



# MEJORA DEL PROCESO DE MOLIENDA DE LACTOSA PARA UNA EMPRESA FABRICANTE DE PRODUCTOS LÁCTEOS

## IMPROVEMENT OF THE LACTOSE GRINDING PROCESS FOR A COMPANY MANUFACTURING DAIRY PRODUCTS

Darío J. Pinguil Loja<sup>1</sup> , Víctor R. Lojano Pillco<sup>1</sup> ,  
 Nelson G. Jara Cobos<sup>1,\*</sup> , Fran Z. Reinoso Avecillas<sup>1</sup>

Recibido: 08-09-2021, Recibido tras revisión: 30-11-2021, Aceptado: 11-03-2022, Publicado: 01-07-2022

### Resumen

Esta investigación presenta resultados obtenidos luego de haber implementado una mejora en el proceso de molienda de lactosa de una empresa fabricante de productos lácteos. Se determinó la situación actual del proceso, identificando que, en un tiempo de molido de 48 horas continuas, se obtiene un tamaño de partícula de lactosa de 40,23  $\mu\text{m}$ . Posterior a los procesos de investigación teórica y experimental se estableció que con el uso de un molino de tambor con un volumen de elementos molientes del 25 %, una velocidad de operación de 61 rpm y el uso de cylpebs especificados en este trabajo, representan la mejor opción para obtener una molienda fina con un tamaño promedio de partículas de 22  $\mu\text{m}$  en un tiempo de molido de 5 horas continuas, lo que genera principalmente un ahorro por materia prima (lactosa), consumo energético y tiempo de operación del proceso de molido.

**Palabras clave:** lactosa, tamaño de partícula, análisis granulométrico, distribución de cylpebs

### Abstract

This research presents results obtained after having implemented an improvement in the lactose grinding process of a company which manufactures dairy products, the current situation of the process was determined identifying that in a continuous 48-hour grinding time, lactose particle size of 40.23  $\mu\text{m}$ . is obtained. After theoretical and experimental developed research process, it was obtained a fine grinding with a particle size of 22  $\mu\text{m}$  average in a grinding time of 5 continuous hours as the best option, using a drum mills with a volume of 25% grinding elements and 61 rpm operating speed, when using cylpebs which are specified in this research which generates savings in raw material (lactose), energy consumption and operation time of the grinding process.

**Keywords:** Lactose, particle size, granulometric analysis, cylpebs distribution

<sup>1,\*</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones GID - STD, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Autor para correspondencia ✉: njara@ups.edu.ec .

Forma sugerida de citación: Pinguil Loja, D. J.; Lojano Pillco, V.R.; Jara Cobos, N. G. y Reinoso Avecillas, F. Z. "Mejora del proceso de molienda de lactosa para una empresa fabricante de productos lácteos," *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, N.º 28, pp. 71-79, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.07>.

## 1. Introducción

Las políticas de calidad y el mercado global en general exigen a las industrias que produzcan productos con mejor calidad, es decir, el mercado se vuelve más competitivo, haciendo la tarea más difícil para muchas industrias que quieren mantenerse en el mercado y, sobre todo, para tratar de abrir nuevos nichos.

Para este proyecto se establece una propuesta de mejora del proceso de molienda de lactosa, utilizada como materia prima para la producción de leche condensada; en este sentido, se ha buscado cumplir netamente con la reducción del tamaño de partícula a fin de conseguir una mejor consistencia en el producto final.

En la etapa inicial se determina los resultados de la situación actual de los parámetros del proceso de molienda establecidos como el tiempo de operación, velocidad de molienda, volumen de materia prima (lactosa) y tamaño de partícula. Esto con el fin de fijar las metas requeridas para cumplir con la obtención de un tamaño promedio de partícula de 25  $\mu\text{m}$ , característica exigida para elaborar la leche condensada en la empresa. Luego de esto se realizó un análisis experimental para determinar el mejor tipo de molino que permita la reducción del tamaño de partículas y la disminución del tiempo de molido.

Mediante el proceso de medición microscópica se determina el tamaño de partícula mejorado.

Los resultados obtenidos comprueban que el tamaño de partícula de la lactosa como materia prima mejora de manera sustancial la calidad en la textura de la leche condensada como uno de los productos lácteos que emplea esta materia prima.

El trabajo de análisis, propuestas de mejora, desarrollo experimental y mediciones se encuentra de manera ampliada en el informe final del trabajo de Lojano Pillco *et al.* [1].

