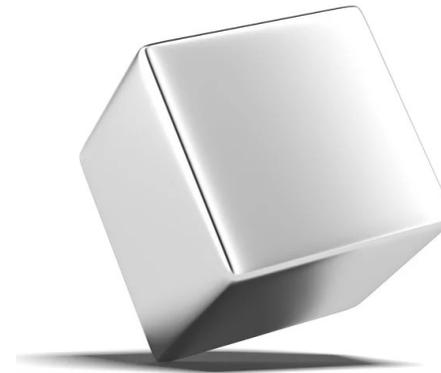


# Reducción de Tamaño de Partícula

# Experiencia Personal



# Perfil Profesional



2005

**Ing. Agroindustria Alimentaria**  
Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano”



2006

**Supervisor de Planta de Concentrados**



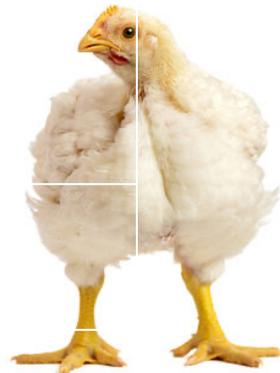
2011

**M.Sc. Ciencias Avícolas**  
Universidad del Estado de Carolina del Norte



2014

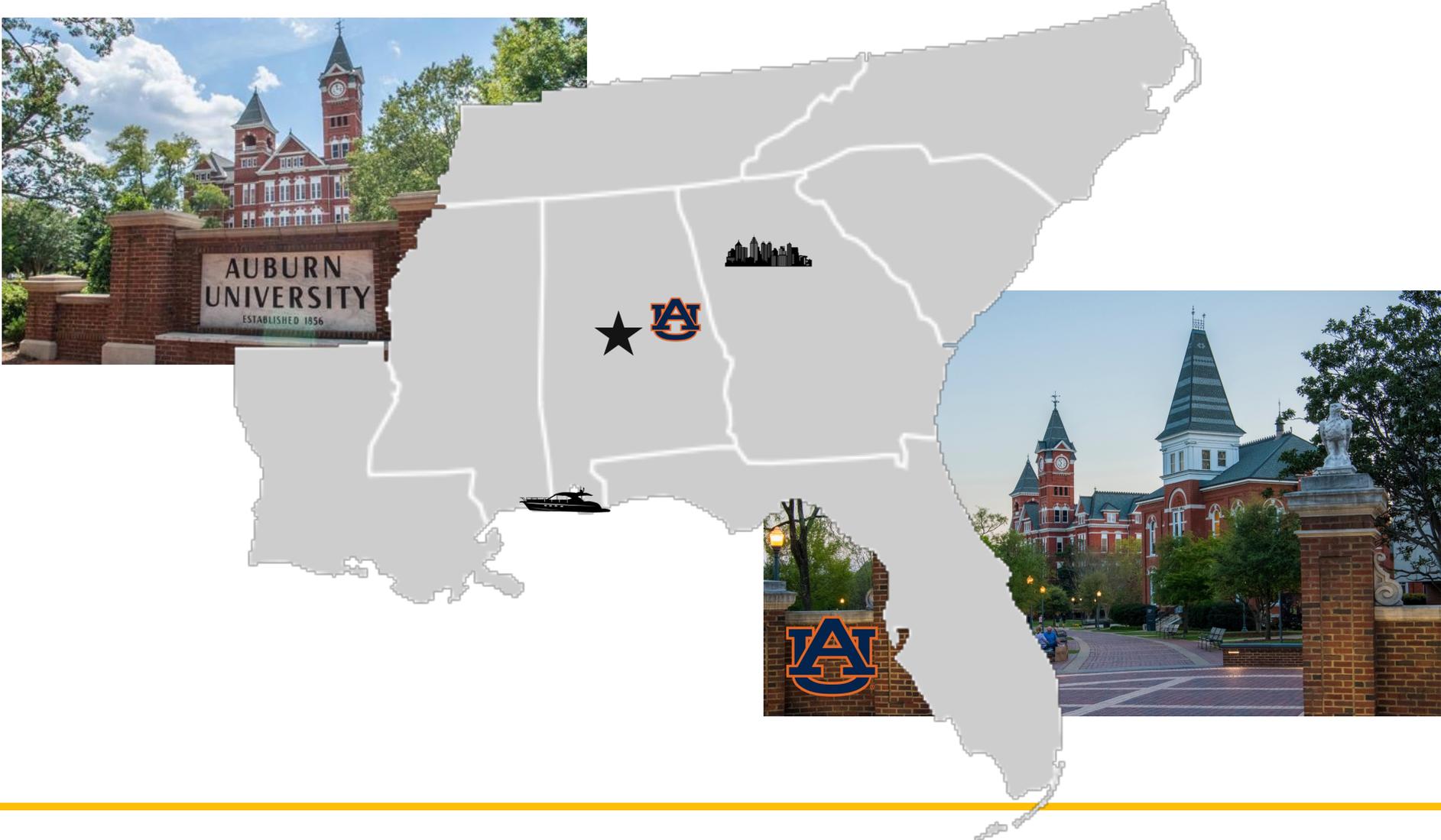
**PhD. Nutrición y Fisiología**  
Universidad del Estado de Carolina del Norte



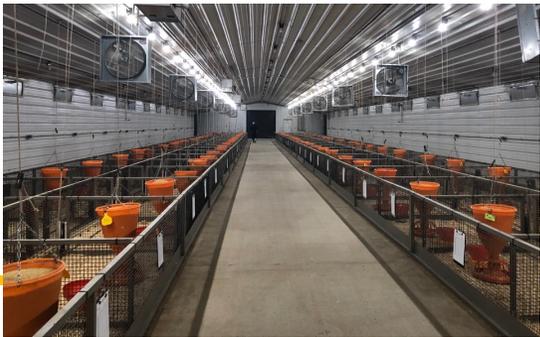
2015

**Especialista en Extensión y Profesor Asociado**  
Universidad de Auburn

# Auburn University



# Charles C. Miller Center



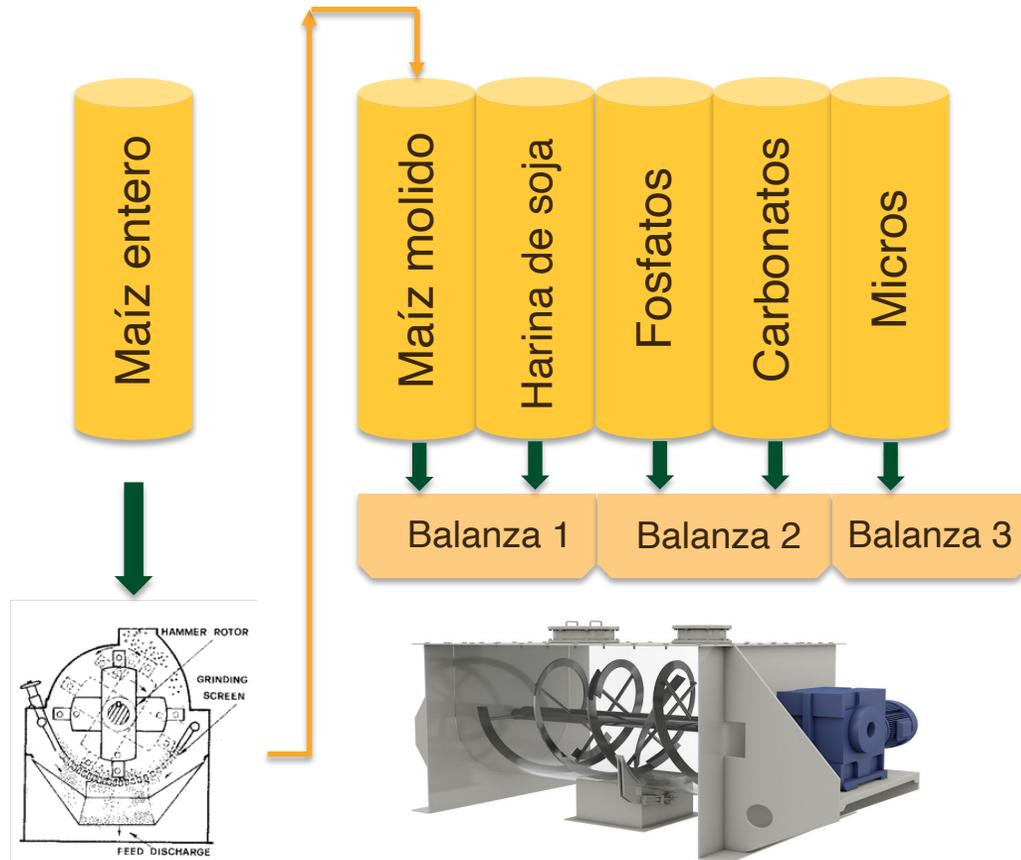
# Reducción de Tamaño de Partícula

- La mayoría de ingredientes usados para nutrición animal requieren algún tipo de molienda

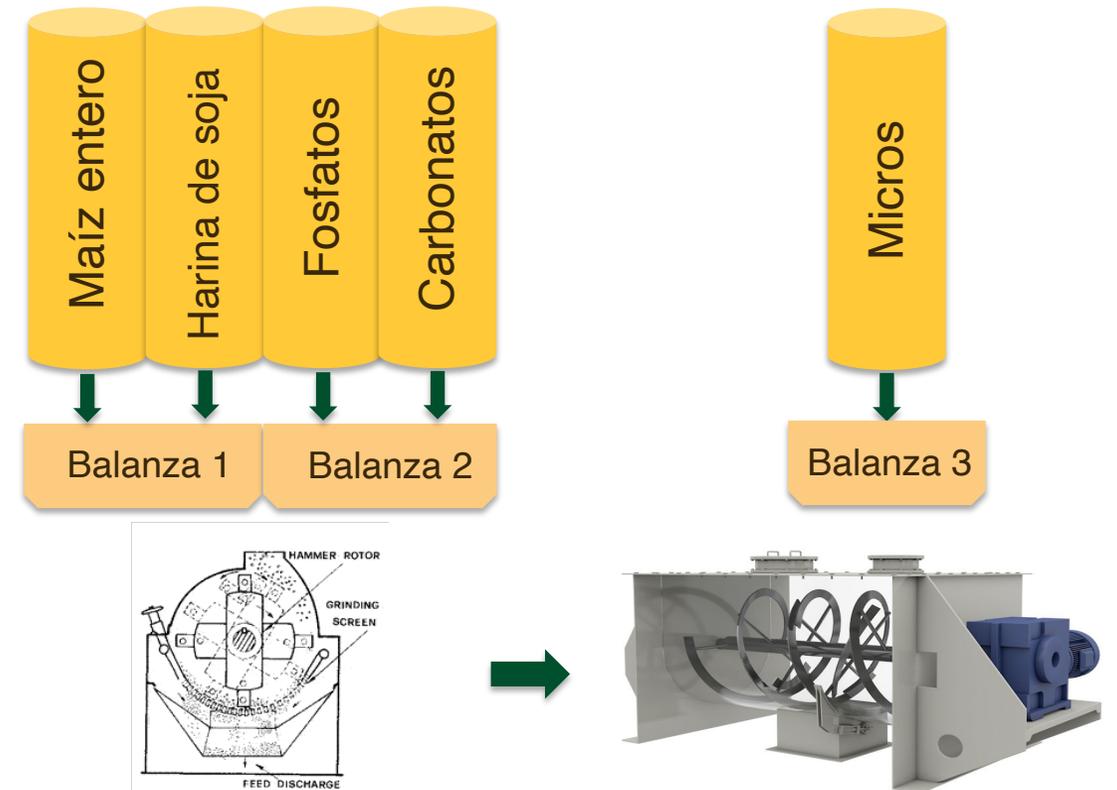


# Diseño de una Planta de Concentrados

## Pre molienda



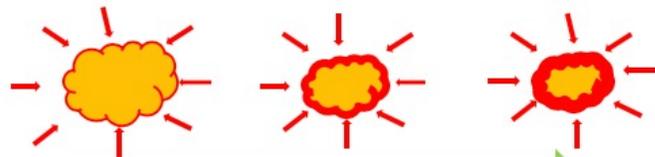
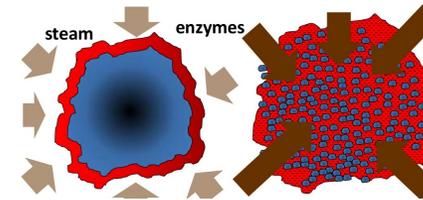
## Post molienda



