

Diseño de levantadores de pulpa en molinos SAG mediante dinámica computacional de fluidos

Francisco Javier Rodríguez Serrato
franciscoj_serrato@hotmail.com

José Ángel Delgadillo Gómez
jose.delgadillo@uaslp.mx

Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Resumen

En este trabajo se muestra el diseño de los levantadores de pulpa mediante el uso de la técnica de dinámica computacional de fluidos (CFD), con el paquete de simulación de ANSYS Fluent. Mediante la caracterización de dos modelos, con diferencia en la distribución y cantidad de los *slot's*, es decir, el conducto de conexión entre la cámara de molienda y los levantadores de pulpa. Se evalúa el reflujo de los evacuadores de pulpa, definición de ubicación de *slot's*, con lo que se busca reducir el efecto alberca de pulpa y reflujo.

Palabras clave: Molinos SAG, levantadores de pulpa, ANSYS Fluent, dinámica computacional de fluidos.

Design of lifters of pulp in SAG mills using computational fluid dynamics

Abstracts

In this paper we show the design of pulp lifters using the technique of dynamic computational fluid (CFD) using the simulation package ANSYS Fluent. For this study, two models are characterized, with difference in the distribution and quantity of the slots, which means, the connecting line between the grinding chamber and pulp lifters. Backflow in pulp evacuators and the definition of the location of the slots are evaluated, which seeks to reduce the pool effect in the pulp and the backflow.

Keywords: SAG mills, pulp lifters, ANSYS Fluent, computational fluid dynamics.

Projeto de levantadores de polpa em molhos SAG utilizando dinâmica de fluidos computacional

Resumo

Neste trabalho se apresenta o projeto de levantadores de polpa utilizando a técnica de dinâmica de fluidos computacional (CFD), feito com o programa de simulação ANSYS Fluent, mediante a caracterização de dois modelos, com diferença na distribuição e quantidade de *slots*, ou seja, a linha de ligação entre a câmara de moagem e os levantadores de polpa. É avaliado o refluxo dos evacuadores de polpa e a definição da localização dos *slots*, pesquisando reduzir o efeito alberca e o refluxo.

Palavras chave: Molhos SAG, levantadores de polpa, ANSYS Fluent, dinâmica de fluidos computacional.

1. Introducción

Los molinos SAG están siendo caso de estudio por su eficiencia en el procesamiento de minerales, uno de sus principales inconvenientes es el efecto alberca de pulpa. El efecto alberca de pulpa ocurre por una deficiencia en la capacidad de los levantadores de pulpa, para sacar pulpa de la cámara de molienda. Dentro de la cámara de molienda se empieza a formar una alberca en la parte superior de la carga si ésta se eleva en la zona de impacto, se disminuyen los impactos de ruptura y causa una rápida sobrecarga del molino (figura 1).

Otro inconveniente causado por un diseño ineficiente de los levantadores de pulpa, es el regreso del flujo de la pulpa (reflujo), cuando la recámara del levantador de pulpa se encuentra cargada y esta pasa por encima de la superficie libre de carga de la cámara de molienda, fluye de regreso a la recámara de molienda. Este fenómeno reduce la eficiencia de molienda, provocando un mayor impacto ecológico [1].

S. Latchireddi y S. Morrell [2], reportan que la ineficiencia se debe al reflujo a la cámara de molienda, debido a que la pulpa desde que se llena el levantador, está en contacto con el *slot* y éste a su vez con la pulpa en el interior del molino, hasta que se descarga en el muñón.



Figura 1. Efecto de alberca de pulpa.

2. Modelos VOF y K-ε

Para la descripción de la superficie entre dos fluidos, se utiliza el modelo *Volume of fluid* (VOF) [3].

En la descripción del comportamiento turbulento viscoso de la pulpa se usa el modelo κ - ϵ . El modelo κ - ϵ es un modelo de dos

ecuaciones, modelo de transporte. La solución de las ecuaciones de transporte, separadas, permite que la energía cinética turbulenta (κ) y la tasa de disipación cinética turbulenta, puedan ser determinadas de manera independiente [4].

La trayectoria de la pulpa dentro del molino se representa en la figura 2.