### 1.1. Parámetros que influyen en el proceso de molienda

Existe una serie de parámetros que influyen en el proceso de molienda de lactosa [2], a continuación, se presentan algunos de ellos:

- Velocidad crítica
- Relación entre los elementos variables de los molinos
- Tamaño de los elementos molidores
- Volumen de carga
- Distribución de material moliente
- Potencia
- Tipos de molienda

#### 1.1.1. La velocidad crítica

Es aquella que ocurre cuando la fuerza centrífuga anula la influencia que la gravedad opera sobre las bolas. La siguiente relación determina esta velocidad crítica se muestra en la ecuación (1) [3].

$$V_c = \frac{42,3}{\sqrt{D}} \text{ Sistema métrico} \quad (1)$$

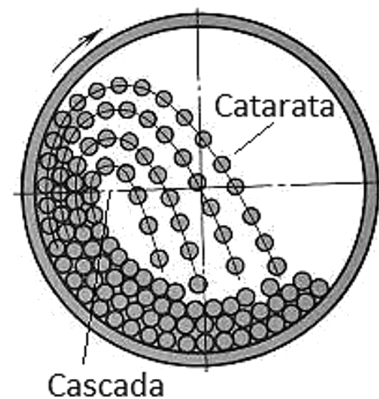
Donde:

$V_c$  = Velocidad crítica en rpm

$D$  = Diámetro del molino (m)

#### 1.1.2. La velocidad de operación del molino

Debe ser menor a la velocidad crítica, situándose un rango de operación de los molinos de bolas o cylpebs entre 65 % y 80 % de  $V_c$  [4]. En la Figura 1 se observa el movimiento del molino con sus efectos de cascada y catarata respectivamente.



**Figura 1.** Movimiento de la carga de un molino de bolas [5]

Para el cálculo de la velocidad de operación se presenta la ecuación (2) [5].

$$V_{op} = V_c \times \%V_c \quad (2)$$

Donde:

$V_{op}$  = Velocidad de operación

$V_c$  = Velocidad crítica en rpm

$\%V_c$  = Porcentaje de la velocidad crítica

#### 1.1.3. La relación entre los elementos variables de los molinos

Considera variables de molienda como la velocidad crítica, el diámetro interno del molino y los cuerpos molidores [2].

#### 1.1.4. El tamaño máximo de los elementos moledores

No debe presentar un mismo tamaño, sino que a partir del diámetro máximo se realiza una distribución de elementos moledores, pero a tamaños inferiores. El tamaño máximo de los elementos moledores se obtiene de la distribución porcentual y las respectivas medidas de los componentes para obtener una efectiva molienda.

#### 1.1.5. La carga de los cuerpos moledores

Hace referencia a que los molinos no trabajan totalmente llenos. El volumen ocupado por los elementos moledores y el material a moler referido al total del volumen del cilindro del molino son lo que se denomina la carga de los cuerpos moledores la cual se calcula con la ecuación (3) [2].

$$B = V_m \times b \times 0,6 \times \delta_b \quad (3)$$

Donde:

$B$  = Peso de los cuerpos moledores [kg]  
 $b$  = constante (0,2 – 0,4)  
 $V_m$  = Volumen del material en  $\text{dm}^3$   
 $\delta_b$  = densidad de las cylpebs 7,8  $\text{kg}/\text{dm}^3$   $D$  = diámetro interno del cilindro molino  
 $L$  = longitud interna del molino

Habitualmente el grado de llenado en la elaboración de la molienda para lactosa utilizando cylpebs, comprende una carga del 25 al 33 % del volumen total y lo forman cuerpos moledores y material a moler [3].

#### 1.1.6. La distribución de tamaño del material moliente bolas o cylpebs

Se puede determinar por diversos métodos, de los cuales en esta investigación se usó dos de ellos:

**Método 1. En función del diámetro** Una vez conocida la carga inicial del material moliente se procede a sumar los diámetros de las bolas que piensa usarse. La sumatoria corresponde al 100 %. Seguidamente, se determina el porcentaje que corresponde al valor de cada diámetro. El resultado que se obtenga corresponde al porcentaje en peso, de la carga inicial, que corresponde a cada tamaño de cylpebs.

**Método 2. En función al diámetro con la fórmula de Bond** Conocido la carga inicial del material moliente y el tamaño máximo de las mismas, se procede a determinar el porcentaje de distribución que corresponde a cada tamaño de bola, empleando:  $Y = 100(X/B)^{3/2}$  se lleva al gráfico y se determina

el porcentaje en peso que corresponde a cada tamaño comercial de cylpebs que se debe alimentar.

En cuanto a la distribución porcentual de los medios de molienda en función del diámetro, se aplica la fórmula de Bond de la ecuación (4) [6].

$$y = 100 \left( \frac{x}{B} \right)^m \quad (4)$$

Donde:

$y$  = % peso de medios de molienda de diámetro inferior a  $x$   
 $B$  = diámetro máximo de bola [in] o [mm]  
 $x$  = diámetro bola a distribuir [in] o [mm]  
 $m$  = constante, sus valores son:  
 (3,2 para molinos de barras o cylpebs)  
 (3,84 para molinos de bolas)

## 1.2. Lactosa

La lactosa se presenta como partículas o polvo cristalino de color blanco. Tradicionalmente se utilizan en la elaboración de comprimidos y se considera un azúcar de gran importancia en las industrias de elaboración de alimentos. Excelente excipiente de pastillas y píldoras entre muchas otras aplicaciones.