# Molienda

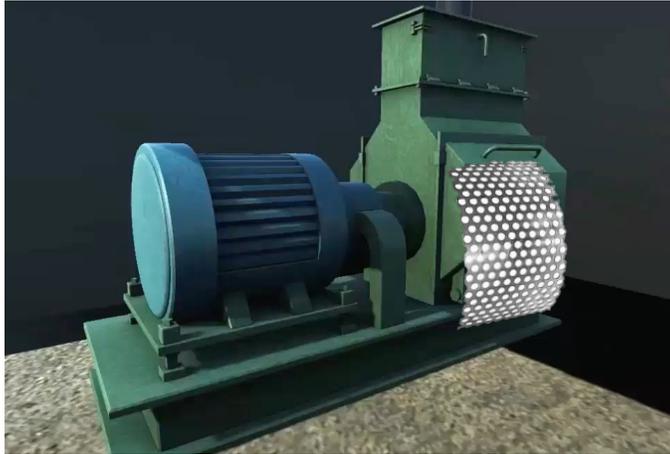
## Objetivo:

- Reducir tamaño de partícula de ingredientes
- Incrementar la cantidad de materiales expuestos al sistema digestivo del animal
  - Mejor digestión y eficiencia alimenticia
- Mejorar la calidad de pellet
  - Mayor penetración de calor y humedad durante el acondicionamiento



Tamaño de partícula más pequeña = mayor penetración de calor

# Equipo de Molienda



## Molino de Martillos

- Generalmente usado para dietas peletizadas
- La molienda ocurre por medio del impacto entre un objeto moviéndose lentamente (granos enteros) y un martillo moviéndose rápidamente

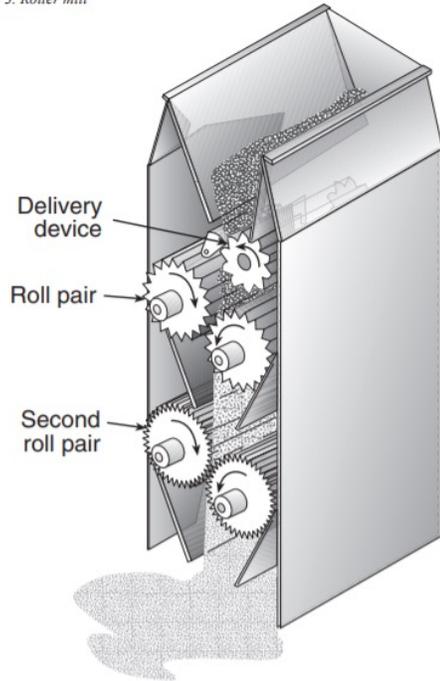


## Molino de Rodillos

- Generalmente usado para dietas en harina
- La molienda ocurre por medio de fuerzas de cizallamiento a medida que el grano pasa por un espacio estrecho entre dos o más pares de rodillos

# ¿Molino de Rodillos o Martillos?

Figure 3. Roller mill



**Agrietamiento, prensado,  
pocos finos, polvo**

**Molienda gruesa,  
alimentos con textura**

**Molienda para peletizado  
Maíz, trigo, sorgo**

**Molienda para peletizado  
Avena, cebada, fibra**

**Molienda < 300 µm  
Alimento para mascotas/acuicultura**

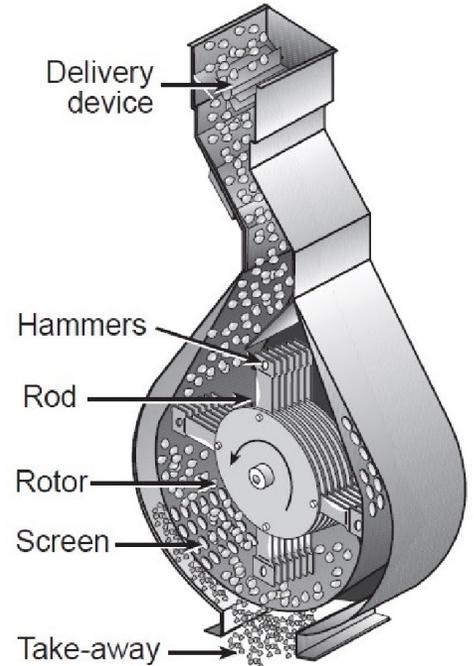
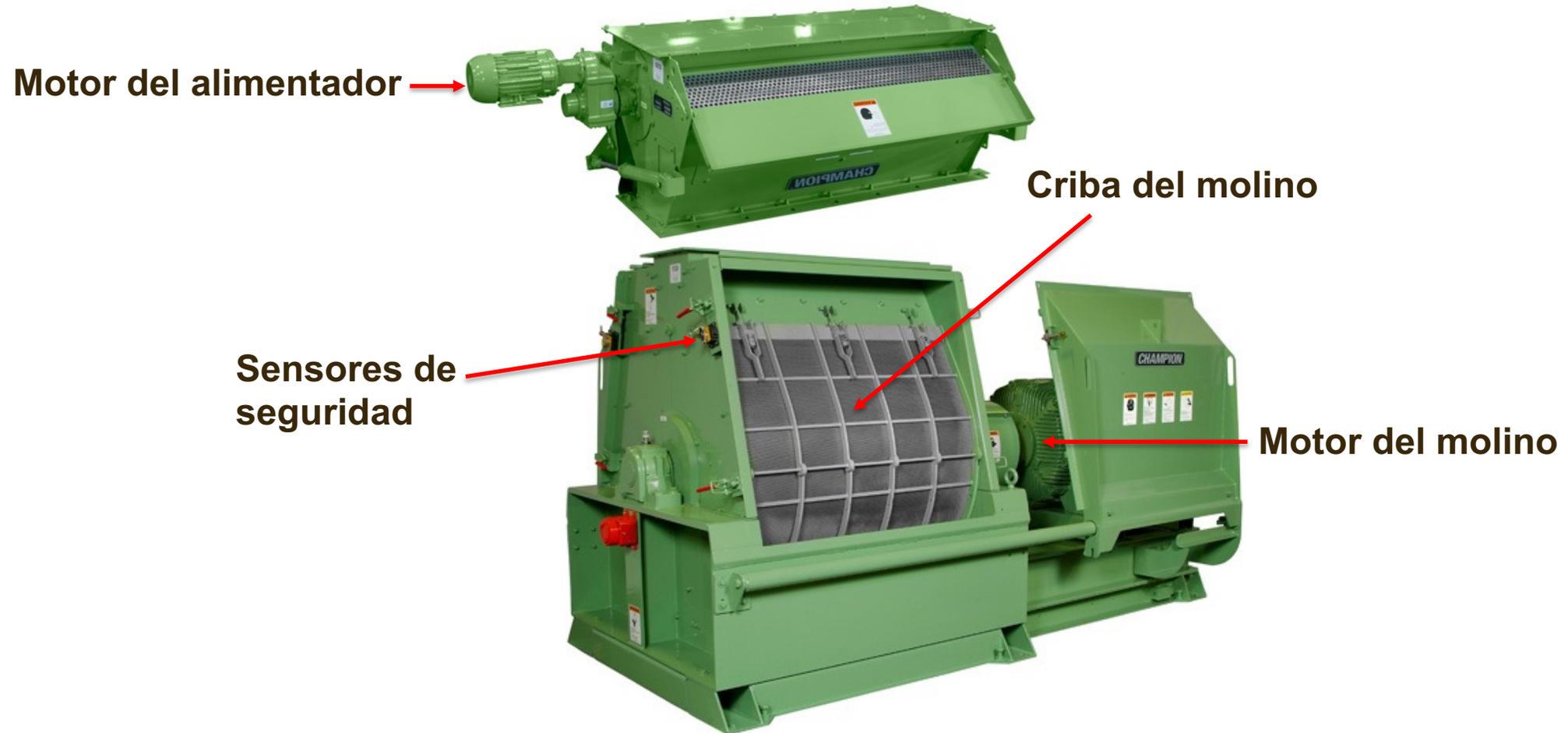


Fig. 9. Hammer Mill. (Koch, 1996)

# Aspectos a Considerar

- **Tamaño de partícula deseado**
  - Grueso (dietas en harina) – molino de rodillos
  - Fino (dietas peletizadas) – molino de martillos
- **Consumo de energía**
  - Los molinos de rodillos requieren menos energía pero son menos eficientes en la obtención de tamaños de partícula pequeños en comparación con los molinos de martillos
- **Costo de mantenimiento**
  - Molino de rodillos – re-corrugado, ajustes rutinarios de la abertura entre rodillos y análisis de tamaño de partícula a diario
  - Molino de martillos – reemplazo y rotación de cribas y martillos
- **Entorno y seguridad**
  - Molino de rodillos – silencioso y produce menos polvo
  - Molino de martillos – requiere control de polvo

# Molino de Martillos



# Molino de Martillos

## Ventajas

- Procesa una variedad de materiales
- Costo inicial bajo
- Mantenimiento mínimo
- Fácil operación
  - Seleccionar tamaño de criba
  - Encenderlo

## Desventajas

- Menor uniformidad de partículas
- Altos costos de energía
- Ruido y polvo
- Genera más calor (merma)

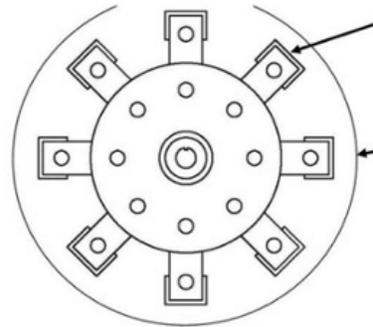
# Factores que Controlan el Tamaño de Partícula

- **Tamaño de la criba**

- **Pequeña:** molienda fina
- **Grande:** molienda gruesa

- **Velocidad de la punta del martillo, PPM**

- < 13,000 molienda gruesa
- 13,000 a 18,000 molienda media
- > 18,000 molienda fina