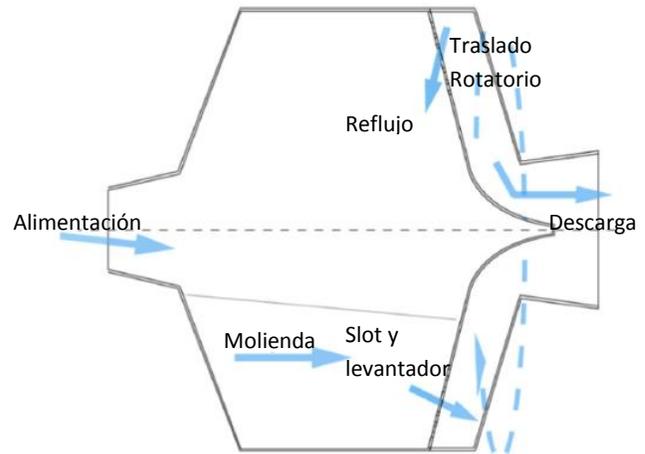


Figura 2. Representación de la trayectoria de la pulpa dentro de un molino SAG.

Los modelos VOF y K- ϵ , son utilizados en el paquete ANSYS Fluent para la dinámica computacional de fluidos (CFD). Investigaciones hechas por N. S. Weerasekara y M. S. Powell [5], validan el uso de la técnica CFD, para la predicción de agua como pulpa, en un molino de laboratorio.

3. Simulación de molino SAG

En base a lo descrito anteriormente, se busca diseñar los levantadores de pulpa de un molino SAG para reducir el efecto alberca de pulpa y el reflujo, aumentando la eficiencia del mismo.

Las simulaciones aquí descritas se realizaron con ANSYS 14.5, FLUENT en una *WORKSTATION* Dell, modelo *Precision* T7600, procesador: Intel® Xeon® CPU ES-2620 @ 2.00GHz. 16GB de memoria ram, sistema operativo basado en 64bits, Windows 7 profesional.

3.1 Geometría

Se presentan dos modelos de molinos SAG, el modelo A (figura 3), está compuesto de 52 laines, 26 levantadores, cada levantador esta comunicado con la cámara de molienda con 12 *slot's* como se muestra en la figura 4.1. Cada levantador de pulpa consta de una salida.

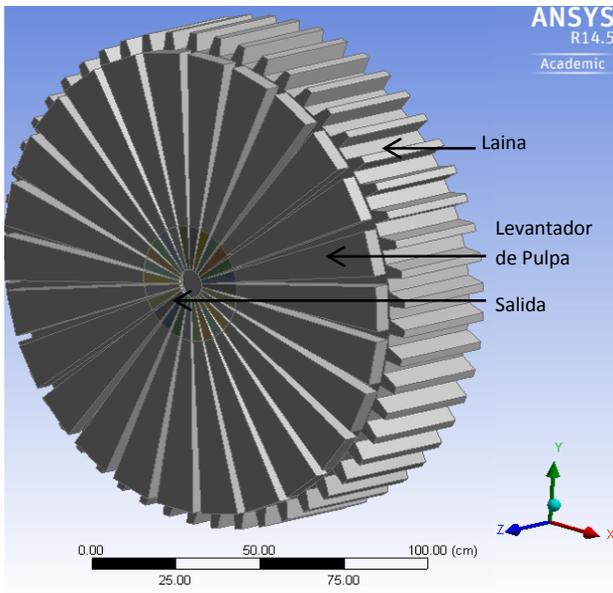


Figura 3. Vista isométrica en 3D del interior de un molino SAG modelo A.

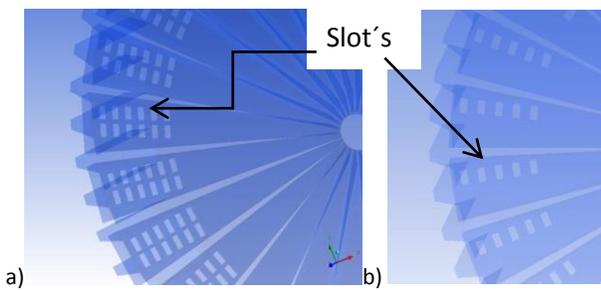


Figura 4. Vista isométrica en 3D de slot's en levadores de pulpa modelos A (izquierdo) y B (derecho).

El modelo 2, está compuesto de 52 laines, 26 levadores, cada levador esta comunicado con la cámara de molienda con 5 slot's como se muestra en la figura 4.2.

3.2 Discretizado

Las propiedades de los discretizados utilizados para cada modelo se muestran en la tabla 1. En ambos modelos se utilizó tetraedrones, como se muestra en la figura 5.1 el modelo A y en la figura 5.2 el modelo B.

Tabla 1. Características y propiedades de discretizado en modelos A y B.

