



D-9286

T
672.66472
B562
C.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

~~0/6H~~

“CRITERIOS DE SELECCION Y OPTIMIZACION DEL
TAMAÑO DE ESFERAS DE ACERO PARA MOLIENDA
DE PASTA DE CACAO”

INFORME TECNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por :

José Vicente Betancourth Santos

Guayaquil - Ecuador

1989

A G R A D E C I M I E N T O

A1 ING. IGNACIO WIESNER F.
Director de Informe Técnico, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

A mis colaboradores y amigos que de una u otra manera apoyaron para la ejecución de este informe.

D E D I C A T O R I A

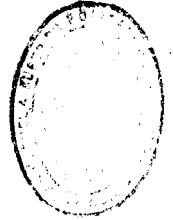
A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

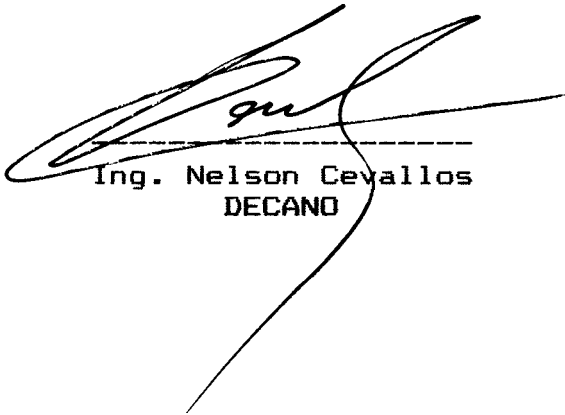
DECLARACION EXPRESA



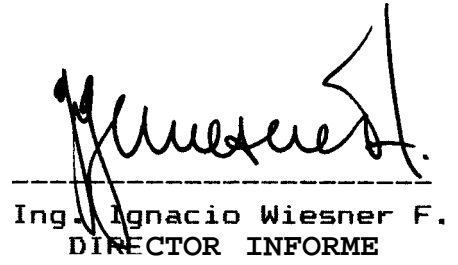
BIBLIOTECA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Informe Técnico, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL",
(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

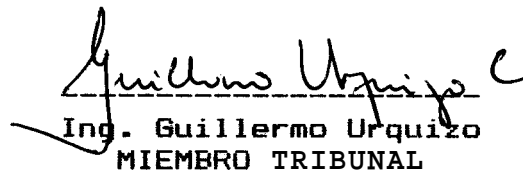
José Vicente Betancourth Santos



Ing. Nelson Cevallos
DECANO



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR INFORME



Ing. Guillermo Urquiza
MIEMBRO TRIBUNAL

RESUMEN

El presente Informe **Técnico** tiene por objeto, suministrar criterios **técnicos** y prácticos para la selección y **optimización** del tamaño de las esferas de acero con que el molino de bolas debe trabajar, para la producción de Pasta o Licor de Cacao y en **las** condiciones técnicas que se ajusten a los estándares de calidad relativo a la finura.

Primero **se** describe en forma general, el proceso clásico de producción de Licor de Cacao con **sus** diversas faces de procesamiento. **Se** presentan los métodos actuales de molienda de Cacao y con la descripción de ellos se establece la **comparación** entre los equipos correspondientes, analizando **sus** beneficios y desventajas más importantes.

Luego se definen **los** estándares de calidad, centrando la atención en el **parámetro** de finura, objeto de la presencia del Molino a Esferas en la industria de Licor de Cacao. Se demuestra la variación de la finura en función del tamaño de las esferas, el mismo que varia debido al desgaste que sufren durante el proceso de molienda, centrando la problemática en los siguientes puntos:

1. Disminución del tamaño de las **esferas** o elementos de molienda por **desgaste**.

2. Disminución del peso total de las bolas cargadas al molino y consecuentemente se reducen las probabilidades que las partículas de Cacao tienen de ser refinadas por los elementos de molienda.

3. Selección de los tamaños permisibles de esferas que deben estar presentes en el interior del molino.

4. Costo elevado de selección y reposición de bolas.

Una vez estructurado y definido el problema, se elaboró repetitivamente ensayos de Finura Vs. Producción, analizando las diversas situaciones que se producen durante la operación del molino, iniciándolas desde la carga de esferas recomendada por el fabricante; después de 1000, 2000 y 3000 horas de trabajo individualmente, y controlando el diámetro mínimo que se encontraba presente en cada situación.

Al encontrar que a las 3000 horas la finura del producto era inferior a los parámetros requeridos, se probó haciendo reposiciones de esferas y se volvió a analizar el efecto que tenía sobre la finura para 1000 y 2000 horas después de la reposición. Finalmente, con resultados fuera de standard a las 2000 horas, se procede a seleccionarlas conservando en el molino esferas con diámetros entre 4 y 6 mm, y a partir de esta situación volver a estudiar el resultado de finura a través del tiempo y para las capacidades de producción requeridas: 900 a 1000 Kg/hr.

Los elementos de juicio que fueron obtenidos durante los

ensayos en producción, permitieron establecer los criterios de selección desde el punto de vista económico y de calidad, así como el método de operación y mantenimiento que resultó conveniente para el equipo utilizado.

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

1.- ANTECEDENTES

1.1.- Proceso de produccibn de pasta de Cacao

1.2.- Métodos actuales de molienda de pasta de Cacao
y su análisis comparativo

2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1.- Requerimientos técnicos y estandares de calidad
de la pasta de Cacao

2.2.- Variación de la finura en función del tamaño de
de las esferas de acero

3.- CRITERIOS DE SELECCION DEL TAMAÑO DE LAS ESFERAS DE
ACERO.

3.1.- Planteamiento de variables y parámetros fijos

3.2.- Criterios de calidad del producto final

3.3.- Criterio econbmico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.- Proceso Clásico de Elaboración de Licor o Pasta de Cacao.

Fig. 2.- Esquema del Proceso Clásico de Elaboración de Pasta de Cacao.

Fig. 3.- Refinadora de tres rodillos.

Fig. 4.- Molino de pernos con plastificador.

Fig. 5.- Molino de cuchillas percusoras SMM 800.

Fig. 6.- Molino a esferas de acero.

ABREVIATURAS UTILIZADAS

C & M: Carle & Montanari

RPM : Revoluciones por minuto

Kg. : Kilogramos

hr. : Horas

Kg/hr: Kilogramos por hora

mm : Milímetros

Mb : Molino de bolas

MR : Molino de Rodillos

MAP : Molino de Pernos

KW : Kilowatios

dm : Diámetro mínimo

% : Porcentaje

F : Finura

P : Producción

d : Diámetro de esferas

Fe : Finura de entrada

H : Humedad residual

MG : Materia grasa

s : Cascarilla

W : Peso total de la carga de esferas

wr : Peso de la carga de esferas repuestas al molino

R : Reposición de esferas

S : Seleccibn de esferas

ws : Peso total de la carga de esferas repuestas después de la selección.

$d_{mñ}$: Diámetro mínimo de reposición

d_{mS} : Diametro mínima de selección

μ : Micras.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1. PROCESO DE PRODUCCION DE PACTA DE CACAO

Previo a la descripción general del proceso, se dará la definición del producto en sí y luego se procederá a explicar las diversas etapas que intervienen en el proceso, considerando un ciclo clásico de producción. Ver figura 1 y 2.

LICOR DE CACAO: Es el producto obtenido a partir del procesamiento de la semilla de Cacao descascarada y torrefaccionada.

Para la descripción del proceso, se considerará una planta de 1200 a 1300 Kgs/hr (ciclo clásico).

ALIMENTACION DEL GRANO: La semilla de Cacao es adquirida de los proveedores, usualmente en sacos de yute y, luego de ser sometida a un tratamiento de limpieza, selección, clasificación y secado -si las humedades son superiores al 8.5%- se acumula en silos de almacenamiento. Desde estos silos se alimenta el grano mediante transportadores a flujo controlado hacia las limpiadoras de tipo SPC de la marca Carle & Montanari.