- **Ajustes del martillo**

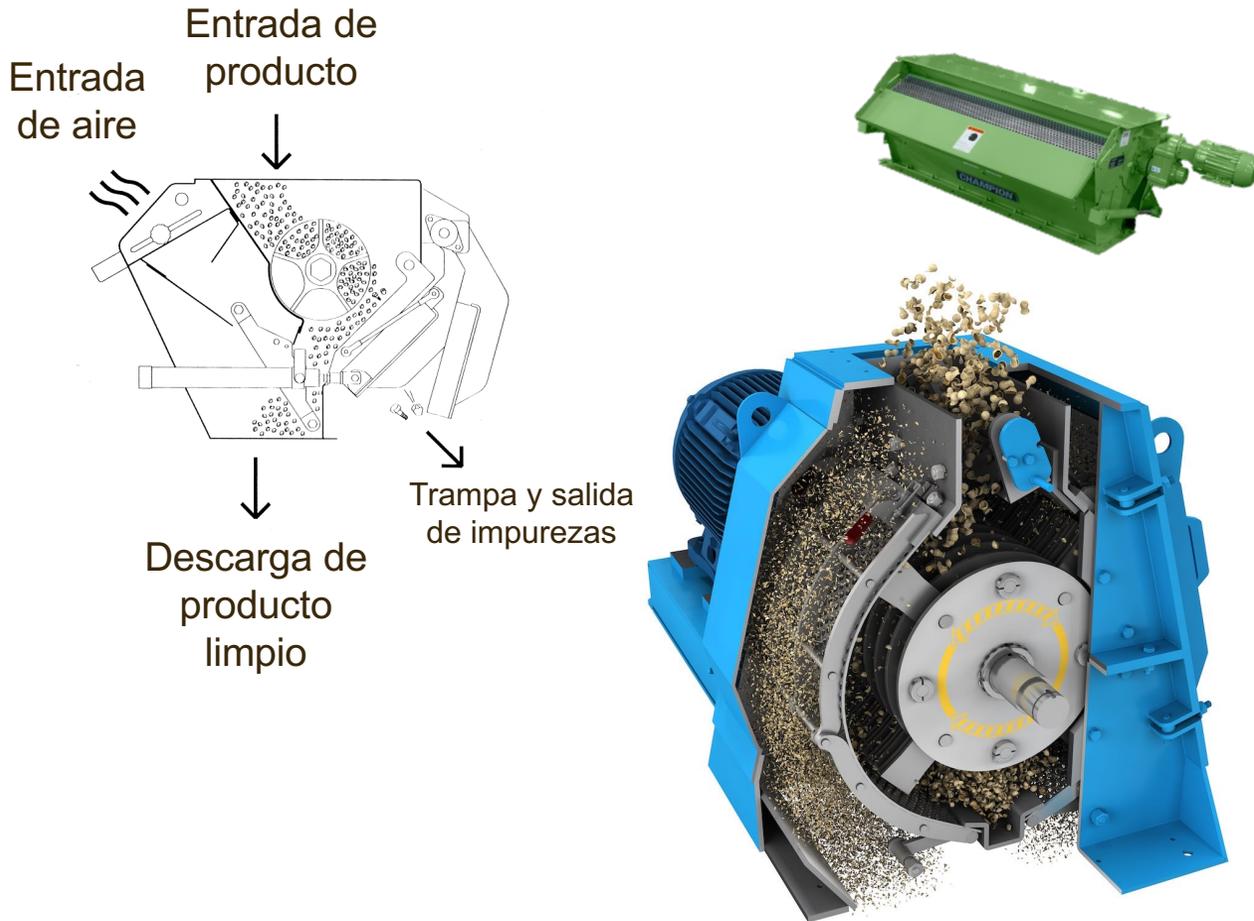
- Molienda gruesa - 3/8 a 1/2 de pulgada de separación entre la punta del martillo y la criba
- Molienda fina – 3/16 a 1/4 de pulgada de separación entre la punta del martillo y la criba

- **Disposición de martillos**

- Pesada – Relación baja entre HP/número de martillos
  - 2 HP/martillo
- Media – Relación alta entre HP/número de martillos
  - 2.5 – 3.0 HP/martillo

**PPM = Pies por minuto**

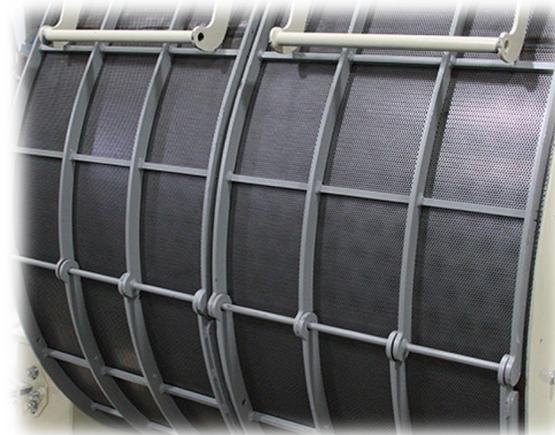
# Molino de Martillos



- **Alimentador rotativo de bolsas**
  - Alimentación uniforme a lo ancho del molino
  - Fácil de automatizar
  - Disponible con imán de autolimpieza
- **Consideraciones**
  - Asegurarse que los alimentadores no están rotos y no tienen fugas de producto
    - Importante si se pasa de moler maíz a moler trigo
      - Granos más pequeños

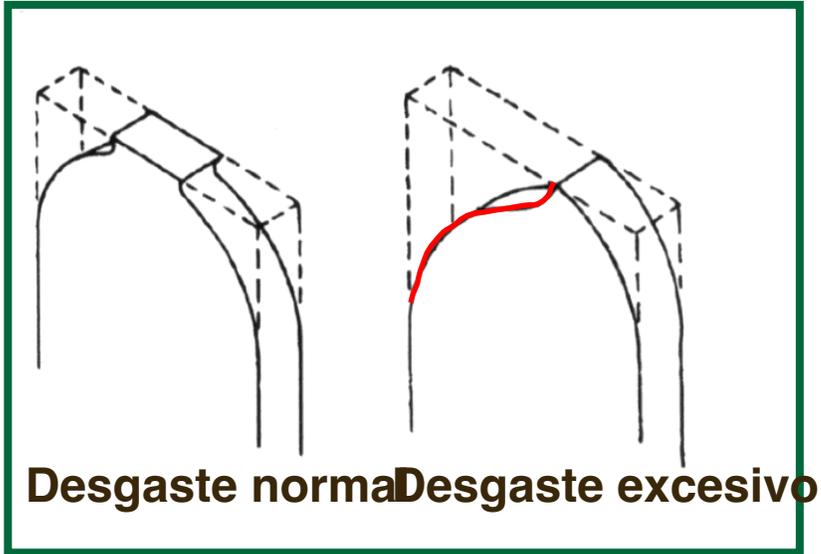


# Martillos y Cribas

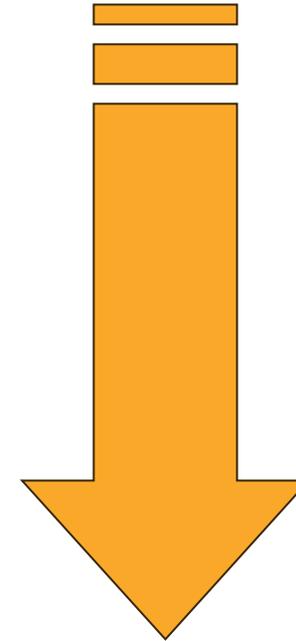
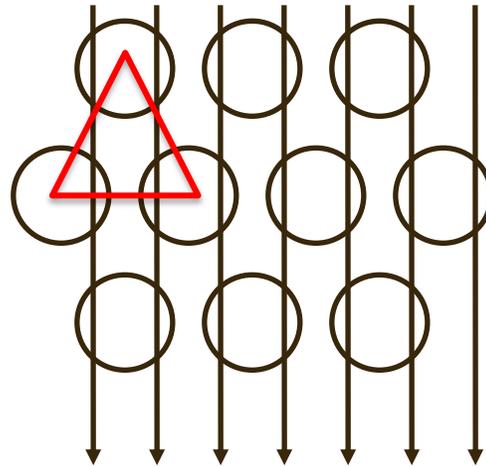


# Martillos y Cribas

- Escalonamiento de orificios

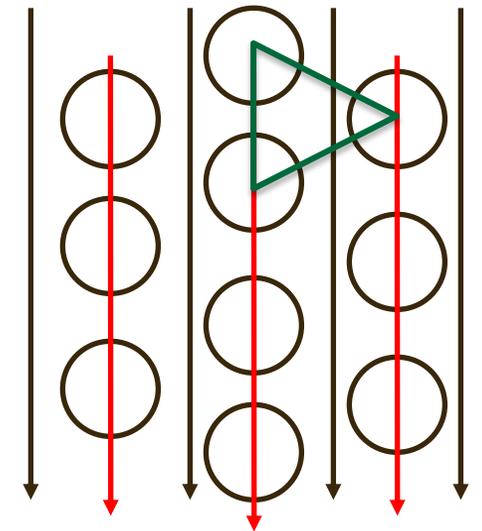


**Correcto**



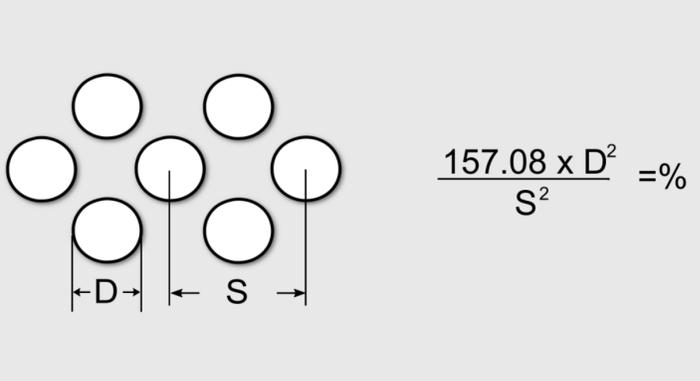
Recorrido del martillo

**Incorrecto**



# Área Abierta de la Criba

Redondo – 45° Centro Escalonado

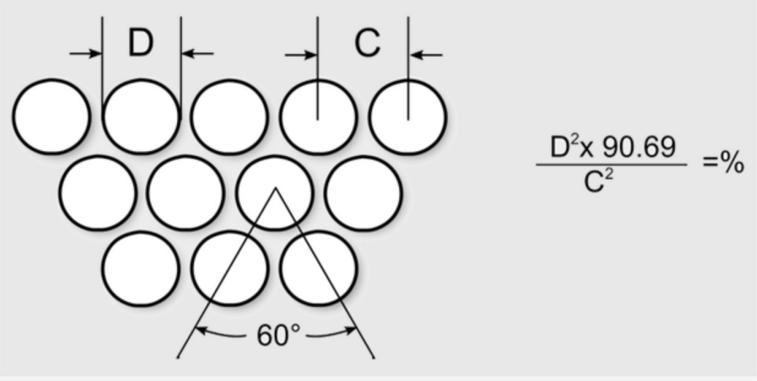

$$\frac{157.08 \times D^2}{S^2} = \%$$

Diámetro de la abertura (D)

Espaciamiento (S)

Área abierta (DA)

Redondo – 60° Centro Escalonado


$$\frac{D^2 \times 90.69}{C^2} = \%$$

Diámetro de la abertura (D)

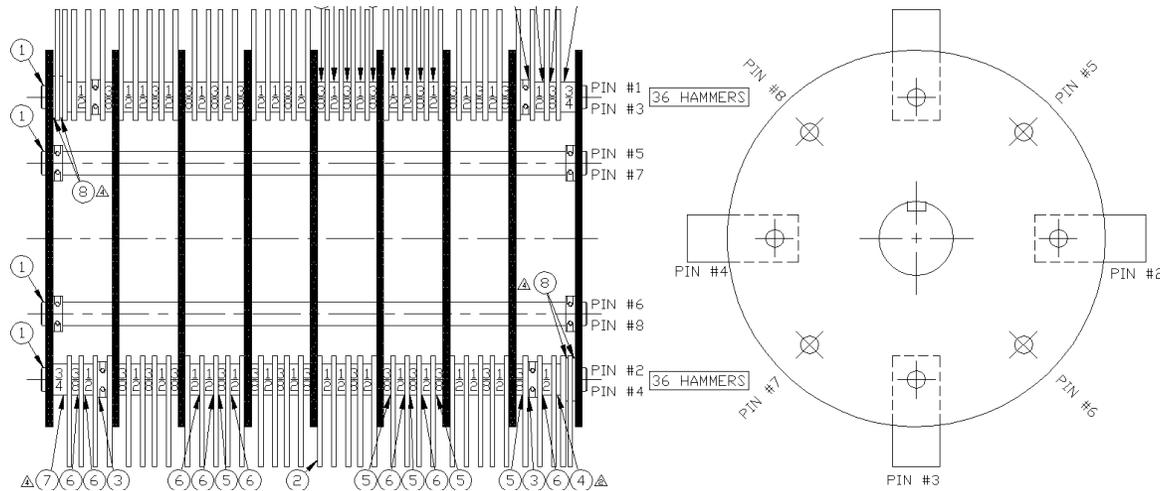
Centro (C)

Área abierta (OA)

- Área abierta amplia: alta productividad, molienda gruesa y cribas débiles
- Área abierta limitada: baja productividad, molienda fina y cribas resistentes

# Disposición de Martillos

¿Cuántos martillos tiene en su maquina? ¿Está usando la cantidad correcta? ¿Cuántos HP tiene su motor principal?