La solubilidad de la lactosa es diez veces menor que de la sacarosa, si a ello le sumamos los azúcares agregados, el problema inmediato será evitar la saturación de la solución, ya que llegándose al límite de saturación, el exceso de azúcares precipitará en forma de cristales formando grumos, defecto físico que comúnmente se presenta en los dulces comerciales [7]. En este sentido, al emplear una lactosa con tamaño de partícula alrededor de 30  $\mu\text{m}$ , resulta muy conveniente para mejorar la calidad de productos lácteos como la leche condensada.

## 1.3. Métodos de medición del tamaño de partícula

En este proyecto se utilizó el método de análisis granulométrico por tamizado y el de visualización microscópica.

### 1.3.1. Análisis granulométrico por tamizado

Es una de las técnicas más antiguas de clasificación de polvos mediante tamiz. Se encuentra entre las técnicas más empleadas y menos costosas para la determinación de la distribución del tamaño de partícula en un amplio rango de tamaños, desde poco más de 100  $\mu\text{m}$  hasta aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  [8] (Figura 2).



**Figura 2.** Tamiz y proceso de tamizado

Un análisis granulométrico completo consiste en hacer pasar un material generalmente 100 gramos representativos de la muestra original, por una serie de tamices comenzando por un menor número de mallas y concluyendo con el de mayor número.

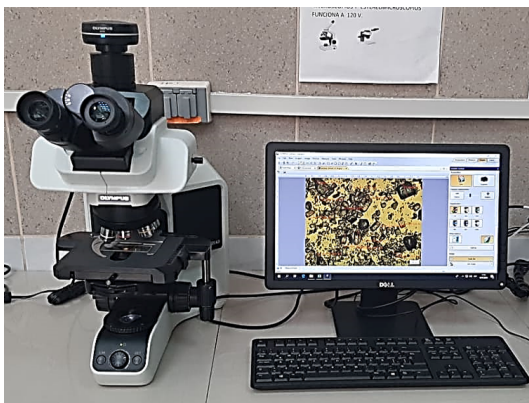
En la Tabla 1 se presenta la designación del tamiz de acuerdo con lo que se establece en la norma ASTM E-11.

**Tabla 1.** Designación de tamiz ASTM y aberturas de apertura nominal correspondientes [9]

| ASTM Sieve Designation |             |                  |             |                  |             |
|------------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| Aperture Opening       | Designation | Aperture Opening | Designation | Aperture Opening | Designation |
| 125 mm                 | 5.00 in.    | 9.50 mm          | 3/8 in.     | 425 µm           | No. 40      |
| 106 mm                 | 4.24 in.    | 8.00 mm          | 5/16 in.    | 355 µm           | No. 45      |
| 100 mm                 | 4 in.       | 6.70 mm          | 0.265 in.   | 300 µm           | No. 50      |
| 90 mm                  | 3 1/2 in.   | 6.30 mm          | 1/4 in.     | 250 µm           | No. 60      |
| 75 mm                  | 3 in.       | 5.60 mm          | No. 3 1/2   | 212 µm           | No. 70      |
| 63 mm                  | 2 1/2 in.   | 4.75 mm          | No. 4       | 180 µm           | No. 80      |
| 53 mm                  | 2.12 in.    | 4.00 mm          | No. 5       | 150 µm           | No. 100     |
| 50 mm                  | 2 in.       | 3.35 mm          | No. 6       | 125 µm           | No. 120     |
| 45 mm                  | 1 3/4 in.   | 2.80 mm          | No. 7       | 106 µm           | No. 140     |
| 37 mm                  | 1 1/2 in.   | 2.36 mm          | No. 8       | 90 µm            | No. 170     |
| 31.5 mm                | 1 1/4 in.   | 2.00 mm          | No. 10      | 75 µm            | No. 200     |
| 26.5 mm                | 1.06 in.    | 1.70 mm          | No. 12      | 63 µm            | No. 230     |
| 25 mm                  | 1 in.       | 1.40 mm          | No. 14      | 53 µm            | No. 270     |
| 22 mm                  | 7/8 in.     | 1.18 mm          | No. 16      | 45 µm            | No. 325     |
| 19 mm                  | 3/4 in.     | 1.00 mm          | No. 18      | 38 µm            | No. 400     |
| 16 mm                  | 5/8 in.     | 850 µm           | No. 20      | 32 µm            | No. 450     |
| 13.2 mm                | 0.53 in.    | 710 µm           | No. 25      | 25 µm            | No. 500     |
| 12.5 mm                | 1/2 in.     | 600 µm           | No. 30      | 20 µm            | No. 635     |
| 11.2 mm                | 7/16 in.    | 500 µm           | No. 35      |                  |             |

### 1.3.2. El análisis por microscopía

Es una técnica que permite visualizar rápidamente el tamaño y forma nominal de las partículas en una muestra y obtener una micrografía representativa de la región analizada; además, consigue por ampliación detalles de la forma y de la superficie de las partículas [1] (Figura 3).