LIMPIEZA DEL GRANO: El Cacao es alimentado a las limpiadoras SPC, que son máquinas que someten el producto al tamizado y a una violenta aireación para eliminar el polvo, escorias, semillas imperfectas y toda clase de cuerpos extraños sin pérdida de Cacao.

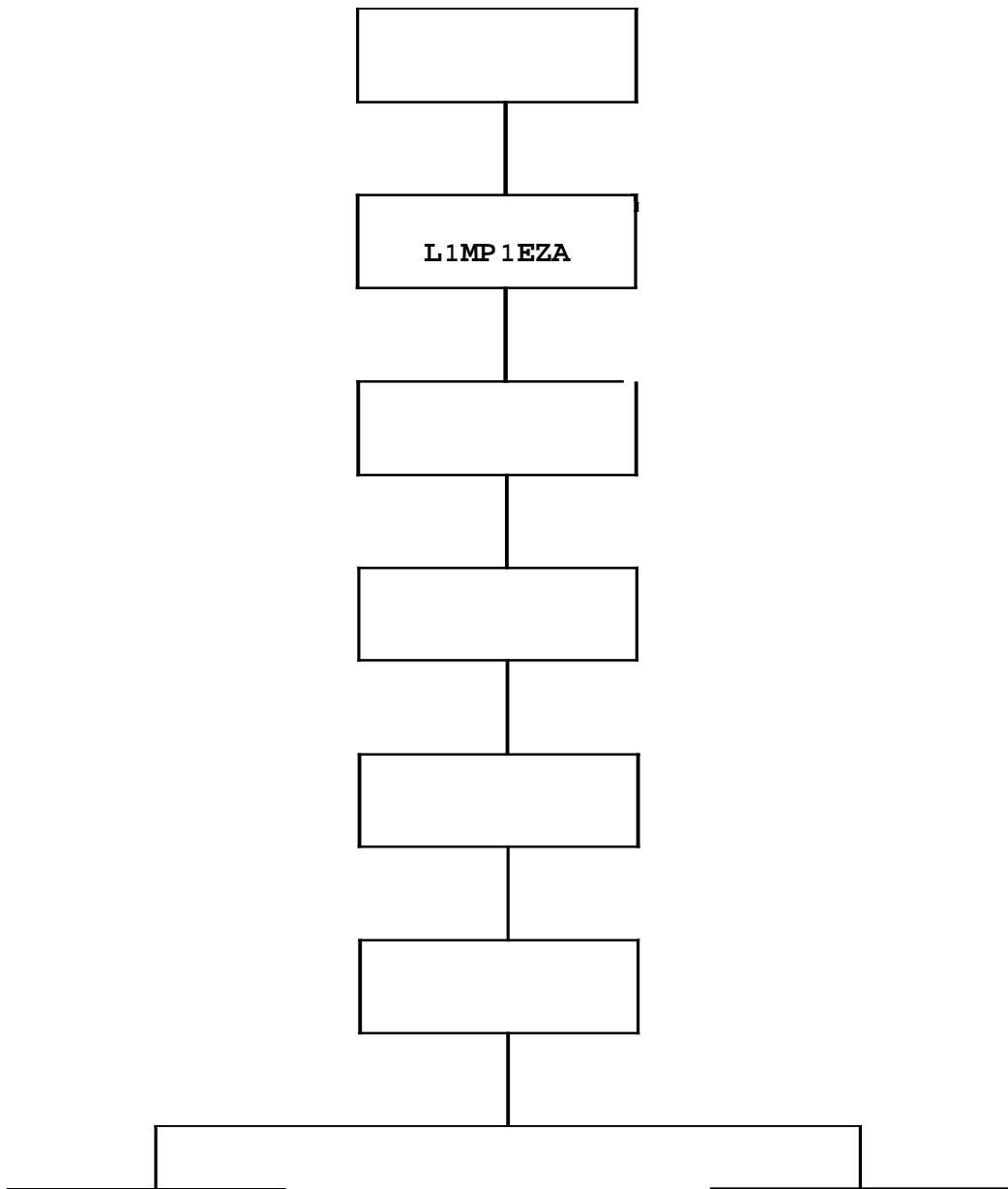


Figura #1.- PROCESO CLASICO DE ELABORACION DE LICOR O PASTA DE CACAO.

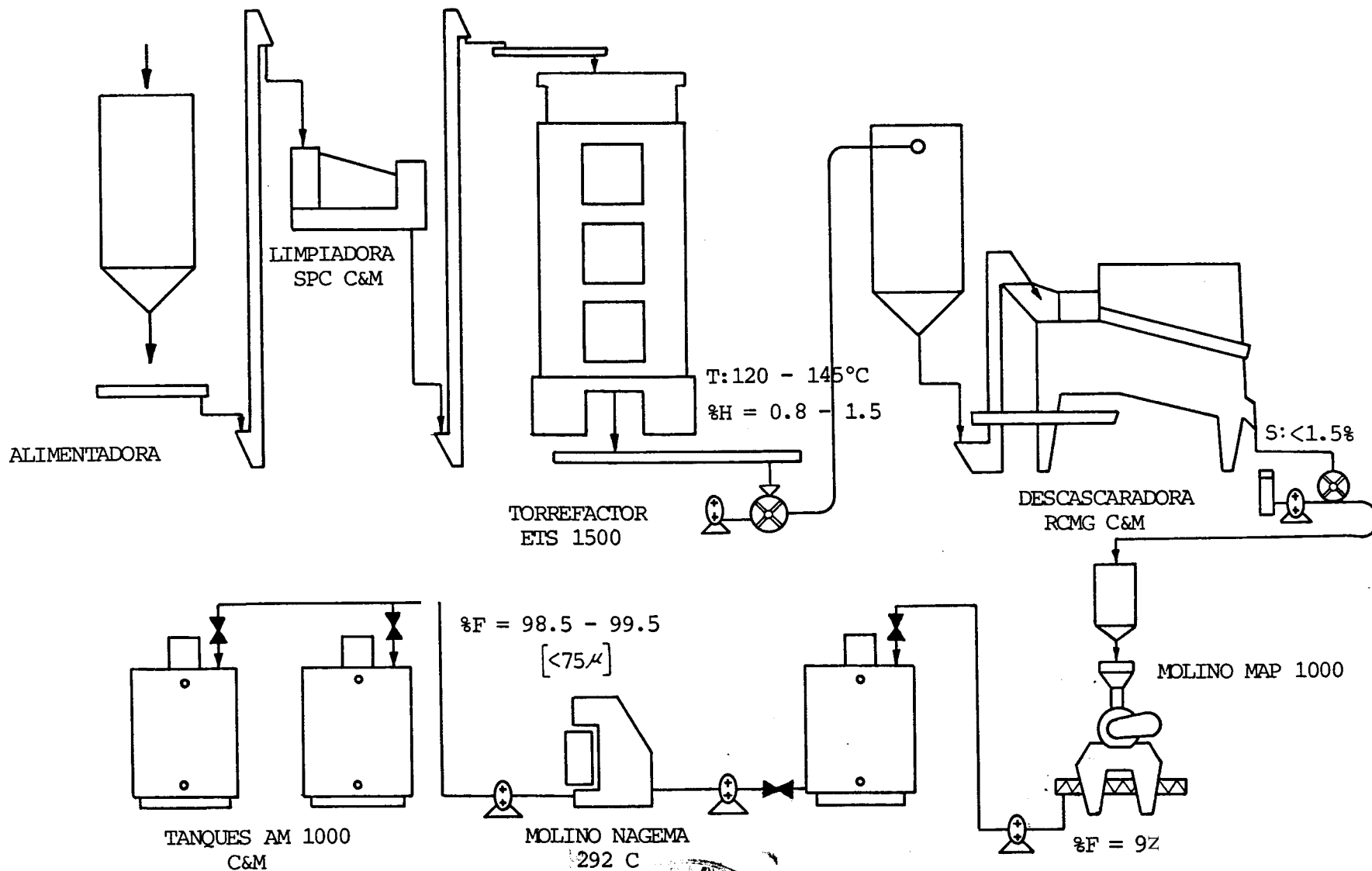


Figura #2.- ESQUEMA DEL PROCESO CLASICO DE ELABORACION DE PASTA DE CACAO

TORREFACCION: El Cacao ya limpio, es alimentado al Torrefactor continuo ETS 1500, mediante un elevador de canguiloneí y transportador **sinfin**. En esta fase del proceso se logra, no solo eliminar la humedad del grano, sino fundamentalmente el desarrollo máximo del aroma con los controles de temperatura y tiempo adecuados. Esta fase permite también, eliminar parte de los ácidos volátiles no deseables, especialmente ácido acético, lo que posibilita ajustar también el sabor del producto final.

