2		1,12	0,0112
		100	1
M	SG	D kg/m ³ N	PCI kJ/ft ³ N
17,53	0,608	0,783	1038,3

Fuente. JAIMEZ, Vania. Determinación de Factores de Emisión en Yeseras de la localidad de Sipe – Sipe. Proyecto de grado en Ingeniería Química. U.C.B. 2014.

• **Cálculo de la cantidad de Gas Natural utilizado**

$$2\ 146\ 368,5\text{kJ} \frac{1\text{ kg GN}}{46829,14\text{ kJ}} = 45,834\text{kgGN}$$

Valor que evoca la obtención de 3,5 toneladas de yeso por hora y que expresado en volumen y por mes da:

$$1361,57 \frac{\text{MSCF}}{\text{mes}} \text{GN}$$

MSCF : miles de pies cubicos estandar

• **Cálculo del inyector**

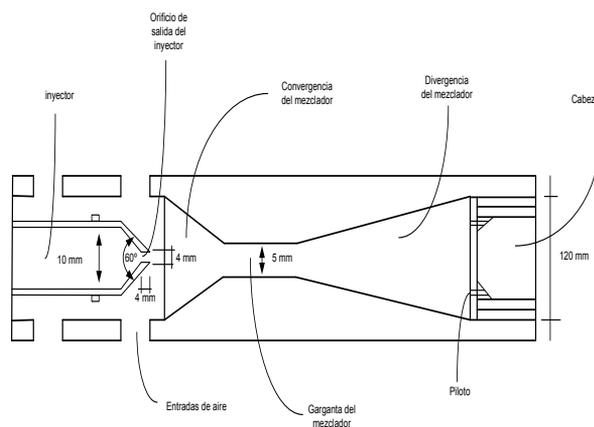
Tomado como factor de entrada en el diseño una diferencia de presión entre la entrada y la salida del inyector de 85 milibares, y un coeficiente de descarga de 0,9 el diámetro del inyector debe de ser:

$$m_{\text{Combustible}} = C_d \frac{\pi D_{\text{iny}}^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{\text{Comb}}}}$$

$$D_{\text{iny}} = \sqrt{\frac{4 * 37,2845}{3600\pi C_d} \sqrt{\frac{0,7887}{2 * 8500}}} * 1000 \quad D_{\text{iny}} = 9,99\text{mm}$$

De donde se obtiene las medidas del quemador proporcionadas en la figura 7.

Figura 7. Quemador para calcinación.



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- La implementación de la planta se dio en la localidad de Montenegro en el departamento de Cochabamba.
- El horno diseñado fue construido en su totalidad por el grupo industrial RIST. Mientras que la línea de operaciones fue construida por expertos mecánicos de inmediaciones de la planta, todo bajo el requerimiento del autor.
- Los quemadores y el control de temperatura fueron diseñados y posteriormente construidos por el grupo industrial RIST bajo requerimiento del autor.
- Se logró alcanzar la disminución del consumo de leña en comparación a la actual producción, de 182 kilogramos a 65 kilogramos para poder obtener una tonelada de yeso.
- La disminución de gas natural fue de 1045 scf a 913 scf (Standard cubic foot = pie cubico estándar).

- La eficiencia energética en cuanto a leña redujo de 2,8 MJ/kg de yeso a 1 MJ/kg de yeso y en cuanto al gas natural de 1,15 a 1 MJ/kg de yeso. Con lo que se demuestra la eficiencia del horno y la línea de producción.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue posible gracias al apoyo de la Escuela Militar de Ingeniería, Dirección Nacional de Investigación Ciencia y Tecnología – DNICYT, gracias por incentivar la publicación de conocimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MIRANDA, Mike. Diseño y construcción de horno rotatorio tipo marmita horizontal para la producción de yeso beta. Proyecto EELA. “Swisscontact - U.M.S.A”. 2016.
- [2] JAIMEZ, Vania. Determinación de Factores de Emisión en Yeseras de la localidad de Sipe – Sipe. Proyecto de grado en Ingeniería Química. U.C.B. 2014.
- [3] ABREU, E. M. X.: Estado da influencia de diferentes gessos produzidos na região Nordeste

do Brasil para a fabricação de moldes utilizados na indústria de louças sanitárias, 2005. Disponível: <http://www.bdttd.ufpe.br/bdttd/tedeSimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7985>. Acessoem: 18 de julho de 2013.

- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL, 2012. Disponível: < <http://www.drywall.org.br/>>. Acessoem: 18 de julho de 2013.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO DE MINÉRIO – DNPM: Gipsita. Sumário Mineral, 2012. Disponível: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7393>. Acessoem: 18 de julho de 2013



Hutch Mike Miranda Montaña. Nació en La Paz - Bolivia, Ingeniero Químico titulado de la Universidad Mayor de San Andrés. Con especialización en Ingeniería Ambiental, Alimentos y Mecánica. Docente de Operaciones Unitarias, Bioestadística, Producción Petrolera I, Calculo II, Análisis y Tratamiento de agua (UPEA), Química General. Investigador de Escuela Militar de Ingeniería – UALP. Investigador IIDEPROQ (UMSA).