Modelo	N° unidades	N° nodos	Ortogonalidad máxima	Oblicuidad máxima
A	109 197	23 865	0,99392963	0,96310265
B	99 558	21 888	0,99543901	0,96310376

3.3 Condiciones frontera

En ambos modelos, los fluidos utilizados fueron agua y aire, usando las propiedades de la base de datos de *Fluent*, la simulación se estableció con giro en sentido de las manecillas del reloj, con las condiciones mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones frontera a $t = 0$.

	Modelo 1		Modelo 2	
Agua	0,08478726	m ³	0,08464576	m ³
Aire	0,6381314	m ³	0,6370292	m ³
Velocidad	2	rad/s	2	rad/s

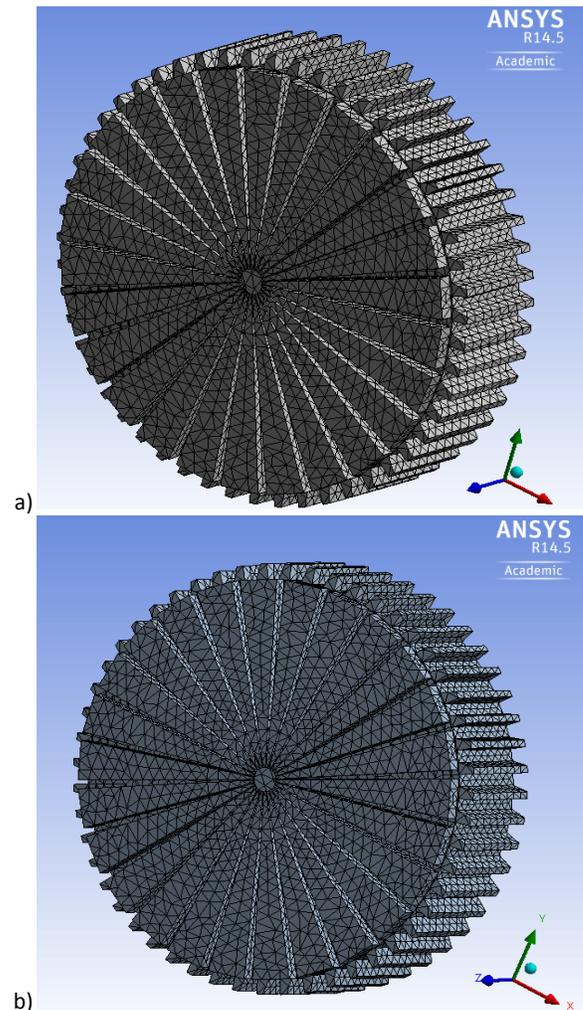
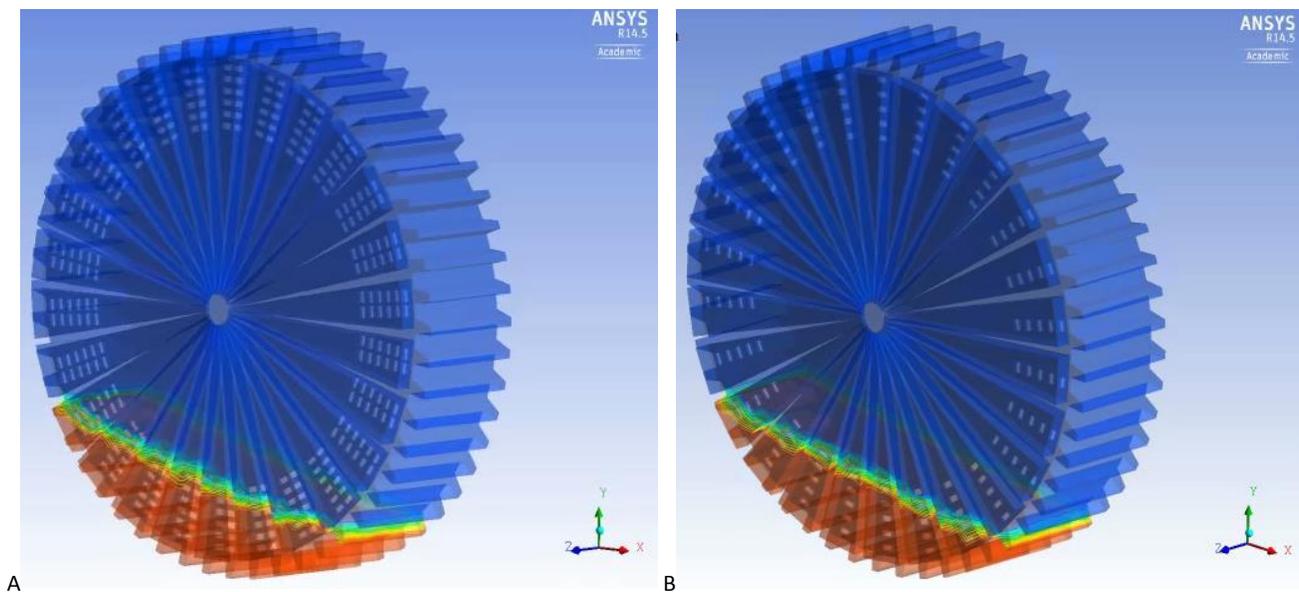