El orden de las temperaturas **son** variables de acuerdo al producto que se desee obtener, sin embargo, **se** puede generalizar entre **120°C** a **145°C** para las temperaturas y entre **0.8** a **1.5%** para la humedad final del Cacao tostado.

DESCASCARADO: El grano así tratado **es** transportado neumáticamente hasta la máquina descascaradora RCMG de Carle & Montanari, en donde se produce **eficiente-**mente el quebrantado del grano y la separación de la cáscara, mediante tamices y ventilación, **obteniénd-****se** una pulpa limpia y fracturada. Los residuos de cascarilla no deben ser superiores al **1.5%**.

Desde este punto, la granilla de **Cacao** es transportada mediante una bomba neumática hasta **los** silos de almacenamiento para su molienda; mientras que la cascarilla -cuyo contenido de Cacao no debe exceder **0.3%**- es aspirada y transportada a un silo

exterior de la planta.

MOLIENDA: Los silos de almacenamiento de granilla se encuentran sobre los Pre-molinos MAP 1000, constituidos esencialmente por un par de discos con pines distribuidos concéntricamente e intercalados con dimensiones y distancias precisas. Alojados en la carcasa de los silos y colocados uno frente al otro, este par de discos giran en sentido contrario entre sí, a altas revoluciones (3450 RPM). Al pasar la granilla por este sistema, la misma se convierte en una pasta semifluida debido a su alto contenido graso (50-52% de materia grasa), y se descarga continuamente al interior de una tolva acondicionada térmicamente, en donde el agitador de la tolva plastifica la pasta, haciéndola bombeable.

A continuación, la pasta así obtenida es bombeada y alimentada a los molinos refinadores (en nuestro caso molinos de bolas o de esferas de acero), teniendo como resultado un producto de alta finura (98.5-99.5%), pasante a través de un tamiz de 75 μ y que constituye el Licor de Cacao.

ALMACENAMIENTO: El licor refinado, se bombea a los tanques de almacenamiento AM-100 C&M, que mantienen el producto en agitación constante y con temperaturas controladas. El producto así obtenido está listo para ser destinado para otros procesos, como prensado (separación de la materia grasa), o

para producción de chocolate.

1.2. METODOS ACTUALES DE MOLIENDA DE PASTA DE CACAO Y SU ANALISIS COMPARATIVO.

El proceso de molienda determina la rotura de las células duras y gomosas de los granos, liberando al mismo tiempo, la manteca o grasa del Cacao, que representa del 50 al 52% del mismo.

Esta operación, produce una cierta cantidad de calor que funde la manteca de Cacao obteniendo así, una suspensión compuesta esencialmente de almidones y proteínas.

En las máquinas modernas para molienda' la energía utilizada es transformada en calor y necesita por tanto, de enfriamiento por aire o agua para no superar una temperatura de 70°C, que provocaría modificaciones en el sabor y aroma del producto.

Con este proceso se desea obtener un grado de finura de 10 a 20 μ para poder liberar la máxima cantidad de grasa posible. Se debe tener cuidado de no bajar de 8 μ el tamaño de partículas, pues si esto sucede, se produciría nuevamente un aumento de la viscosidad debido al incremento de la superficie de las partículas.

La humedad contenida en los granos (que no debe superar normalmente al 2%), es de fundamental importancia para la selección de la máquina.

Existen diversos tipos de máquinas para molienda, pero siempre es necesario una pre-molienda del Cacao, de tal modo que facilite la refinación en la segunda fase.

REFINADORA DE TRES RODILLOS: Un equipo clásico de molienda es la refinadora de tres cilindros con su pre-molino. Ver figura 3.

Para alcanzar el mejor rendimiento de una refinadora a tres cilindros, es necesario obtener previamente un tamaño de partícula de alrededor de 300 μ . Los pre-molinos usados son de discos con pines contrapuestos e intercalados, o de placas rotativas y son enfriados por aire o por agua.

El producto cae luego a los rodillos que giran contrariamente y que en la actualidad, tienen el comando de regulación de la presión entre sí, mediante un sistema hidrostático, hidráulico o hidrodinámica.

Con tal equipo, se obtiene una pasta de Cacao, cuyas partículas tienen dimensiones de 20 μ hasta valores máximos de 80 a 85 μ y tiene la ventaja de que puede trabajar con una humedad del producto de hasta un 4%, condición procedente del tostado del producto para no perder el particular aroma. La viscosidad no tiene tanta importancia para este tipo de molino. Ver tabla #1 y gráfico #1.