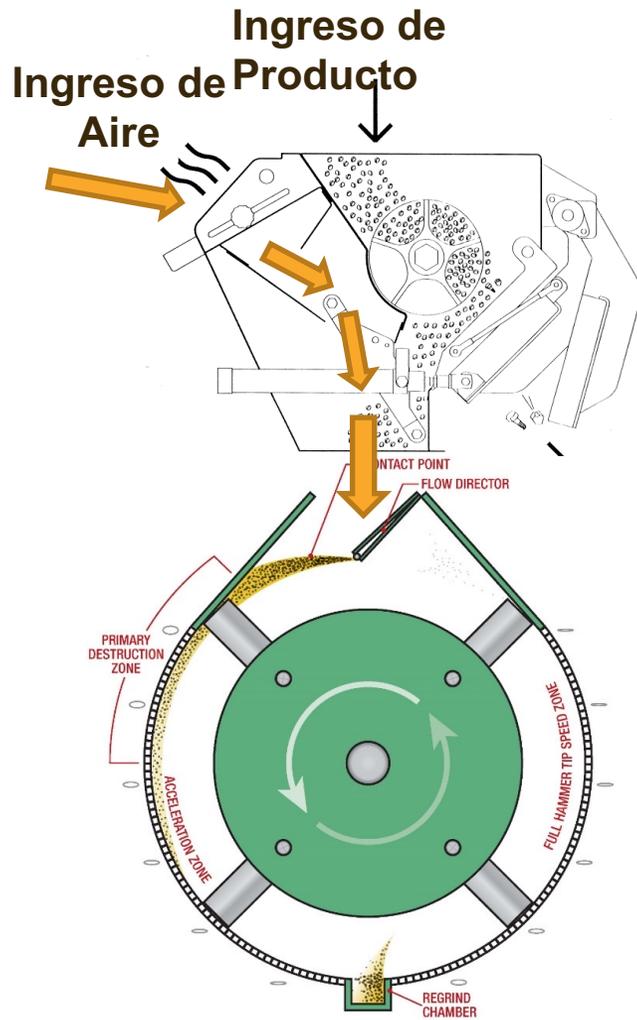
Más martillos = mayor superficie para trabajo = molienda fina  
Menos martillos = menos superficie para trabajo = molienda gruesa

Colocar más martillos puede resultar en una pérdida de productividad

La disposición de martillos puede ser ajustada de acuerdo a las condiciones del proceso, materiales molidos y tamaño/distribución de partículas deseada

Ejemplo: Motor principal = 300 HP  
 $300/2 = 150$                        $300/2.5 = 120$   
Su molino de martillos necesita tener entre 120 y 150 martillos.

# Aspiración



- La aspiración es un componente fundamental para la eficiencia del molino de martillos y control de polvo
- Los requerimientos de la aspiración están basados en:
  - Área de la criba
  - Área abierta de la criba
  - Tamaño de partícula deseado
- Cada molino de martillos debe tener un ventilador, filtro, plenum y una esclusa
- Generalmente un molino de martillos requiere un volumen de aspiración en pies cúbicos/minuto de 1.25 a 1.5 veces el tamaño de criba
- Ejemplo: Un molino HM44-48 tiene 5,760 in<sup>2</sup> de área de criba
- Para una molienda gruesa con una criba con agujeros de diámetro grande - usar un factor de 1.25
  - $5,760 \times 1.25 = 7,200 \text{ ft}^3/\text{minuto}$
- Para una molienda fina con una criba con agujeros de diámetro pequeños - usar un factor de 1.50
  - $5,760 \times 1.50 = 8,640 \text{ ft}^3/\text{minuto}$

# Molino de Martillos

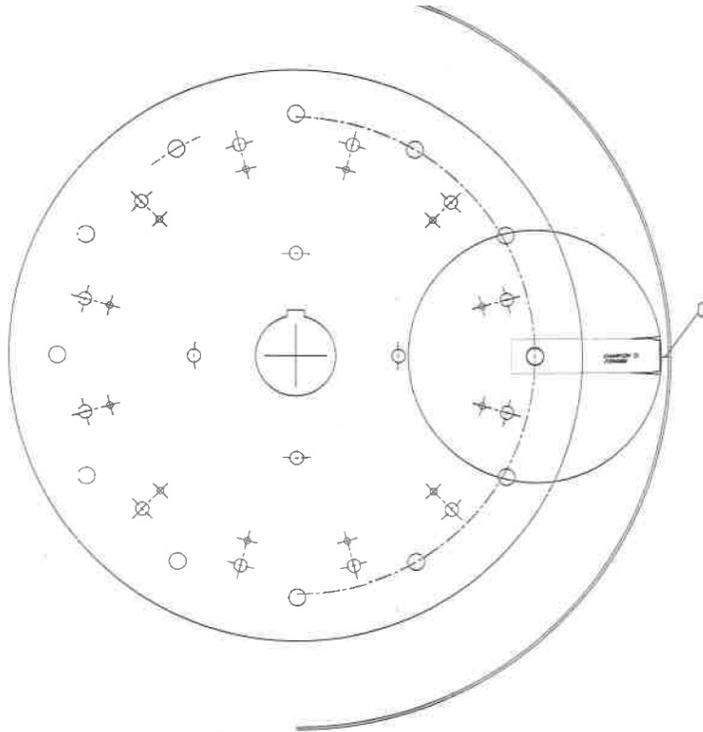


vs.



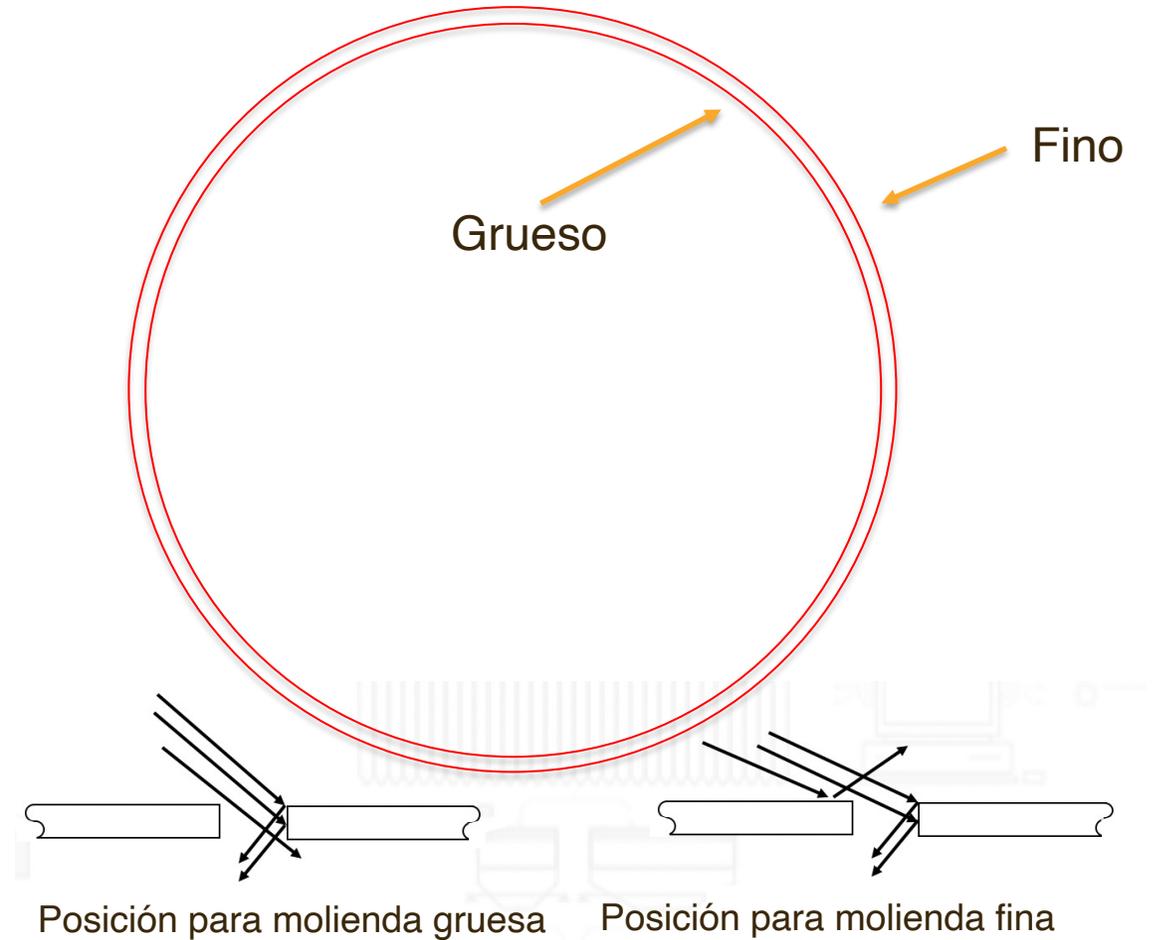
Los martillos muestran un desgaste irregular debido a una alimentación dispereja de extremo a extremo

# Posición de Martillos



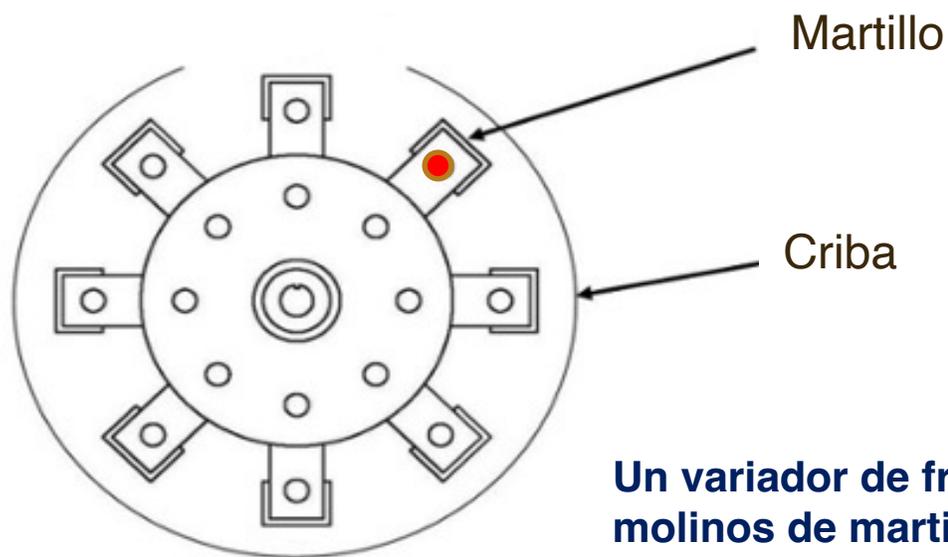
**Posición, molienda gruesa**  
La distancia libre es  $7/16''$   
(11-12mm)