Figura 5. Vista isométrica en 3D de discretizado de molino SAG, modelos A y B.

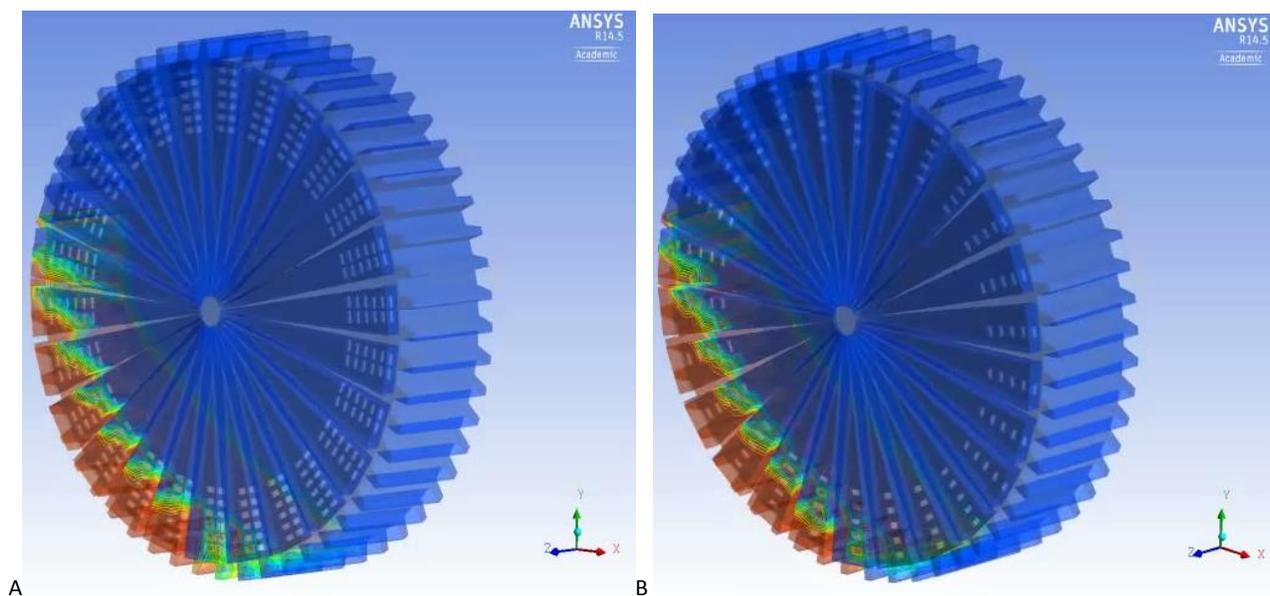
4 Resultados

Se tiene un aumento de fluido en los evacuadores, disminución de reflujo en modelo B.