MOLINO DE PERNOS CON PLASTIFICADOR: Este tipo de

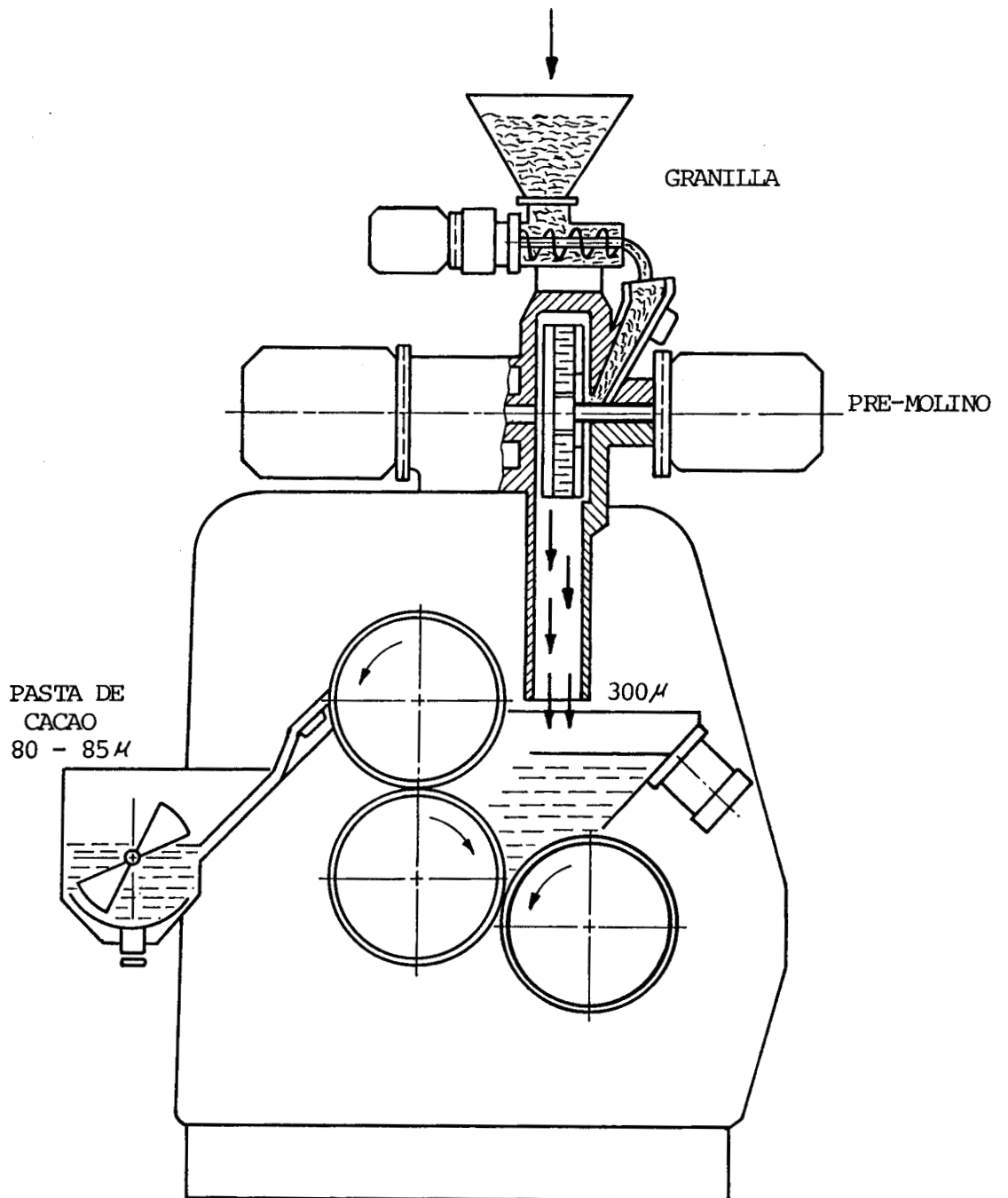


Figura #3.- MOLINO A TRES CILINDROS

FINURA Ys. PRODUCCION MOLINO A TRES CILINDROS	
Kg/Hr.	%
PRODUCCION	FINURA
300	96.85%
350	96.80%
400	96.3048
500	95.50%
600	94.40%
700	93.80%
800	92.50%
850	92.00%
900	91.99%
1000	91.97%



BIBLIOTECA

Tabla Nº 1

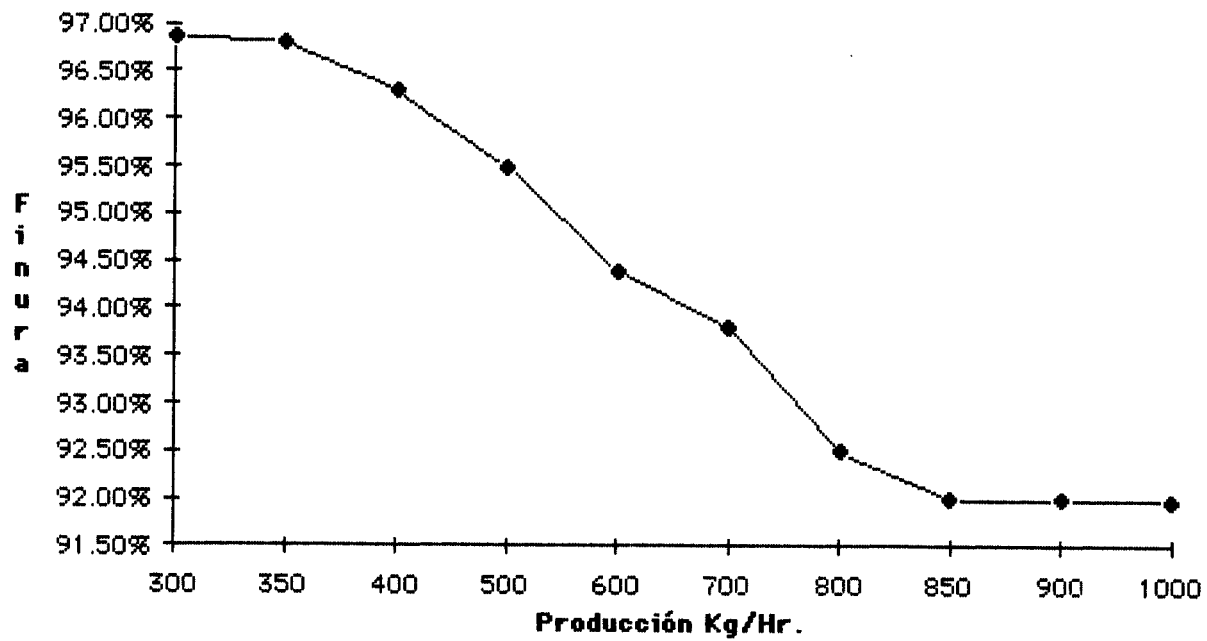


GRAFICO # 1

CURVA FINURA VS PRODUCCION

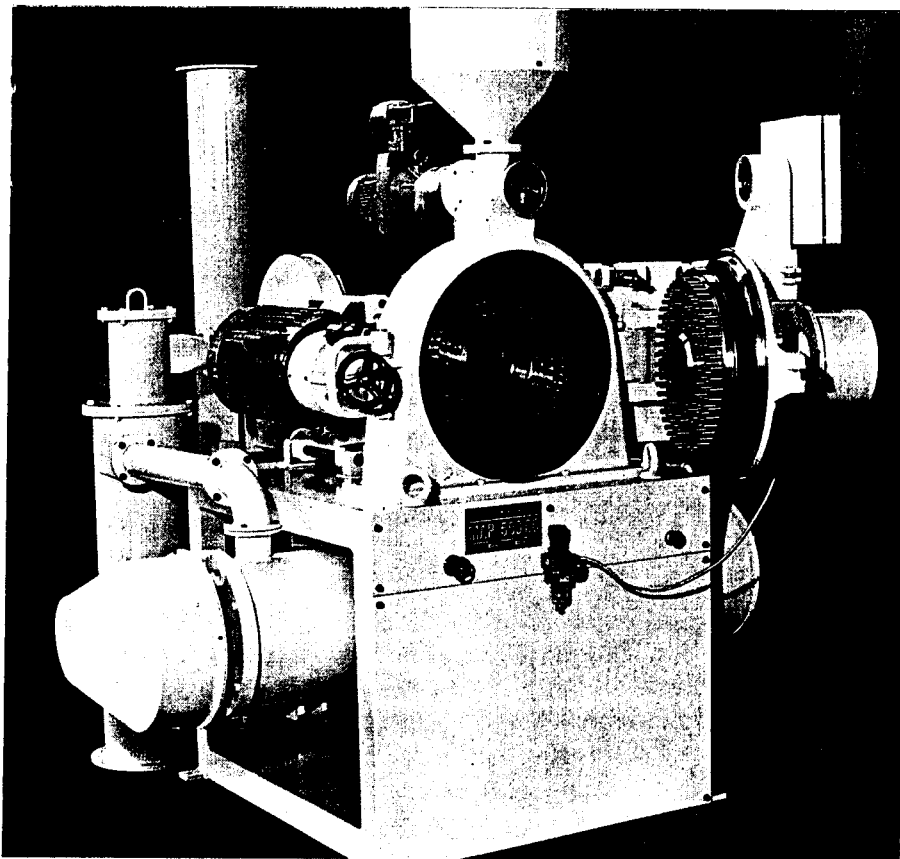
MOLINO A TRES CILINDROS

equipo ha sido desarrollado por la Compañía Carle & Montanari y presenta su molino MAP-CC. Su proceso de pre-molienda lo efectúa mediante un sistema similar al descrito en el molino a tres cilindros, descargando el producto pre-molido (partículas de 10 a 300 μ aproximadamente), a un mecanismo plastificador, que mediante esfuerzos de corte y agitación, hace bombeable el licor de Cacao aún con contenido de humedad del 3 al 4%. Posee además un sistema de ventilación que favorece la aireación del producto.

El resultado más importante de este método de molienda es, que el tratamiento de la pasta de Cacao para convertirla en fluido bombeable, aún con trozos siempre heterogéneos, permite perfeccionar el proceso con considerable ahorro de energía. Ver figura 4.

A continuación se presenta la tabla #2 con su respectivo gráfico #2 de finura, obtenido con este tipo de molino.

MOLINO DE CUCHILLAS: Este equipo fue inicialmente desarrollado para pre-moler el Cacao triturado, nueces, almendras y en general semillas que tuvieran un mediano contenido graso. Sin embargo, es aplicable para molienda de otros materiales no grasos que toleren la adición de suficiente agua o grasa para que se convierta en pasta manejable.