**Posición, molienda fina**  
La distancia libre es  $7/32''$   
(4-5mm)



# Cálculo de Velocidad de Punta de Martillo

Diámetro, Pulgadas	Ancho	RPM	Velocidad de Punta, FPM	Rango HP
38	48	1800	17,898	300 – 350
44	48	1800	20,730	300 – 450
54	48	1800	25,434	350 - 500



$$P = 2 \pi r = \pi D$$

$$P = 3.1416 \times D$$

$$P = 3.1416 \times 38''/12$$

$$P = 3.1416 \times 3.167 \text{ pies}$$

$$P = 9.94 \text{ pies}$$

Motor = 1,800 rpm x 9.94 pies

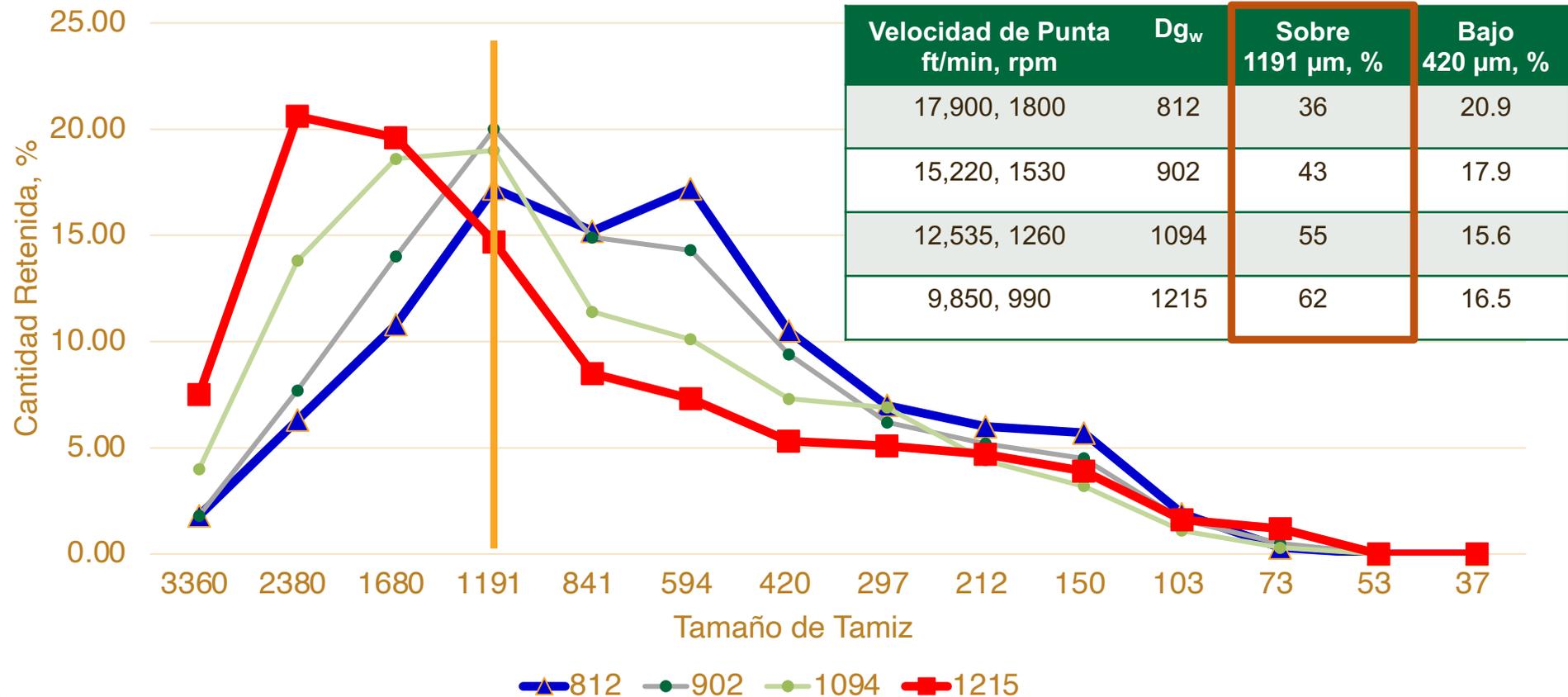
Pies/minuto = 17,898

Millas/hora = 203



Un variador de frecuencia (VFD) en el motor de accionamiento principal de los molinos de martillos puede ayudar a controlar el tamaño de las partículas por medio del ajuste de la velocidad de punta de los martillos

# ¿Cómo Modificar el Tamaño de Partícula?

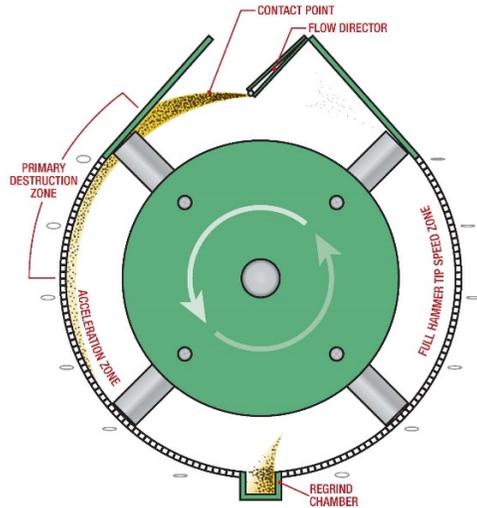


**Maíz fue molido con cribas de 7.9 mm**



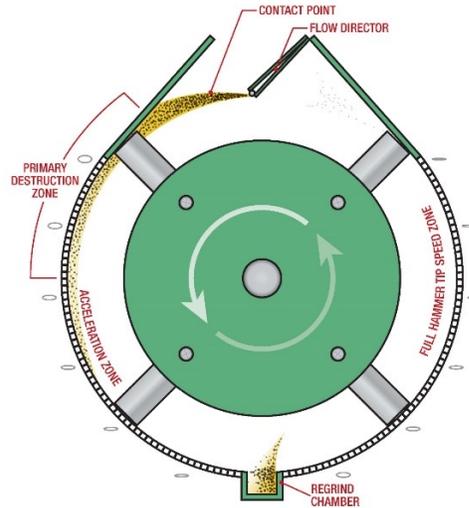
# Efecto del diámetro del rotor en la velocidad de la punta

## 38 Series



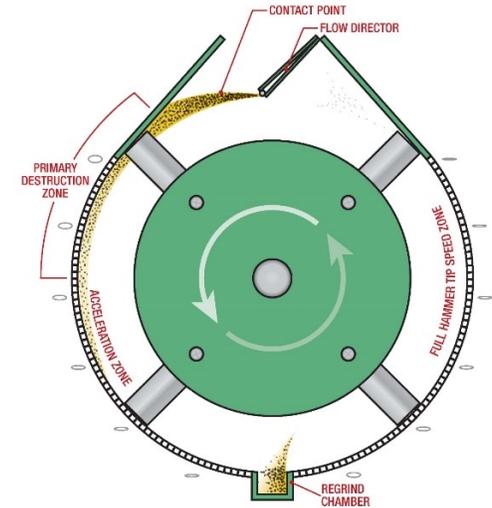
38" Diameter (965mm)  
1800rpm: 17,907 fpm (91m/s)  
or 203 mph (326 km/h)

## 44 Series



44" Diameter (1118mm)  
1800rpm: 20,734 fpm (105m/s)  
or 235mph (378 km/h)

## 54 Series



54" Diameter (1372mm)  
1800rpm: 25,446fpm (129m/s)  
or 289 mph (465 km/h)

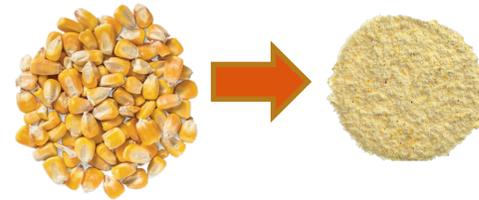
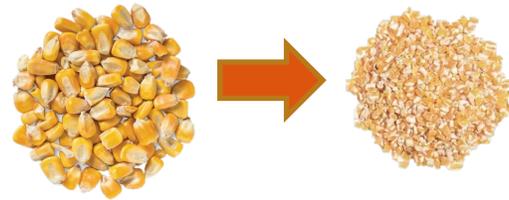
# Velocidad de Punta



Accidente a 48 kmh



Accidente a 112 kmh



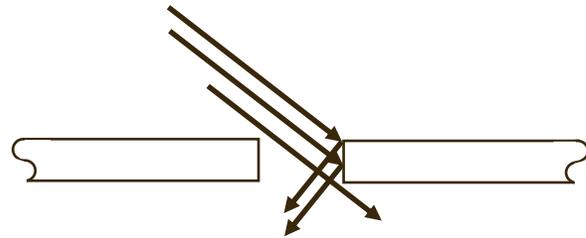
Hurricane Intensity Scale (Wind Damage)



Category	Wind speed
Category 1	75 - 95 mph 33-42 ms <sup>-1</sup>
Category 2	96 - 110 mph 43-49 ms <sup>-1</sup>
Category 3	111 - 130 mph 50-58 ms <sup>-1</sup>
Category 4	131 - 154 mph 59-69 ms <sup>-1</sup>
Category 5	155 + mph 70+ ms <sup>-1</sup>