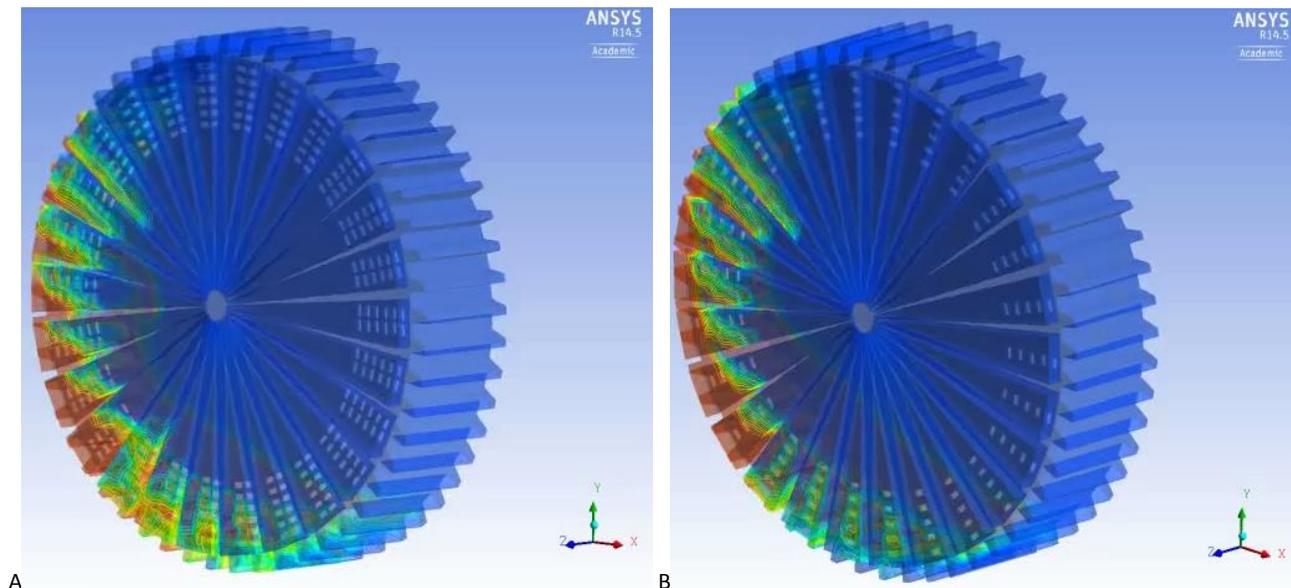
Tiempo = 0 segundos



Tiempo = 2,5 segundos

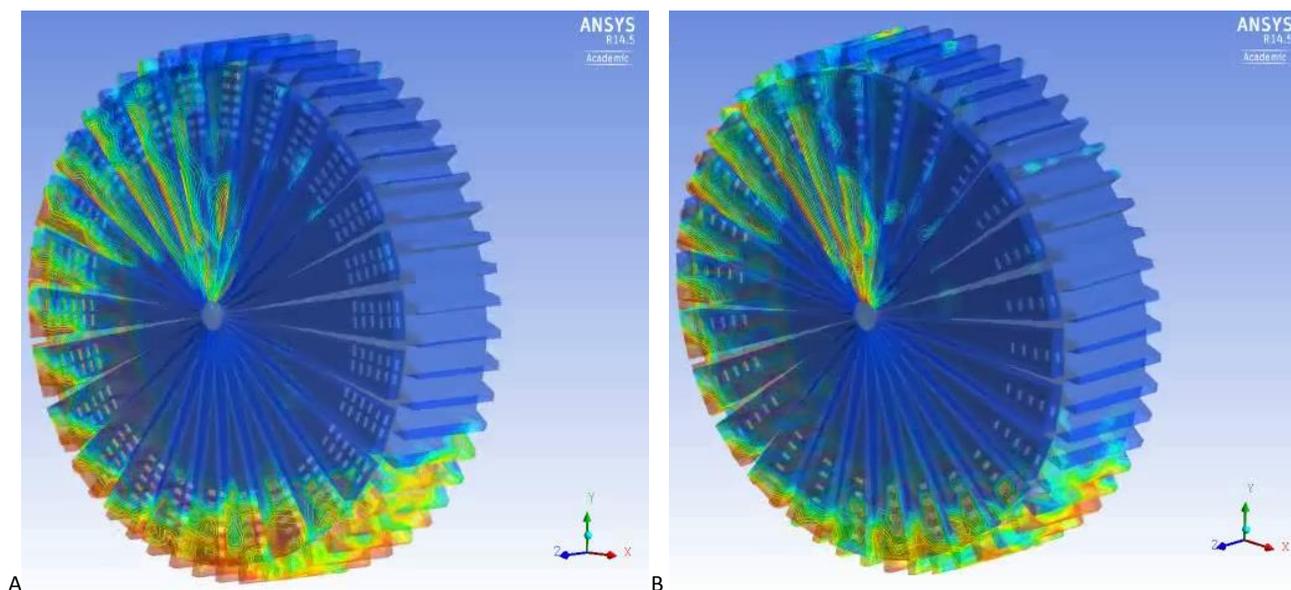


Tiempo = 3 segundos

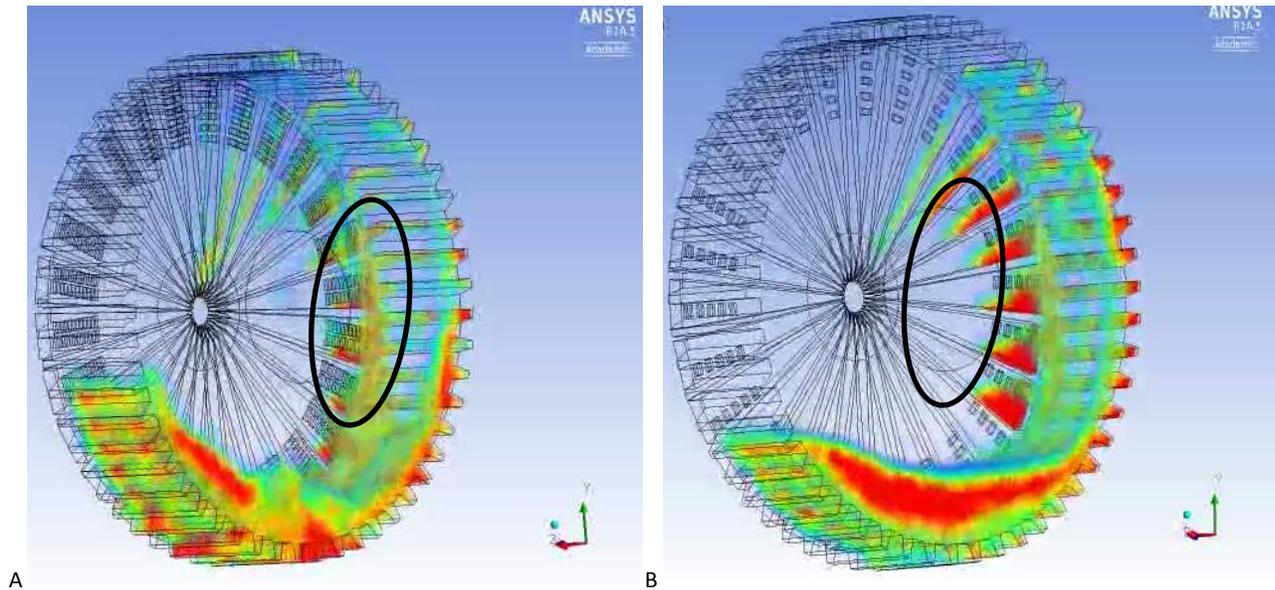


Aumento de fluido dentro de evacuador, despues de sobrepasar el nivel de pulpa dentro de la camara de molienda.

Tiempo = 6 segundos



Tiempo = 6 segundos



Menor cantidad de reflujos en el modelo B, después de pasar el nivel de pulpa en la cámara de molienda.

Figura 6. Desarrollo de perfil de evacuación de pulpa de los modelos A y B.

Conclusiones

1. La interrupción del contacto de la pulpa ubicada en la cámara de molienda y el evacuador, al sobrepasar el nivel de carga de pulpa, ayuda a reducir el reflujos y el efecto alberca de pulpa, aumentando eficiencia.
2. La ubicación de los slot's, en la parte derecha del evacuador de pulpa, aumenta la cantidad de fluido retenido, pero disminuye la capacidad de recarga del evacuador.
3. No se tiene una mejora apreciable en la descarga del evacuador de pulpa, debido a que la cantidad de fluido descargado, en los evacuadores, no depende de la ubicación de los slot's, siempre que estos estén a una altura inferior a la mitad de la altura del evacuador.

Bibliografía

1. CLEARY, Paul W., SINNOTT, Matt; MORRISON, Rob. "Prediction of slurry transport in SAG mills using SPH fluid flow in a dynamic DEM based porous media". *Minerals Engineering*. 19, 1517–1527, 2006.
2. LATCHIREDDI S., MORRELL S. Slurry flow in mills: grate-pulp lifter discharge systems (Part 2). *Minerals Engineering* 16, 635–642, 2003.
3. BARRAZA, Juan Pablo; CRUCHAGA, Marcela Andrea. "Comparative study of numerical models for moving interface problems: analysis of the collapse of a liquid column". *Revista chilena de ingeniería*. vol. 15, Nº 1, pp. 65-75, 2007.
4. REAL-RAMIREZ, Cesar A.; GONZALEZ-TRE, Jesús. "Analysis of three-dimensional vortices below the free surface in a continuous casting mold". *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. Volume 18, number 4, page 397, 2001.
5. WEERASEKARA, N. S.; POWELL; M. S. "Performance characterization of AG/SAG mill pulp lifters using CFD Techniques". *Minerals Engineering*. 2014.