BIBLIOTECA

Figura #4.- MOLINO DE PERNOS CON PLASTIFICADOR

FINURA vs. PRODUCCION MOLINO MAP CC C&M	
PRODUCCION Kg/Hr.	FINURA %
300	92.00%
350	91.40%
400	90.70%
500	89.20%
600	88.00%
700	87.00%
800	36.00%
850	85.60%
900	85.10%
1000	84.80%

Tabla Nº 2

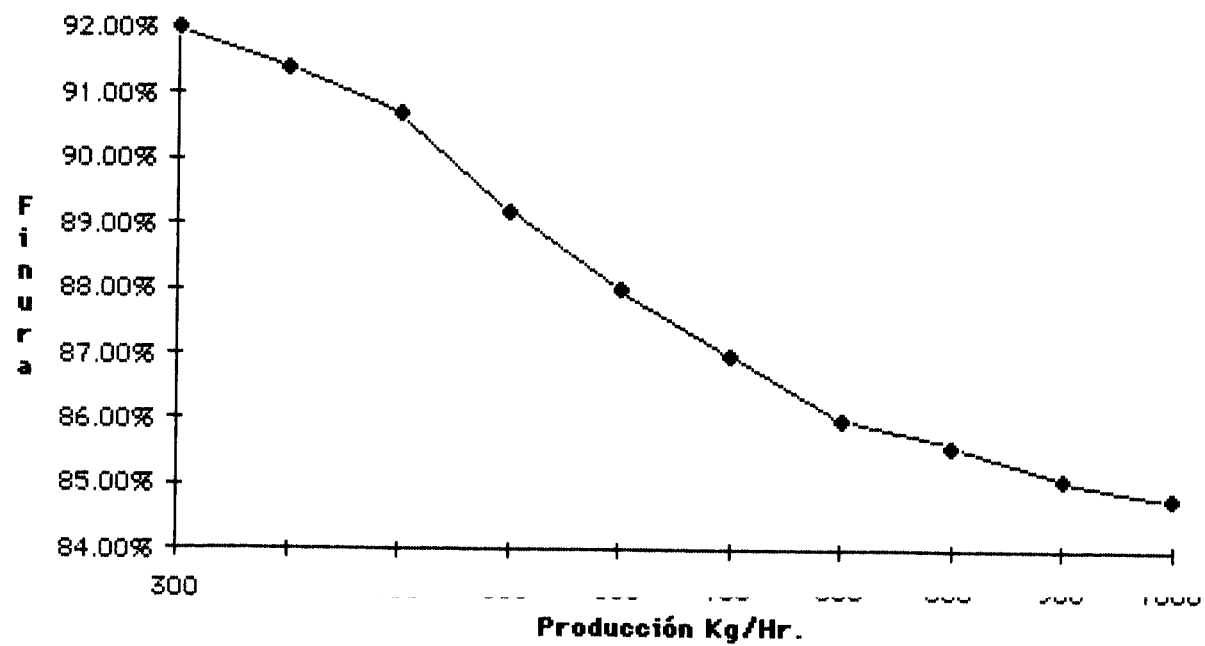


Gráfico # 2

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

MOLINO MAP CC C&M

El molino de cuchillas es de producción continua. Ver figura 5. El producto alimentado es cortado y triturado repetitivamente por un par de cuchillas rotativas hasta convertir la granilla de Cacao en pasta o licor. La finura del producto así obtenido es controlable debido al tamiz que encierra las cuchillas rotativas, permitiendo que pase a través de él (estator), las partículas de licor que tengan el tamaño correspondiente.

El molino de cuchillas percusoras trabaja moliendo las partículas en suspensión en el medio líquido-pastoso en que el rotor se encuentra inmerso. El estator o tamiz, principalmente regula la descarga y al mismo tiempo, establece los límites de distribución de tamaños de partículas en el producto.

En la tabla #3, se muestra características fundamentales de capacidad Vs. finura para este tipo de molino, y en ella se puede notar que se requiere trabajar con humedades bajas, menores de 3%, en la granilla de Cacao para que pueda conservar condiciones aceptables de capacidad. Por otra parte, las finuras registradas, analizadas con tamices de 71 μ , demuestran porcentajes de finura no aceptables (95.4%), para condiciones de capacidad entre 900 a 1000 Kgs/hr, lo que nos conduce a la necesidad de una posterior refinación y que podría ser efectuada en molinos de esferas.

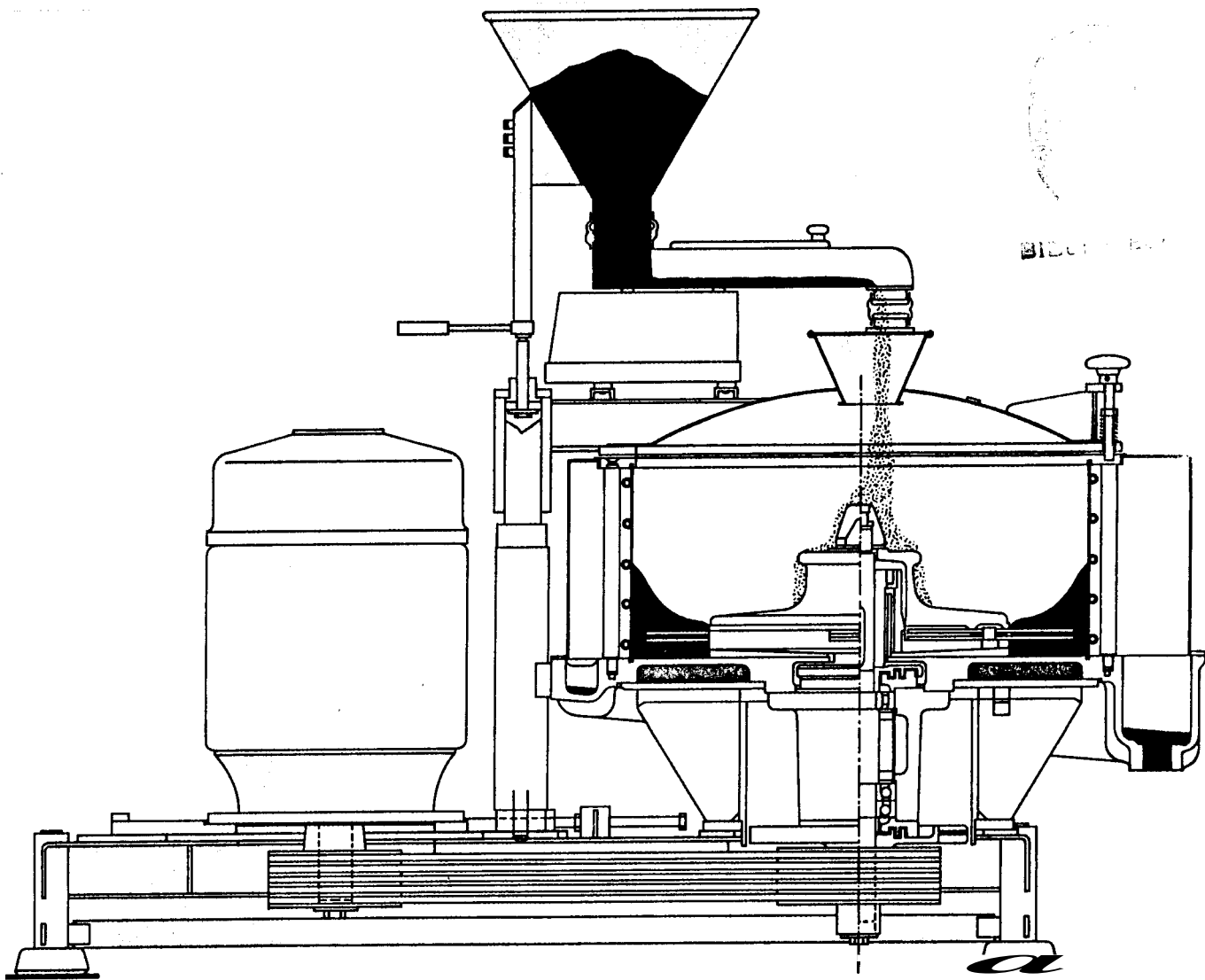


Figura #5.- MOLINO DE CUCHILLAS PERCUSORAS SMM 800



Estator o tamiz abierto (mm)	0.2	0.25		
Granilla de Cacao tostado				
Cascarilla 2% máximo	hasta 1000	hasta 1200		
Humedad 2% máximo	Kgs/hr	Kgs/hr		
Granilla de Cacao tostado no tratado				
Cascarilla 3% máximo	700/800	850/950		
Humedad 3% máximo	Kgs/hr	Kgs/hr		
Granilla sin tratamiento especial no tostada				
Cascarilla 2% máximo	500/550	600/650		
Humedad 4% máximo	Kgs/hr	Kgs/hr		
Residuo para diversos tamices:	A	B	A	B
32 μ	7.2%	16.3%	12.4%	28.1%
71 μ	4.6%	10.4%	8.4%	19.1%
100μ	3.1%	7.0%	6.8%	15.4%
200μ	1.0%	2.3%	2.8%	6.4%
300μ	0*2%	0.5%	0.4%	0.9%
500μ		*	*	*

* Solamente trazas

A: Porcentaje de residuo calculado en proporción al peso de la muestra.