©The COMET Program

# Costos de Molienda



**Criba nueva**

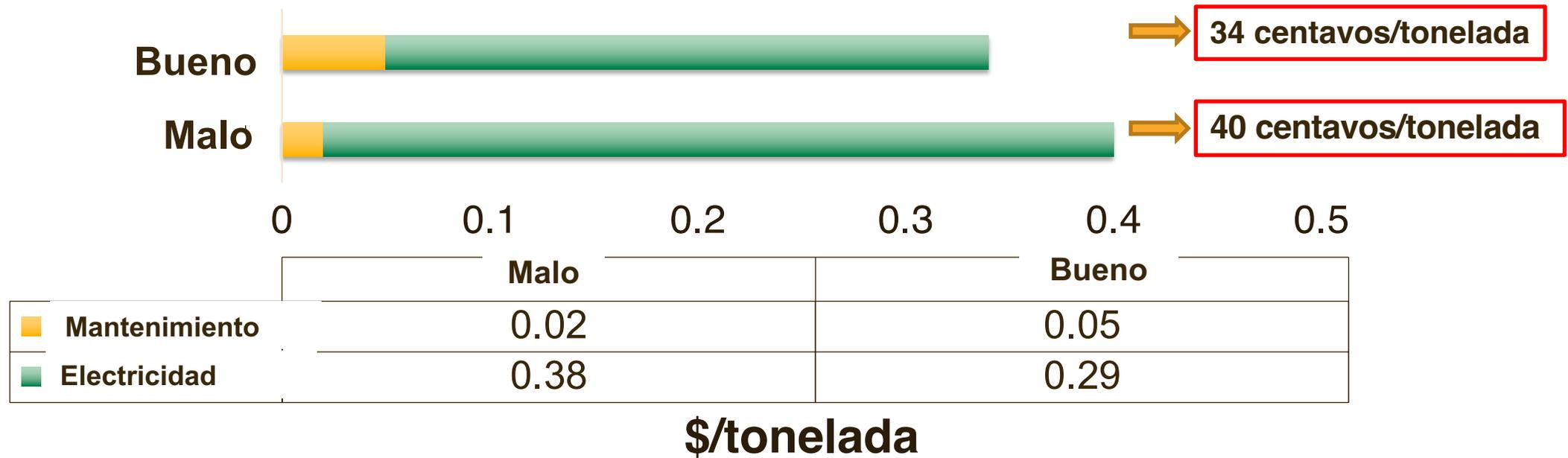


**Criba vieja**

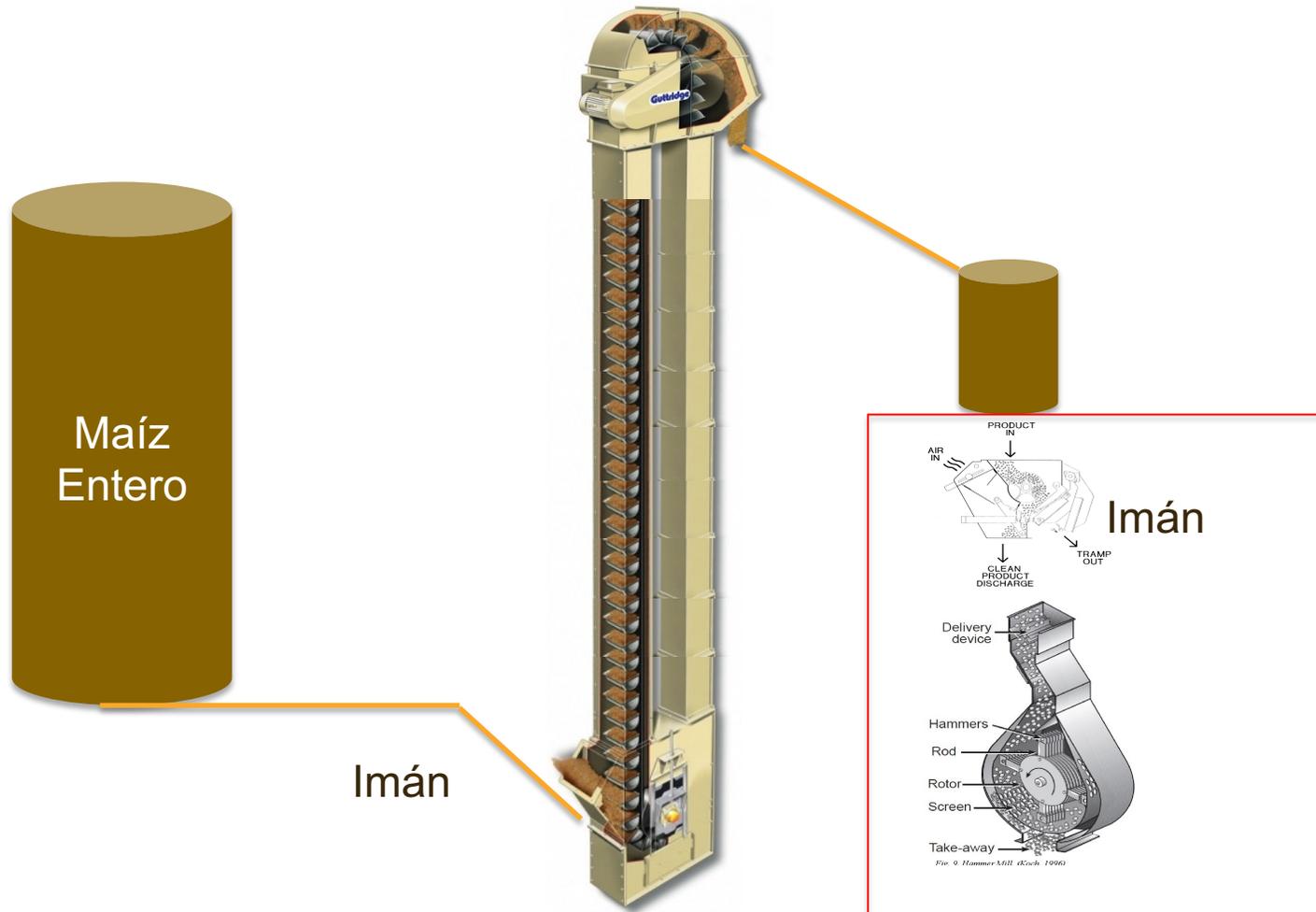
- A medida que la criba se gasta, el material es desviado y no pasa a través de la criba
- La capacidad y eficiencia del molino de martillos se reduce

- Gerentes y personal de mantenimiento de plantas de concentrados deben determinar cuando el aumento del costo energético por tonelada de material supera el costo de sustitución de las cribas y los martillos
  - Solución: registrar amperios y tasa de producción con martillos y cribas nuevas y posteriormente monitorear la disminución en la tasa de producción a medida que los martillos y cribas se gastan

# Costos de Molienda



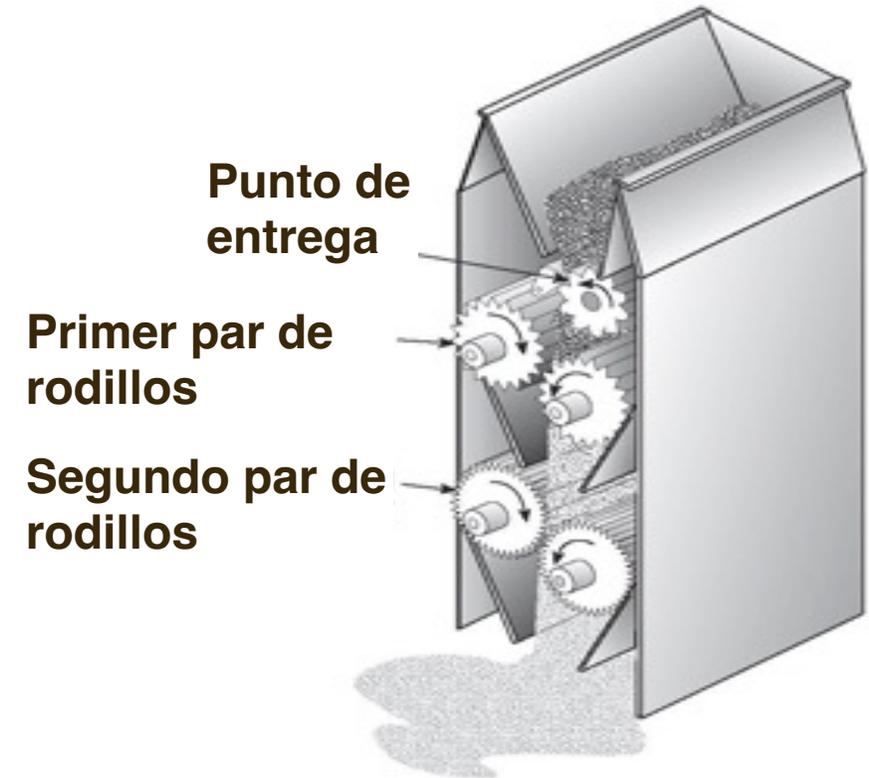
# Proteja su Equipo de Molienda



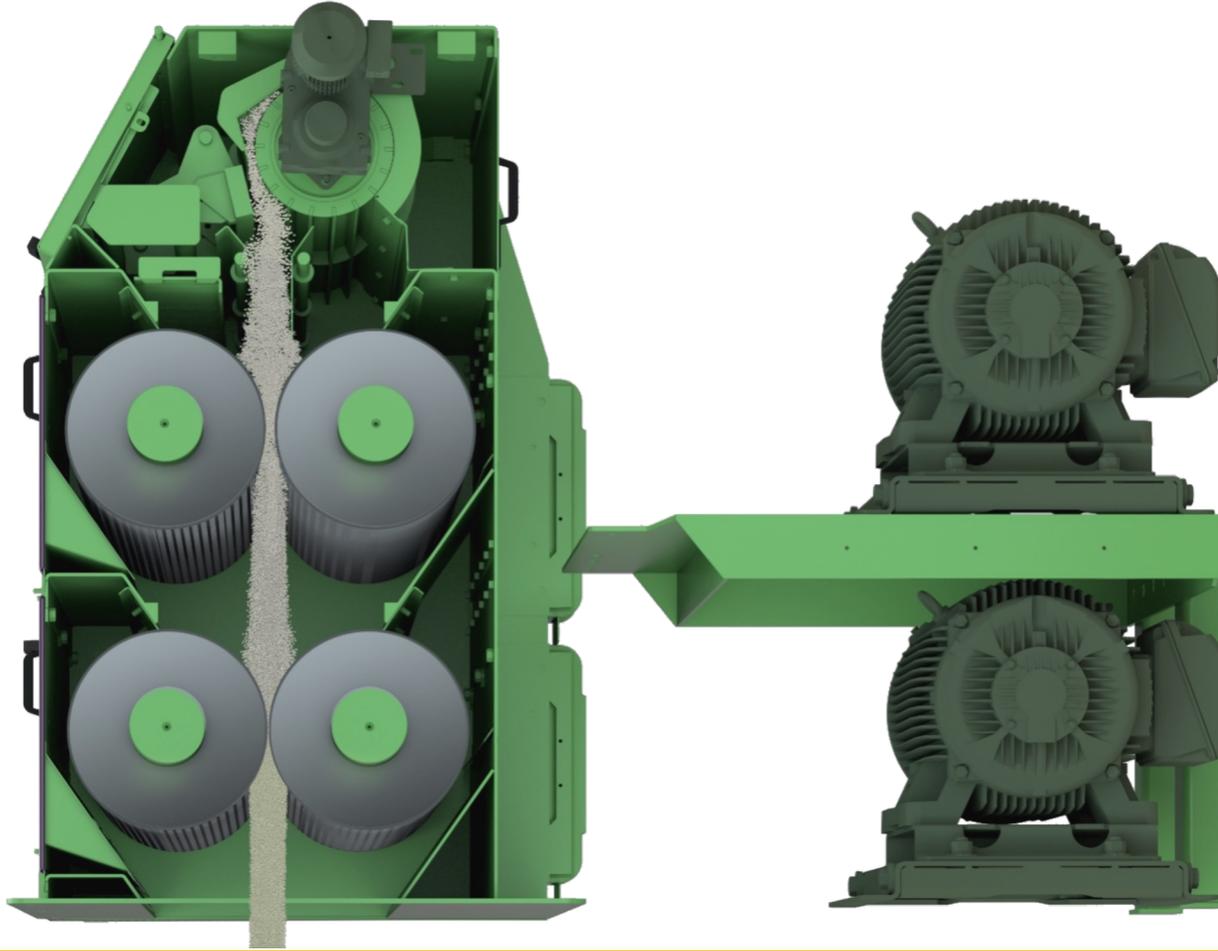
- Normalmente, el área de molienda se ubica adyacente a la planta de concentrado (exterior)
- El uso de paneles de explosión es común

# Molino de Rodillos

- Comúnmente utilizados en la industria de concentrados cuando las dietas son suministradas en forma de harina