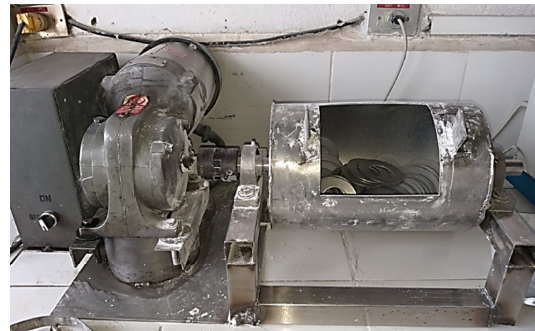
**Figura 3.** Microscopio OLYMPUS BX43

## 2. Materiales y métodos

Para la investigación se realizó en primera instancia el levantamiento de la situación actual del proceso de molido de lactosa desarrollado en la empresa fabricante de productos lácteos y se establecieron las variables fundamentales del proceso como la velocidad, distribución del material moliente y tiempo de molienda. Para saber el tamaño de partícula actual se sometieron las muestras en tamices y microscopía, con toda esta información se elaboró la propuesta de mejora con los parámetros de operación óptimos para el proceso de molienda de lactosa.

### 2.1. Descripción del equipo de molienda de lactosa actual

Se usa un molino giratorio horizontal de 20 cm de diámetro y 30 cm de longitud, con una capacidad de 2 kg, potencia de 1 hp y 61,7 rpm de velocidad rotacional; emplea arandelas de acero inoxidable como elementos molientes (ver Figura 4).



**Figura 4.** Molino horizontal giratorio

## 3. Parámetros de operación

En la Tabla 2 se presentan los parámetros utilizados para el proceso de molienda de lactosa.

**Tabla 2.** Condiciones de operación

| Condiciones de operación      |           |
|-------------------------------|-----------|
| Tiempo de molienda [h]        | 48        |
| Peso lactosa [kg]             | 2,5       |
| Peso Tricalcium Phosphate [g] | 100       |
| Velocidad [rpm]               | 61        |
| Material moliente             | arandelas |

Al respecto de las arandelas empleadas para el proceso de molido, estas se colocan en un volumen del 12 % aproximadamente, en una cantidad de 40 unidades, cuya distribución se la realiza en función del diámetro



interno y externo de las mismas (ver Figura 5 y Tabla 3).

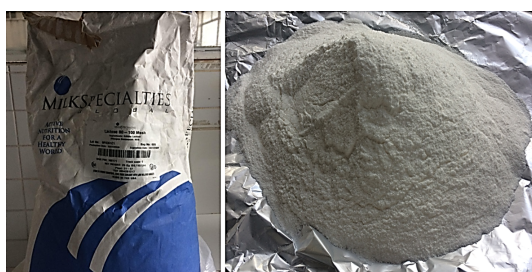


**Figura 5.** Material moliente – Arandelas de acero inoxidable

**Tabla 3.** Distribución de tamaños de arandelas

| Diám. Int.<br>(mm) | Diám. Ext.<br>(mm) | Peso<br>(kg) | Cant. |
|--------------------|--------------------|--------------|-------|
| 42                 | 75                 | 2,9322       | 37    |
| 22                 | 50                 | 0,1585       | 2     |
| 13                 | 38                 | 0,07925      | 1     |
| TOTAL              |                    | 3,17         | 40    |

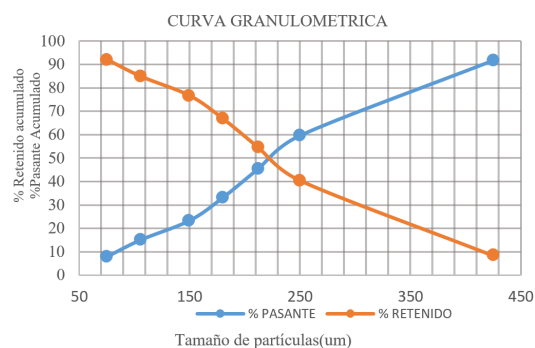
Como se ha venido mencionando el material a moler es la lactosa y le proporciona el dulce a la leche. Este producto se comercializa en sacos de 50 kg. (ver Figura 6), por lo general, viene con una granulometría inicial de 150  $\mu\text{m}$ , valor determinado por el fabricante.



**Figura 6.** Lactosa: saco y muestra

Con la intención de verificar el tamaño de partícula establecido en la materia prima, se procedió con la determinación de la distribución del tamaño de partícula, para lo cual se usó el método de tamizado y se consideró una cantidad de muestra de 100 g y un tiempo de agitación de 30 min [10].