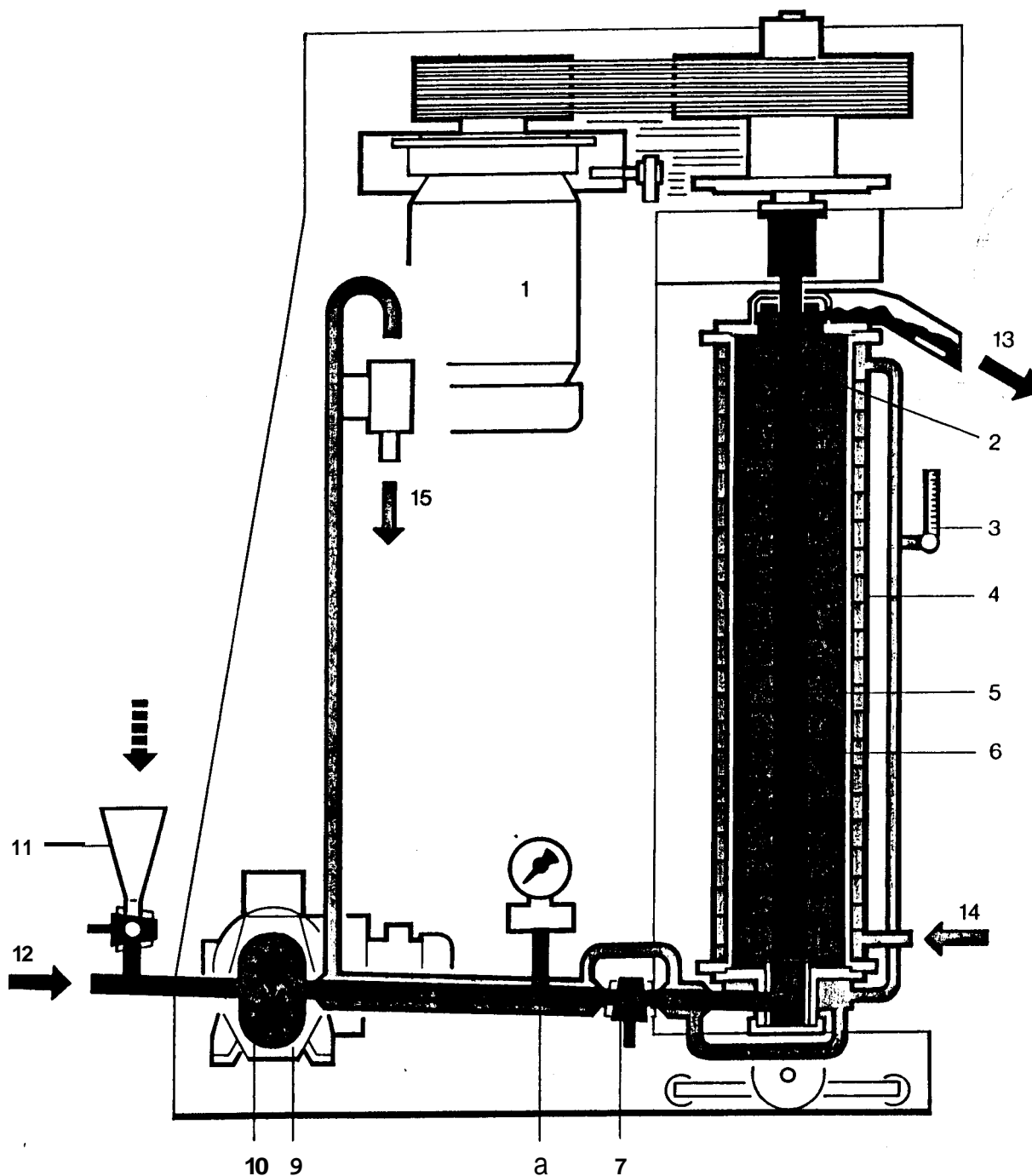
B: Porcentaje de residuo calculado en proporción de la grasa y humedad libre de sólidas (44%).

TABLA # 3.- CAPACIDAD Y FINURA PRODUCIDA EN MOLINO DE CUCHILLAS PERCUSORAS.

MOLINO A ESFERAS: Desde hace algunos años, en el sector de pigmentos para pinturas, se han utilizado los molinos a esferas, para producción continua. Se he determinado que estos equipos se prestan muy bien para la refinación de pasta de Cacao, bajo condiciones de humedad menores de 2%; pues en caso contrario, la masa resultaria demasiado viscosa, y, por la concepción de la máquina, se produciría un recalentamiento del producto debido a la fricción. Este tipo de molino recibe fundamentalmente pasta de Cacao pre-molida, en la que el 92% de las partículas tienen un tamaño menor de 75 μ .

La pasta es suministrada desde la parte inferior del molino mediante una bomba a flujo continuo y controlado. Observando la figura 6 se podrá comprender la concepción del diseño:

- Un cilindro con doble camisa o pared, que contiene esferas de acero de elevada resistencia al desgaste y diversos diámetros: 3 a 6 mm.
- Un eje central sobre el que se encuentran fijado discos concéntricos y excéntricos. El arbol gira a revoluciones entre 600 y 970 RPM, según diseño y fabricante; creando el movimiento de las esferas y favoreciendo la trituración de las partículas debido a la presión ejercida por y sobre las esferas y a la probabilidad de que las partículas de Cacao pasen entre ellas.



- | | |
|----------------------------|--|
| 1.- Motor principal | 8.- Manómetro con membrana interna |
| 2.- Criba | 9.- Motoreductor bomba de alimentación |
| 3.- Termómetro | 10.- Bomba de engranajes |
| 4.- Recipiente de molienda | 11.- 12.- Entrada para el producto |
| 5.- Arbol agitador | 13.- Salida del producto refinado |
| 6.- Esferas de acero | 14.- Entrada para agua |
| 7.- Vólvula a tres vías | 15.- Salida de agua |

Figura #6.- MOLINO A ESFERAS DE ACERO

La única limitación de este principio viene dado por el diámetro de las esferas. Las esferas más grandes (5 o 6 mm de diámetro), tocarán partículas comprendidas entre 300 y 500 μ , y las menores pasarán sin ser tocadas. Con esferas de 2 a 3 mm, se obtendrá una refinación con tamaño de partículas de 30 μ , moliéndose las partículas que lo fueron a la entrada, con esferas más grandes.

En general, se ha expresado que es necesaria la pre-molienda que da partículas de 100 μ , por tanto, se deberá escoger simplemente los dos o tres tamaños de esferas correspondientes a la finura deseada.

La ventaja fundamental de este tipo de molino es que puede llegar a una producción real de 1000 Kgs/hr, de pasta con elevada finura, en contraste con los 300 a 750 Kgs/hr de los otros sistemas y a finuras menores.

Esto puede ser observado claramente en la tabla #4 y su correspondiente gráfico #3.

Para producciones de 800 Kgs/hr, el molino de Rodillos, alcanza finuras del orden de 92.5%; el MAP, 86%; en cambio el de Esferas 99.7%.