# ¿Cómo Funcionan los Molinos de Rodillos?

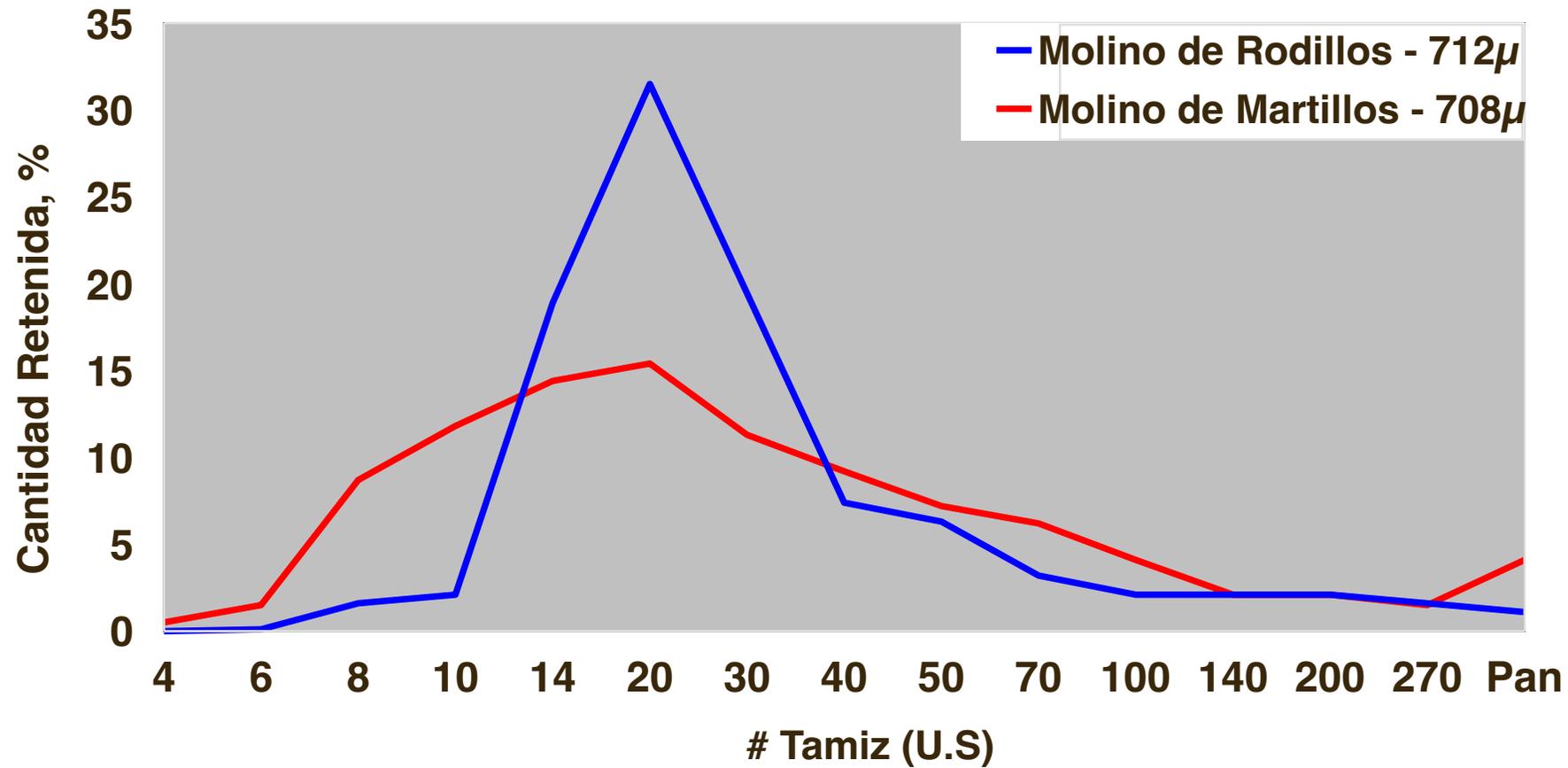


- El material es molido a medida que pasa por una serie de rodillos (1 a 3 pares)
- Avicultura – 1 a 2 pares (> 700 micrones)
- Porcicultura – 3 pares (~ 450 microns)

# Molino de Rodillos



# Distribución de Tamaño de Partícula



# Molino de Rodillos

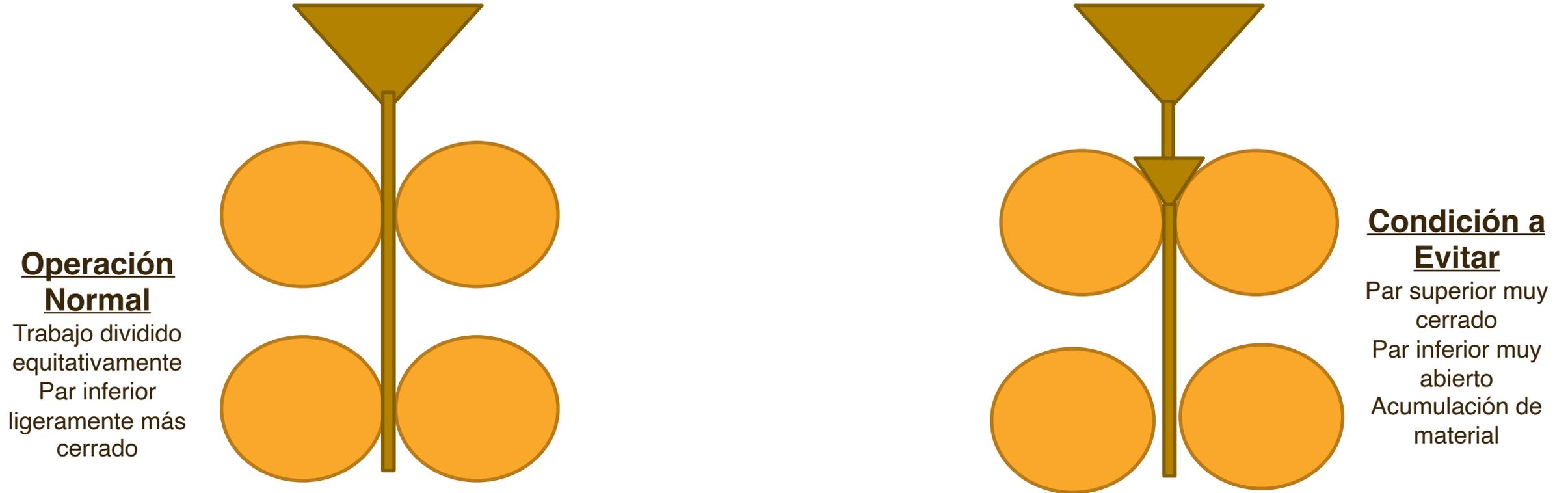
## Ventajas

- Menos ruidosos
- Menor incremento de temperatura y pérdida de humedad
  - 0 - 3°F vs. hasta 10°F
- Tamaño de partícula uniforme
  - Menos finos y partículas sobredimensionadas
- Ahorro de energía
  - > 15%
- Menor pérdida de humedad
  - < 0.5% vs. 1 – 3%

## Desventajas

- Elevada inversión inicial
- Labores de mantenimiento complicadas
  - Ajuste de rodillos y análisis de tamaño de partícula frecuente
- No puede moler materiales fibrosos (cebada, avena) ni grano con alta humedad

# Molino de Rodillos



**Es importante comprender cuanto trabajo esta realizando cada par de rodillos**

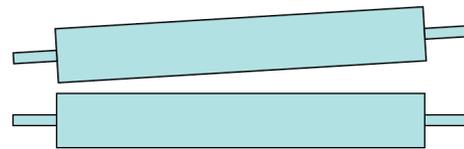
Al ajustar la separación entre los rodillos, empezar con el rodillo superior y continuar hacia abajo. Una vez que las separaciones entre los rodillos han sido establecidas, comprobar la carga de cada motor para asegurarse de que todos los pares realizan un trabajo similar

# Molino de Rodillos

## Separación Entre Rodillos (vista para abajo desde arriba)



**Correcto**  
**(Separación**  
**Uniforme)**



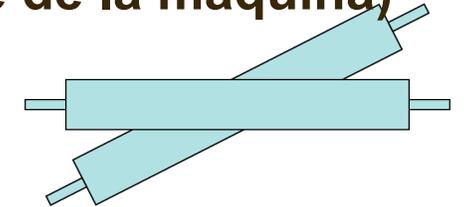
**Incorrecto**  
**(Separación Desigual)**

**Los rodillos deben estar paralelos**

## Alineación de Rodillos (vista desde enfrente de la máquina)



**Correcto**  
**(Rodillos Alineados)**

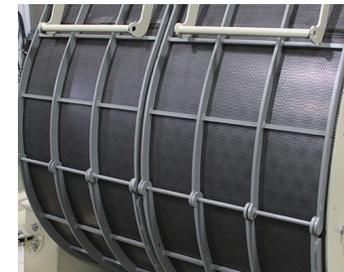
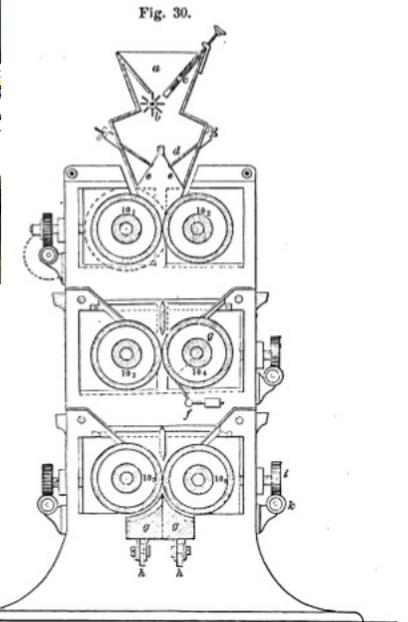