Una vez que se realizó dicho procedimiento [11], los resultados previos del proceso de tamizado se ven en la Figura 7, en donde la curva de % pasante acumulado que representa el porcentaje de muestra con su tamaño equivalente y el % retenido acumulado que representa el porcentaje de material que tiene un tamaño (x) mayor.

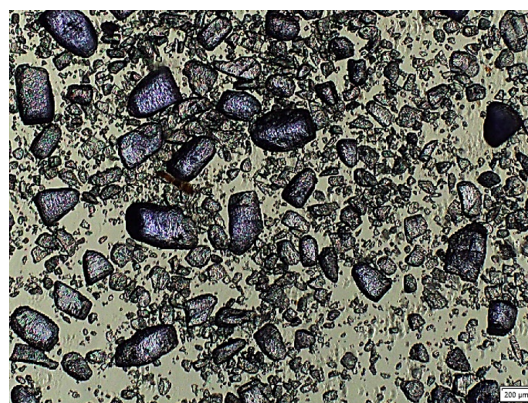


**Figura 7.** Porcentaje pasante acumulado y retenido acumulado vs. tamaño de partícula

Con lo determinado y haciendo estimaciones promedio de los tamaños de partículas, de acuerdo con la distribución en los tamices y relacionando con el tamaño de la malla en  $\mu\text{m}$  y la fracción retenida en peso, se presenta los valores para estimar el promedio característico de la distribución de los tamaños de grano de lactosa en un valor de 241  $\mu\text{m}$  (Tabla 4). Este valor difiere con el tamaño certificado de partícula de lactosa de 150  $\mu\text{m}$ , estableciéndose la necesidad de optar por otro procedimiento de medición del tamaño de partícula.

El análisis microscópico permitió visualizar rápidamente el tamaño y forma nominal de las partículas en una muestra y obtener una micrografía representativa de la región analizada; además, por ampliación se consigue detalles de la forma y de la superficie de partículas [1].

Con el procedimiento mencionado y un aumento de 4x se puede observar que las partículas de lactosa tienen características de forma heterogénea y aleatoria con distintas medidas (Figura 8).

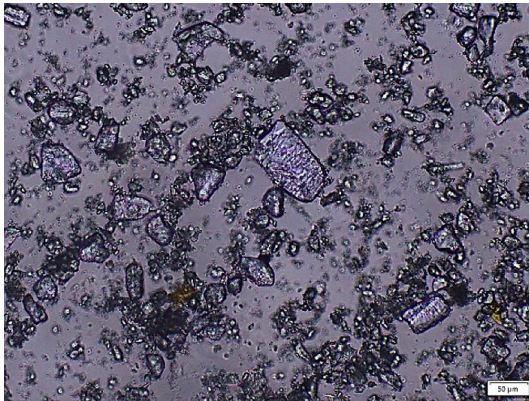


**Figura 8.** Partículas de lactosa antes de moler

### 3.1. Tamaño de partícula obtenido – proceso de molienda de lactosa actual

Una vez que se sometió la lactosa al proceso actual de molienda, se procedió a obtener la microfotografía de

una muestra, a fin de determinar el tamaño promedio y forma de la partícula resultante (ver Figura 9).



**Figura 9.** Partículas de lactosa en 48 h de molienda

Al realizar 30 mediciones se obtuvo un tamaño mínimo de partícula de 19,99  $\mu\text{m}$ , un tamaño máximo de 108,67  $\mu\text{m}$ , lo que resultó en un promedio de 40,23  $\mu\text{m}$  y una desviación estándar de 17,24  $\mu\text{m}$ . En este sentido, se ha podido determinar que el proceso actual reduce el tamaño de partícula, sin embargo, por la heterogeneidad de tamaños de partículas y por el elevado número de horas de molido (lo que provoca que la lactosa se pegue en los elementos molientes), esta materia prima resulta inadecuada para obtener leche condensada con la consistencia requerida por la empresa.

### 3.2. Alternativas de mejora

De acuerdo con las investigaciones, se consideran los siguientes parámetros para la selección del tipo de molino:

- Tamaño de grano a obtener
- Tiempo de molienda
- Tipo de molienda
- Potencia requerida
- Costo

Luego de hacer un análisis de ponderación de los parámetros aplicados a los cuatro tipos de molinos que pueden ser empleados para el proceso de molienda de lactosa: molino planetario, molino attritor, molino de tambor y molino de alta energía; resultó como la mejor opción el molino de tambor, el cual alcanzó el valor más alto de ponderación (ver Tabla 4). Por lo tanto, para el desarrollo del presente proyecto de mejora se utilizó el molino giratorio horizontal de tambor, para determinar fundamentalmente el tiempo, velocidad y distribución de tamaños de material moliente óptimos.