Con producciones de 500 Kgs/hr, el molino de Rodillos obtiene 95.5% de finura; el MAP un 89.2%, mientras que el de Esferas tiende a llegar a 100%, dando los mejores resultados.

La forma de determinar el porcentaje de finura está

TABLA FINURA vs. PRODUCCION PARA DIVERSOS EQUIPOS DE MOLIENDA			
PRODUCCION Kg/Hr.	MOLINO BOLAS % FINURA	MOLINO RODILLOS % FINURA	MOLINO A PERNOS % FINURA
300	100.00%	96.65%	92.00%
350	99.99%	96.80%	91.40%
400	99.97%	96.30%	90.70%
500	99.93%	95.50%	89.20%
600	99.85%	94.40%	88.00%
700	99.78%	93.80%	87.00%
800	99.70%	92.50%	86.00%
850	99.63%	92.00%	85.60%
900	99.50%	91.99%	85.10%
1000	99.48%	91.98%	84.80%

Tabla N° 4

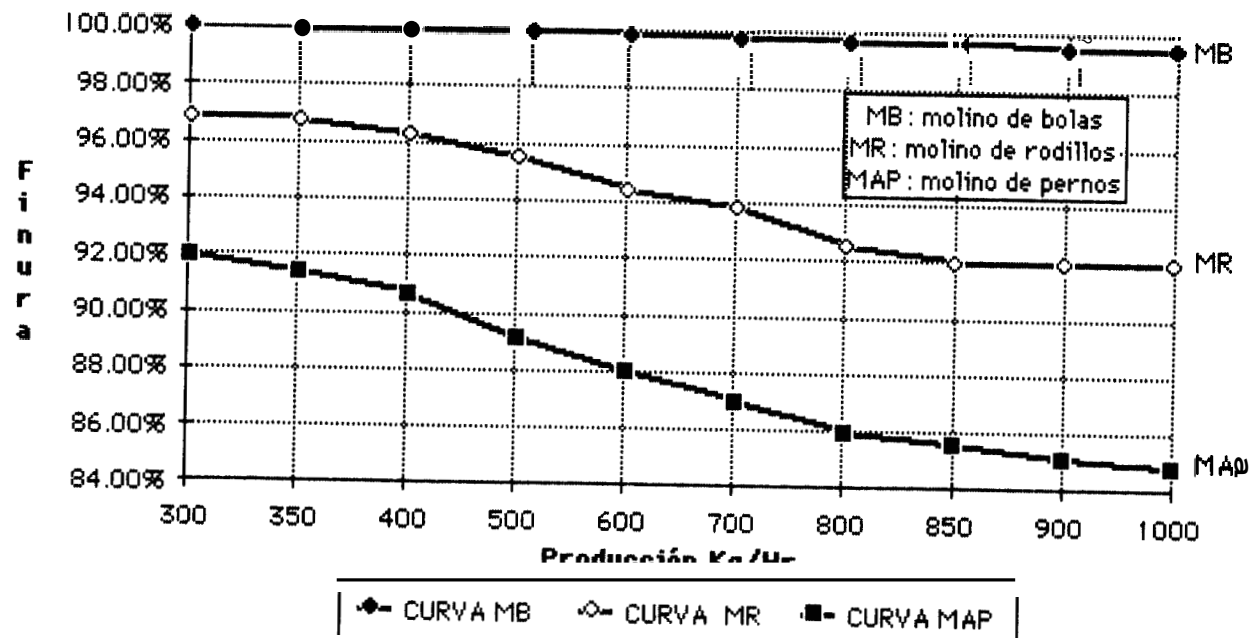


Gráfico # 3

GRAFICO COMPARATIVO FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "MB" "MR" "MAP"

basado en la relación entre el peso del producto que pasa a través del tamiz de 75 μ (200 mesh), con respecto al peso total de la muestra, multiplicado por 100. Esto se facilita realizando el análisis vía húmeda con éter de petróleo como solvente.

CAPITULO 11

DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. REQUERIMIENTOS TECNICOS Y ESTANDARES DE CALIDAD DE LA PASTA DE CACAO, RELATIVO A LA FINURA.

En forma general se puede decir que el 80% de la capacidad instalada en el Ecuador, para la producción de la pasta de Cacao, está orientada a la exportación, y como tal, 105 parámetros de calidad utilizados para la producción y control de la misma, están basados en estándares internacionales. Sin embargo, cabe anotar que los fabricantes de productos terminados finales -chocolates, bombones, tabletas, etc.- locales, requieren del cumplimiento de dichos estándares, pues se ven claramente beneficiados con el resultado del producto terminado en cuanto a calidad y rendimiento obtenidos.

Considerando la norma norteamericana, Food and Drug Administration, Administrative Guidelines Manual, (Estándar de identificación de producto para Licor de Cacao 21 CFR 163.110 - 163.111), Guideline 7405.02; referida en el Capítulo 5-CANDY AND SUGAR INDUSTRY, que contiene estándares bacteriológicos, físico-químicos, materias extrañas, etc., se extraerá de ella únicamente los estándares físicos-químicos, entre los que se encuentra la finura correspondiente a la pasta de Cacao.

ESTANDARES FISICO-QUIMICOS DEL LICOR DE CACAO

Humedad	1.5% máximo
PH	5.3 a 7.0
Cascarilla	1.5% máximo
Finura	98.5 a 99.5% pasante sobre un tamiz de 75 micras.
Grasa de Cacao:	50% mínimo
Viscosidad	20.0 poise (a 40°C)
Densidad	1.08 ± 0.2 Kg/lit
Cenizas	3.5 a 4.0 %

En el presente informe se fija la atención en el **parámetro** de finura que debe ser conservado entre el rango de 98.5 a 99.5%. Esta limitante servirá más adelante, para realizar la **selección** del tamaño de las esferas de acero que deben ser usadas en el molino de bolas.

2.2. VARIACION DE LA FINURA EN FUNCION DEL TAMAÑO DE LAS ESFERAS DE ACERO

Una vez definido que el molino a Esferas es el sistema idóneo, aunque no el único, para lograr obtener una producción con capacidad en kilos por hora aceptable -900 a 1000 Kg/hr- y que junto al beneficio de consumo de energía, permite calidad dentro de los estandares de finura; se centra la problemática a la variación de la finura en función

del tamaño de las esferas de acero usadas en el mismo.

Durante el proceso de refinación, las esferas de acero, también llamadas elementos de molienda, sufren desgaste provocando variación tanto en la finura resultante del producto, como en la demanda de energía y consecuentemente en el costo de la operación. Por tanto resulta necesario definir los requerimientos técnicos y estándares de calidad de la pasta de Cacao; enfocar el rango de finura permisible en dicho estandar y relacionarlo con las variaciones de tamaño de los elementos de molienda, así como con el consumo energético del equipo. Con éstos elementos se podrá analizar el problema en forma practica y objetiva, lo que se hará en el desarrollo del presente capítulo.

Para el análisis de la variación de la finura se ha utilizado los siguientes elementos:

- a) Molino a esferas de acero Nagema 292C
- b) Esferas de acero al Cromo, resistentes al desgaste, cargadas al molino con la composición de tamaños recomendada por el fabricante; control de la finura obtenida en estas condiciones y después de 1000; 2000 y 3000 horas de trabajo.
- c) Diversas composiciones de tamaños de esferas, como resultado del desgaste, pero siempre manteniendo el peso o carga total de bolas en el molino.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MOLINO NAGEMMA 292C

Ver figura 6.

OBJETIVOS DEL EQUIPO.— Molienda **finísima** del Licor de Cacao con ayuda de bolas de acero.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.— La máquina consta de los siguientes grupos principales:

- **Una** bomba de engranaje montada sobre la línea de alimentación; accionada por un motor de 1.1 Kw, y acoplado a un variador de velocidades para regular la alimentación y mantenerla en forma continua.
- **Una** unidad de molienda con chasis que consiste en un cilindro con doble pared para recirculación del agua de enfriamiento o calefacción. Posee una tapa con canal de descarga y abertura lateral para cargar las esferas con que debe trabajar el molino. En el interior se introducen las bolas de acero y en la parte central un árbol agitador con tamiz rotatorio por donde se descarga el producto al canal.
- **Un** motor principal de 45 Kw, para accionamiento del árbol agitador mediante correas trapezoidales y acoplamiento rígido.