**Incorrecto**  
**(Rodillos No**  
**Alineados)**

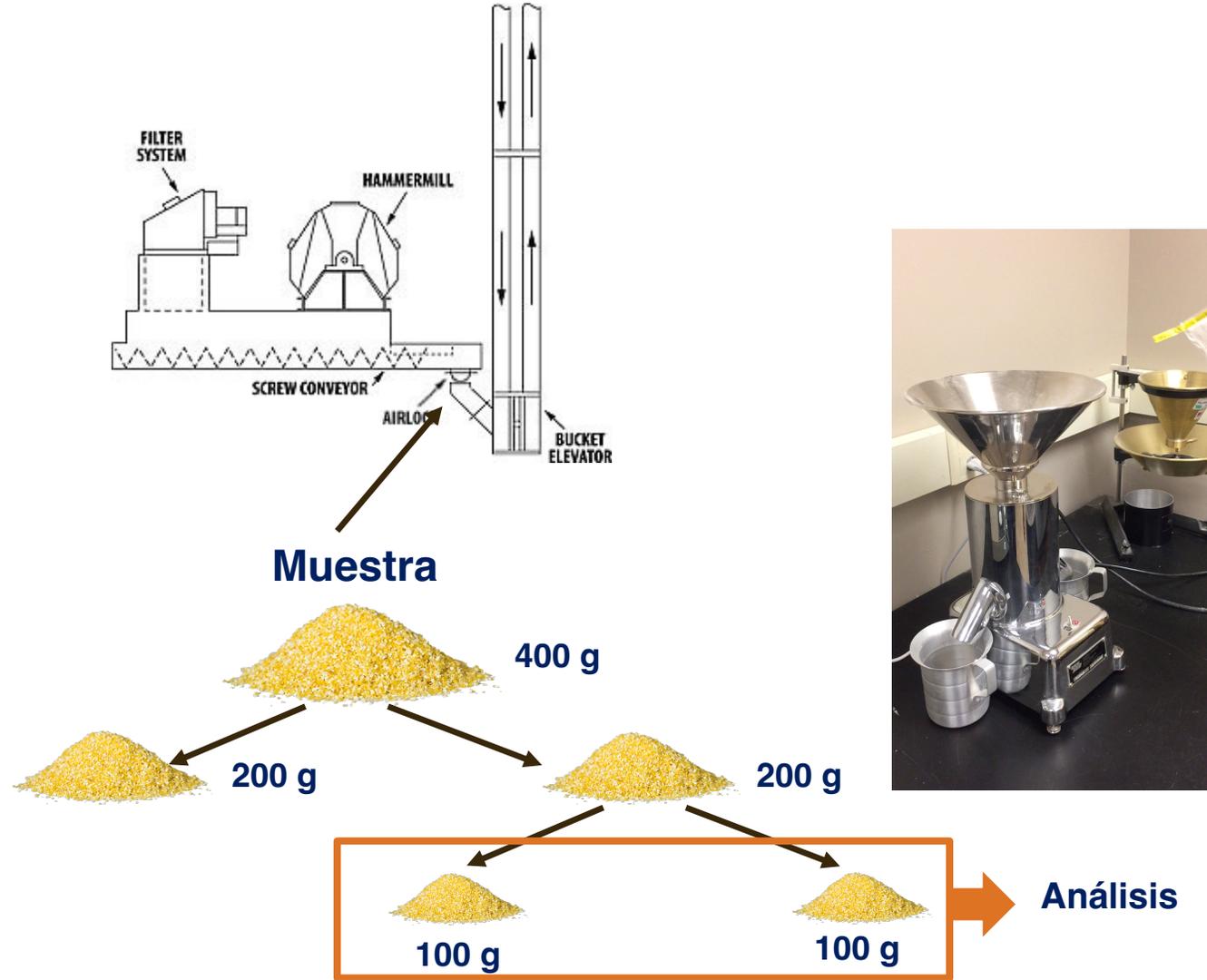
**Los rodillos deben estar alineados**

# Control de Proceso

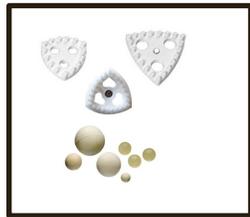
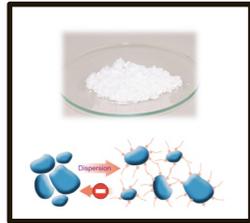
- **Equipo**
  - Mantener el equipo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante
  - Limpiar imanes frecuentemente
  - Inspeccionar cribas y martillos semanalmente
  - Ajustar la separación entre rodillos diariamente
- **Inspección visual**
  - Revisar la apariencia del grano molido
  - Comprobar que las cribas no tengan fugas



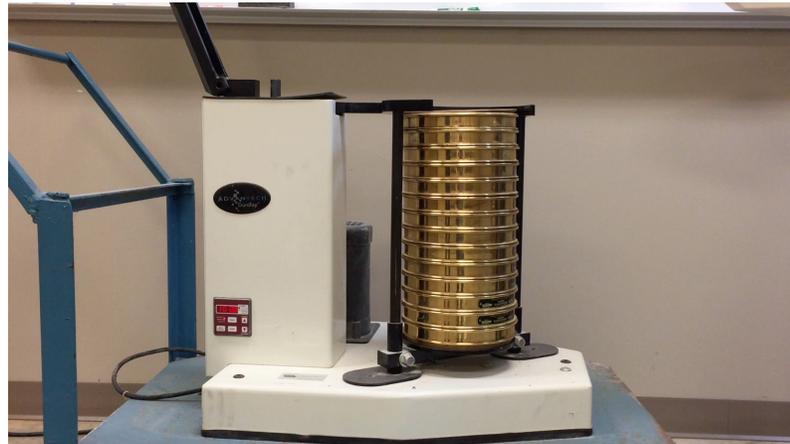
# Muestreo



# Análisis de Tamaño de Partícula ASABE S319.4



10 minutos



Pesar la cantidad de material en  
cada tamiz



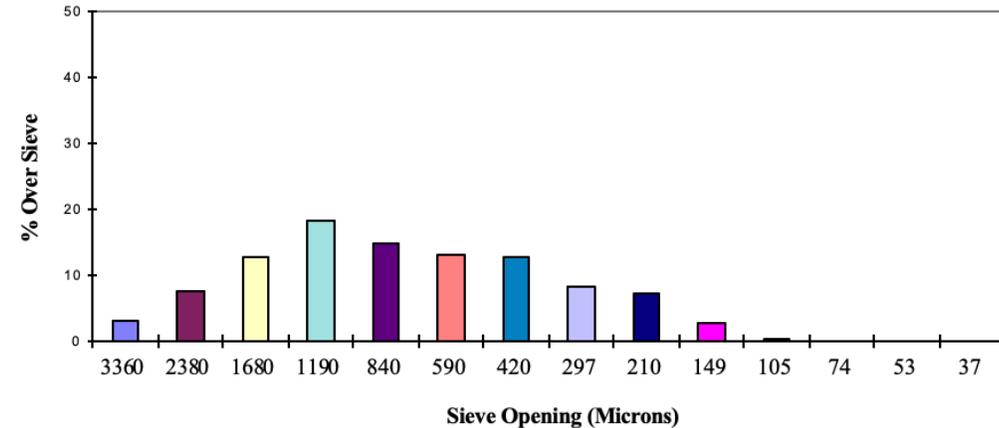
# Análisis de Tamaño de Partícula ASABE S319.4

Material: Maíz molido

Date:

Initial Wt 113.4 g

U.S Sieve	Micron Size	Wt grams	%	% less than	log dia	wt * log dia	log dia - log Dgw	wt(log dia - log Dgw)^2
4	4760	0	0.00	100.00	3.75	0.00	0.79	0.00
6	3360	3.40	2.98	97.02	3.60	12.25	0.64	1.40
8	2380	8.70	7.62	89.40	3.45	30.03	0.49	2.10
12	1680	14.50	12.71	76.69	3.30	47.86	0.34	1.69
16	1190	20.80	18.23	58.46	3.15	65.53	0.19	0.75
20	840	17.00	14.90	43.56	3.00	51.00	0.04	0.03
30	590	14.90	13.06	30.50	2.85	42.43	-0.11	0.19
40	420	14.30	12.53	17.97	2.70	38.57	-0.26	0.99
50	297	9.20	8.06	9.90	2.55	23.44	-0.41	1.56
70	210	8.30	7.27	2.63	2.40	19.90	-0.56	2.63
100	149	2.90	2.54	0.09	2.25	6.52	-0.71	1.47
140	105	0.10	0.09	0.00	2.10	0.21	-0.86	0.07
200	74	0.00	0.00	0.00	1.95	0.00	-1.01	0.00
270	53	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	-1.16	0.00
Pan	37	0.00	0.00	0.00	1.65	0.00	-1.31	0.00
Summation		114.10	100.00			337.73		12.88
Particle Size, Dgw			912		Surface Area (cm <sup>2</sup> ) / gram			67.2
Standard Dev., Sgw			2.17		Particles / gram			14,765

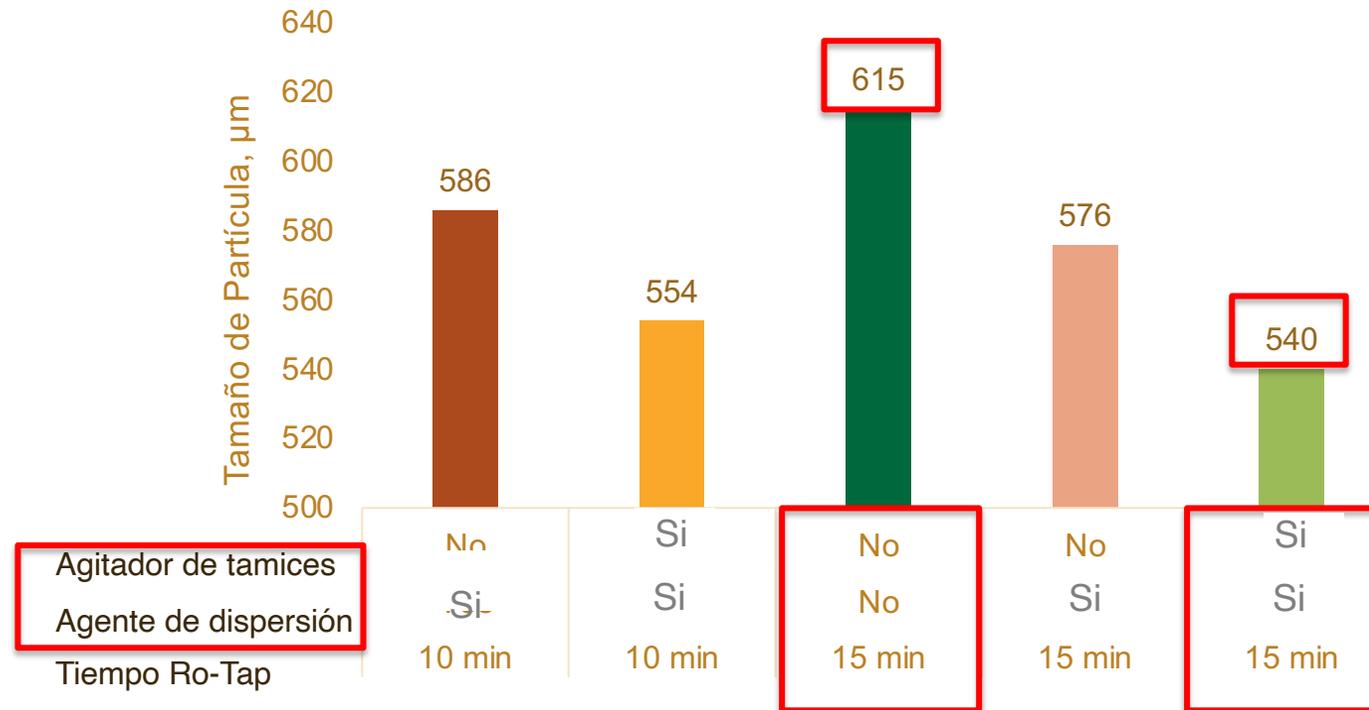


VS



# Análisis de Tamaño de Partícula – ASABE S319.4

La metodología usada para el análisis de tamaño de partícula puede impactar significativamente los resultados finales. Es importante comprender la metodología para asegurarse de que los resultados son interpretados correctamente



# Conclusiones

- El tamaño de partícula de los ingredientes impacta el costo de molienda y desempeño animal
- Desarrollar tamaños de partícula dependiendo de:
  - Diseño de silos, tipo de alimento e ingredientes
- Un muestreo y análisis de partícula deben realizarse al menos semanalmente, después de mantenimiento preventivo o correctivo como cambiar cribas y martillos y cambiar la dirección de rotación; también deben realizarse cuando las características de los ingredientes cambien (ex. nuevo cultivo de maíz)

# ¿Preguntas?



**Wilmer Javier Pacheco, MSc., PhD.**  
**Especialista de Extensión y Profesor Asociado**  
**Universidad de Auburn**  
[wjp0010@auburn.edu](mailto:wjp0010@auburn.edu)