**Tabla 4.** Ponderación de resultados – selección de mejor alternativa

| Tipo de molino | Costo | Ponderación        |                 |              |                  | Total |
|----------------|-------|--------------------|-----------------|--------------|------------------|-------|
|                |       | Potencia requerida | Tiempo molienda | Tamaño grano | Tipo de molienda |       |
| Planetario     | 3     | 3                  | 5               | 5            | 1                | 17    |
| Attritor       | 3     | 3                  | 3               | 3            | 5                | 17    |
| Tambor         | 5     | 3                  | 3               | 3            | 5                | 19    |
| Alta energía   | 1     | 1                  | 5               | 5            | 1                | 13    |

### 3.3. Ensayos experimentales de molienda

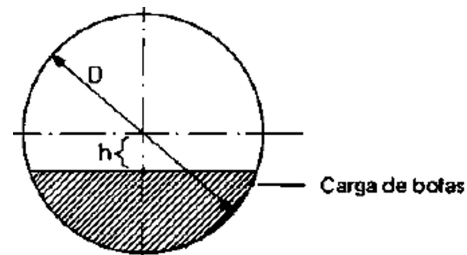
Para el proceso de mejora, se tomaron en cuenta tres parámetros de molienda: distribución de tamaño de material moliente, tiempo de molienda y velocidad, para esto se realizó pruebas preliminares con dos diferentes tipos de material moliente: bolas y cylpebs.

**Llenado** El llenado óptimo de los molinos se determina de acuerdo con la ecuación (5) y en función de la Figura 10 [1].

$$h = 0,16D \quad (5)$$

Donde:

$h$  = distancia desde el eje central del tambor  
 $D$  = diámetro interno del tambor



**Figura 10.** Llenado de material moliente [1]

**Velocidad crítica** Luego de realizar los cálculos correspondientes se determina una velocidad crítica de 94,5 rpm, por lo que al considerar que la velocidad de operación debe estar en un rango del 65 al 80 %, lo que corresponde a 61,425 rpm y 75,6 rpm.

**Material moliente** Para los ensayos se utilizaron dos tipos de materiales molientes, bolas y cylpebs, con características dimensionales, de peso y de distribución de tamaño establecidas en las Tablas 5 y 6; manteniendo constante para los dos casos un grado de llenado del 25 % y una velocidad de 61,4 rpm.



**Tabla 5.** Distribución de tamaño de bolas

| Diámetros (in) | % peso | Peso (kg) | Peso unidad (kg) | Número bolas |
|----------------|--------|-----------|------------------|--------------|
| 1 ¼            | 55,55  | 3,57      | 0,132            | 27           |
| 1              | 44,44  | 2,85      | 0,0671           | 42           |
| 2 ¼            | 100%   | 6,43      |                  | 69           |

**Tabla 6.** Distribución de tamaño de cylpebs

| Diám. (mm) | Long. (mm) | % de peso | Peso (kg) | Peso unidad (kg) | Cant. |
|------------|------------|-----------|-----------|------------------|-------|
| 1 ½        | 29,28      | 26,66     | 1,82      | 0,262            | 7     |
| 1 ¼        | 29,19      | 22,22     | 1,52      | 0,183            | 8     |
| 1          | 22,44      | 17,77     | 1,21      | 0,089            | 14    |
| ¾          | 23,01      | 13,33     | 0,91      | 0,051            | 18    |
| 05-ago     | 18,18      | 11,11     | 0,76      | 0,028            | 27    |
| ½          | 19,15      | 8,88      | 0,6       | 0,02             | 30    |
| 45/8       |            | 100%      | 6,85      |                  | 104   |

#### 4. Resultados y discusión

En la Tabla 7 se presenta los resultados de los cinco ensayos con diferentes tiempos de molienda empleando bolas como elementos molientes; la medición de los tamaños de partículas se realizó por la técnica de microscopía en el cual se tomó tres muestras de cada ensayo realizado, así mismo, se realizaron treinta mediciones para cada muestra, dando como resultado los tamaños máximos y mínimos de las partículas de lactosa.

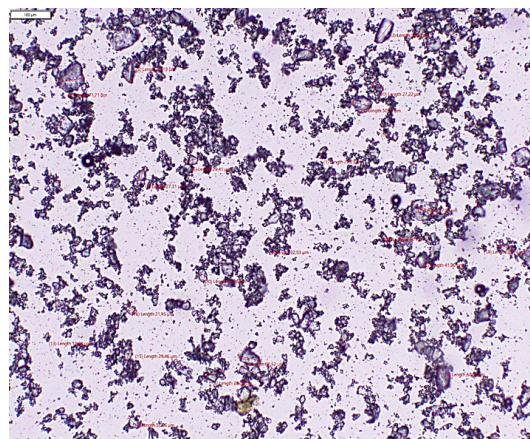
En los distintos ensayos desarrollados, se observó también que a mayor tiempo de molienda se presentan mayores pérdidas del producto, debido fundamentalmente a la aglomeración de la lactosa en las paredes del molino y en los cuerpos molientes por el incremento de la temperatura de operación [1].

**Tabla 7.** Resultados obtenidos con material moliente tipo bolas

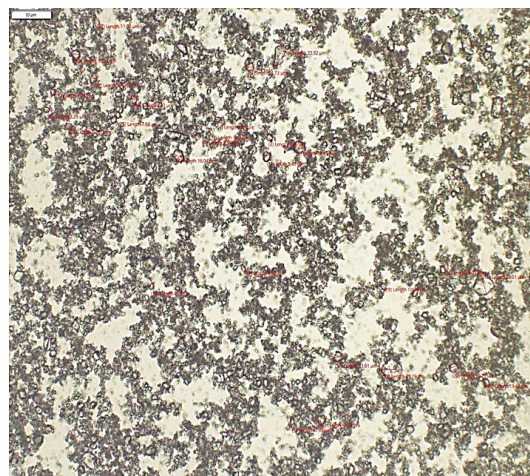
| Perdidas (g) | Tiempo (h) | Tamaño de partícula (um) |        |
|--------------|------------|--------------------------|--------|
|              |            | Máximo                   | Mínimo |
| 100          | 1          | 102,6                    | 26,45  |
| 110          | 2          | 96,89                    | 19,85  |
| 119          | 3          | 85,42                    | 17,25  |
| 150          | 4          | 60,07                    | 12,08  |
| 200          | 5          | 59,04                    | 6,82   |

El ensayo se realizó con 1050 gramos de lactosa y 100 gramos de tricalcium phosphate, a un tiempo mínimo una hora de molienda, ya que a ese tiempo se empezó a notar la reducción del tamaño de partícula del producto y se estableció como tiempo máximo de cinco horas, porque a este tiempo se comenzó a notar una mayor aglomeración del producto en las paredes del molino y en los cuerpos moledores; de esa manera, se obtuvo una buena reducción de tamaño de

partícula de acuerdo con las imágenes de microscopía (ver Figuras 11 y 12).



**Figura 11.** Partículas de lactosa molidas 1 h – escala 100 µm



**Figura 12.** Partículas de lactosa molidas 5 h – Escala 50 µm

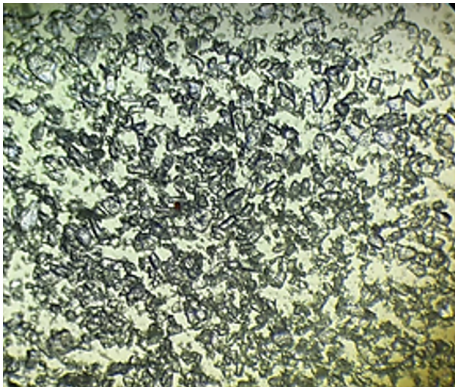
En la Tabla 8 se presenta los resultados de los cinco ensayos realizados a diferentes tiempos de molienda, utilizando de igual manera 1050 gramos de lactosa y 100 gramos de tricalcium phosphate; la medición de los tamaños de partículas se realiza por la técnica de microscopía en el cual se efectúa 30 mediciones para cada muestra.

**Tabla 8.** Resultados obtenido con material moliente tipo cylpebs

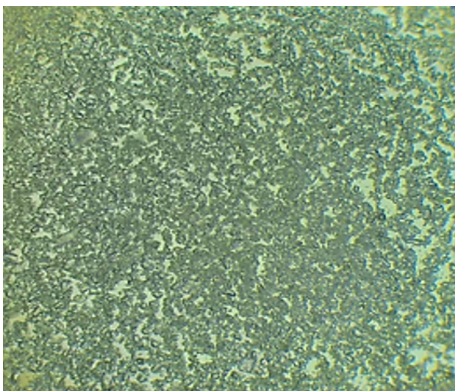
| Perdidas (g) | Tiempo (h) | Tamaño de partícula (um) |        |
|--------------|------------|--------------------------|--------|
|              |            | Máximo                   | Mínimo |
| 80           | 1          | 100,85                   | 15,56  |
| 120          | 2          | 92,62                    | 12,23  |
| 132          | 3          | 78,45                    | 10,81  |
| 290          | 4          | 65,48                    | 9,89   |
| 359          | 5          | 54,29                    | 5,78   |

En las Figuras 13 y 14 se observa una diferencia de los tamaños de partícula de lactosa, durante una y cinco horas de molienda, en donde se puede apreciar los tamaños de partícula de lactosa.

Uno de los factores que se establecen para el mejoramiento del proceso de molienda de lactosa, es el material moliente, en este caso se propone utilizar cylpebs (cilindros de acero inoxidable), debido a que esta forma tiene una mayor área de superficie para reducir el tamaño de partícula de lactosa mediante impacto, permitiendo obtener una mayor cantidad de partículas finas en menor tiempo.



**Figura 13.** Partículas de lactosa molidas 1 h – Escala 100  $\mu\text{m}$



**Figura 14.** Partículas de lactosa molidas 5 h – escala 100  $\mu\text{m}$

Para que la molienda sea efectiva se debe controlar los parámetros de operación como el tiempo, velocidad y la distribución de tamaño de cylpebs. Estos parámetros mejorados se presentan en la Tabla 9, los cuales se comparan con los resultados de la situación actual de la empresa.

**Tabla 9.** Parámetros de operación mejorados

| Parámetros      |                 |                     |                   |           |       |                          |
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|-------|--------------------------|
| % Vol. de carga | Velocidad [rpm] | Tiempo molienda [h] | Material moliente | Peso (kg) | Cant. | Tamaño [ $\mu\text{m}$ ] |
| 12              | 61              | 48                  | Arandelas         | 3,174     | 40    | 40,23                    |
| 25              | 61              | 5                   | cylpebs           | 6,85      | 104   | 22                       |

## 5. Conclusiones

Las variables identificadas que influyen en el proceso de molienda de lactosa son la distribución de tamaño de material moliente, los tiempos de molienda y la velocidad, las mismas que implican en el tamaño de grano de lactosa.

Mediante las pruebas de molienda efectuadas en el molino de tambor se logró determinar los parámetros de operación adecuados para el proceso de molido. En consecuencia, se seleccionó los cylpebs como material moliente más eficaz para el proceso de molienda en productos finos, con un tiempo de molienda efectivo de 5 horas.

La selección de los Cylpebs como elementos molientes, se debe a que presentan una mayor área de superficie para la rotura de las partículas de lactosa mediante impacto, resultando ser más efectivos, en menor tiempo con mayor cantidad de partículas finas, obteniéndose en un tiempo de molienda de 5 h un tamaño de grano de 22,075  $\mu\text{m}$ .

Se optimizó la carga de lactosa aplicada a la molienda, ya que con menos horas de operación la materia prima no se pega en las paredes internas del tambor y en los cuerpos molientes, disminuyendo transcendentalmente las pérdidas.

Con el tamaño de partícula de 22  $\mu\text{m}$  se pudo determinar de manera cualitativa (tacto) la mejora en la textura de la leche condensada, lo que significa para la empresa una mejora en la calidad del producto.

## Referencias

- [1] V. R. Lojano Pillco, D. J. Pingüil Loja, and N. G. Jara Cobos, *Propuesta de mejora para el proceso de molienda de lactosa en empresas láctea*. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. [Online]. Available: <https://bit.ly/3a4IusB>
- [2] A. O. Venegas Tomalá, *Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. [Online]. Available: <https://bit.ly/3R0Ewlm>
- [3] J. R. Alcántara Valladares, *Diseño práctico de un molino de bolas*. Instituto Politécnico Nacional, México, vol. 7, no. 2. [Online]. Available: <https://bit.ly/3acXvIG>
- [4] O. A. Gutiérrez Gutiérrez, *Estudio para calibración de molinos*. Universidad de Chile, vol. 158. [Online]. Available: <https://bit.ly/3bH0Ujm>

- [5] M. S. Altamirano Peralta and D. J. Sacoto Rivera, *Evaluación experimental del proceso de molienda de crudo de UCEM planta industrial Guapán*. Universidad del Azuay, Ecuador, vol. 1, no. 1. [Online]. Available: <https://bit.ly/3xZFupi>
- [6] G. A. Villablanca Robles, *Estudio de prefactibilidad para la construcción y operación de una minicentral hidroeléctrica (MCH) en la subcuenca del río Palora*, vol. 22. [Online]. Available: <https://bit.ly/3NxJxx>
- [7] C. D. Char, *HACCP, Microbiología predictiva y factores en combinación para mejorar la calidad de productos lácteos: dulce de leche: aplicación del concepto de factores en combinación y de la microbiología predictiva en el mejoramiento de la calidad del dulce de leche*. Universidad de Buenos Aires, Argentina. [Online]. Available: <https://bit.ly/3yy46qz>
- [8] R. C. Rowe, P. Sheskey, and M. Quinn, *Handbook of pharmaceutical excipients, Six Edition*. Pharmaceutical Press. [Online]. Available: <https://bit.ly/3xZGIGw>
- [9] A. Jillavenkatesa, L.-S. H. Lum, and S. Dapkunas, “Nist recommended practice guide: Particle size characterization.” [Online]. Available: <https://doi.org/10.6028/NBS.SP.960-1>
- [10] E. J. Montes Montes and R. Torres Gallo, “Determinación de los factores de forma de área ( $\alpha$ ) y volumen ( $\beta$ ), de cristales de  $\alpha$ -lactosa utilizando microscopia óptica,” vol. 13, no. 2, pp. 17–24. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21897/rt.v13i2.666>
- [11] E. A. Luna Méndez and F. T. Valencia Guaricela, *Elaboración de guías prácticas de procesos metalúrgicos para el laboratorio de minas de la Universidad del Azuay*. Universidad del Azuay, Ecuador. [Online]. Available: <https://bit.ly/3Ai7fw8>