&MODO DE OPERACION.— Mediante la bomba de engranajes se introduce la pasta de Cacao **pre-molida** en la unidad de molienda por la parte inferior mediante un tubo de doble pared, en el que se ha instalado un manómetro de contacto con fuelle metálico, regulado a dos atmósferas de presión para evitar

sobrepresiones y paralizar todos los motores. Se pone en movimiento el agitador y con él la masa de Cacao con las esferas de acero, efectuándose la refinación del producto debido a las fuerzas de corte y compresión que se producen.

En la parte superior del eje, el tamiz rotativo separa las esferas del producto final y gracias a su movimiento, esta criba se limpia por sí misma.

A la salida del producto se encuentra un imán cubriendo toda la base del canal de descarga, que detiene cualquier eventual partícula ferrosa producida por desgaste durante el proceso de molienda.

CONDICIONES TECNOLOGICAS DEL PRODUCTO.- Para un funcionamiento óptimo del equipo se requiere las siguientes condiciones:

Sustancia a elaborar: Pasta de Cacao pre-molida.

Finura: Es necesario que el 92% de la masa de Cacao tenga partículas de un tamaño inferior a 0.075 mm.

Humedad residual: Inferior al 2%.

Cascarilla: No debe ser superior al 1.5%.

Materia **grasa** del producto: 50.0 - 52.0 %.

Producto final: El Licor de Cacao resultante es una masa líquida finamente molida, donde máximo el 1% de las partículas tendrán tamaño superior a 0.075 mm.

CAPACIDAD DEL MOLINO.- 630 a 1250 Kg/hr, con las condiciones descritas anteriormente.

CONDICIONES DE CARGA DE ESFERAS EN EL MOLINO NAGEMA
292 C.

Partiendo como base de la condición de carga recomendada por el fabricante del equipo, se determina un orden de alimentación de esferas de 6, 5 y 4 mm respectivamente, con cantidades en peso por cada diámetro, que se pueden resumir de la siguiente manera:

"A" : Condición del fabricante.

.....

ORDEN DE CARGA	DIAMETRO DE ESFERAS mm	CANTIDAD DE ESFERAS Kg
1º	6	50
2º	5	120
3º	4	50
TOTAL		220 Kg

Una vez establecida esta condición inicial "A", se procede al análisis de la variación de la finura en función de la velocidad de producción del molino de bolas. Para la toma de datos, en forma general, se utiliza la siguiente metodología:

Se toman cinco muestras de producto refinado por cada parámetro de capacidad de producción

considerado: 500, 600, 700, 800, 850, 900, 950 y 1000 Kg/hr. Sacando un promedio de finura para cada situación de producción, se construye la tabla #5 en la que se puede observar que la finura decrece ligeramente de 99.97% para 500 Kg/hr, hasta 98.96% a 1000 Kg/hr, pero siempre se conserva dentro del **estandar** de finura permisible: 98.50% a 99.50%.

Dado que durante el proceso de molienda se produce desgaste de las esferas debido a la fricción entre ellas, con las paredes del cilindro de molienda y con **las** partículas leñosas de la pasta; **se** necesita analizar también, otras condiciones que **se** producen a través del tiempo:

"B": diámetro mínimo 3.66 mm, condición de las esferas **después** de 1000 horas de trabajo a partir de la condición inicial de carga "A".

"C": condición de las esferas **después** de 2000 horas de trabajo, con un diámetro mínimo de 3.25 mm.

"D": después de 3000 horas de trabajo a partir de la situación inicial "A", encontrando entre las esferas un diámetro mínimo de 2.73 mm.

La metodología utilizada para la **determinación** de **datos** a lo largo del presente informe, es la misma que fue indicada previamente para la condición "A".

Al observar la tabla #6, se puede determinar como decrece la finura a través del tiempo y esta disminución se **acentúa aún** más para capacidades de

TABLA FINURA vs. PRODUCCION " A "						
CONDICION DE CARGA DE ESFERAS DEL FABRICANTE DEL EQUIPO						
PRODUCCION	1º MUESTRA	2º MUESTRA	3º MUESTRA	4º MUESTRA	5º MUESTRA	PROMEDIO "A"
Kg/Hr.	% FINURA	% FINURA	% FINURA	% FINURA	% FINURA	% FINURA
500	99.99%	99.95%	99.93%	99.97%	99.96%	99.97%
600	99.82%	99.39%	99.34%	99.36%	99.84%	99.35%
700	99.63%	99.67%	99.64%	99.71%	99.70%	99.68%
800	99.50%	99.42%	99.43%	99.46%	99.44%	99.45%
850	99.38%	99.40%	99.33%	99.36%	99.38%	99.38%
900	99.22%	99.27%	99.25%	99.20%	99.21%	99.23%
950	99.10%	99.15%	99.08%	99.10%	99.07%	99.10%
1000	98.88%	93.97%	93.94%	99.00%	99.01%	98.96%

"A": Condición de carga de esferas recomendada por el fabricante del equipo.
 50 Kg. de esferas de 6 mm. de diámetro.
 120 Kg. de esferas de 5 mm. de diámetro.
 50 Kg. de esferas de 4 mm. de diámetro.



TABLA FINURA vs. PRODUCCION VARIACIONES DE ACUERDO AL DESGASTE DE ESFERAS				
PRODUCCION Kg/Hr.	CONDICION "A"	CONDICION "B"	CONDICION "C"	CONDICION "D"
	CURVA " A "	CURVA " B "	CURVA " C "	CURVA " D "
	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA
500	99.97%	99.98%	99.95%	99.90%
600	99.85%	99.83%	99.80%	99.65%
700	99.68%	99.50%	99.48%	99.33%
800	99.45%	99.36%	99.23%	98.75%
850	99.38%	99.26%	99.08%	98.38%
900	99.23%	99.15%	99.00%	98.00%
950	99.10%	98.91%	98.75%	97.47%
1000	98.96%	98.70%	98.52%	97.22%
DIAMETRO DE ESFERAS mm.	mínimo 4.00	mínimo 3.66	mínimo 3.25	mínimo 2.73

A: Condición de carga de esferas con $dm = 4mm$.

B: condición de las esferas después de 1000 horas $dm = 3.66mm$.

C: Condición de las esferas después de 2000 horas $dm = 3.25 mm$.

D: Condición de las esferas después de 3000 horas $dm = 2.73 mm$.

Tabla Nº 6

producción cada vez más altas.

Tomando como referencia 850 Kg/hr, la finura correspondiente a las 1000 horas de trabajo de las esferas del molino, 3.66 mm de diámetro mínimo en la condición "B", es de 99.26%; a las 2000 horas con diámetro mínimo 3.25 mm es 99.08%, aún dentro de standard; mientras que en la condición de 3000 horas, situación "D", la finura es 98.38%, ya fuera del rango permisible, correspondiendo a un diámetro mínimo de 2.73 mm.

Considerando el valor de producción ideal para el molino, esto es, 1000 kg/hr, se alcanza a las 1000 horas de trabajo el 98.70% de finura; a las 2000 horas de trabajo, el 98.52% y finalmente, a las 3000 horas un 97.22%: esto es, 1.32% fuera del parámetro de finura permitido. Ver gráficos #4, 5, 6, 7 y 8.

Analizando la condición "D", que corresponde a un diámetro mínimo de 2.73 mm, se puede observar que desde 825 Kg/hr, aproximadamente, la finura producida por el molino comienza a quedar fuera de las condiciones de norma. No es así para los casos correspondientes a las 2000 horas, ni a las 1000 horas, en los que aún en la máxima producción del molino, 1000 Kg/hr, se conservan dentro de los parámetros normales. Ver gráfico #8.

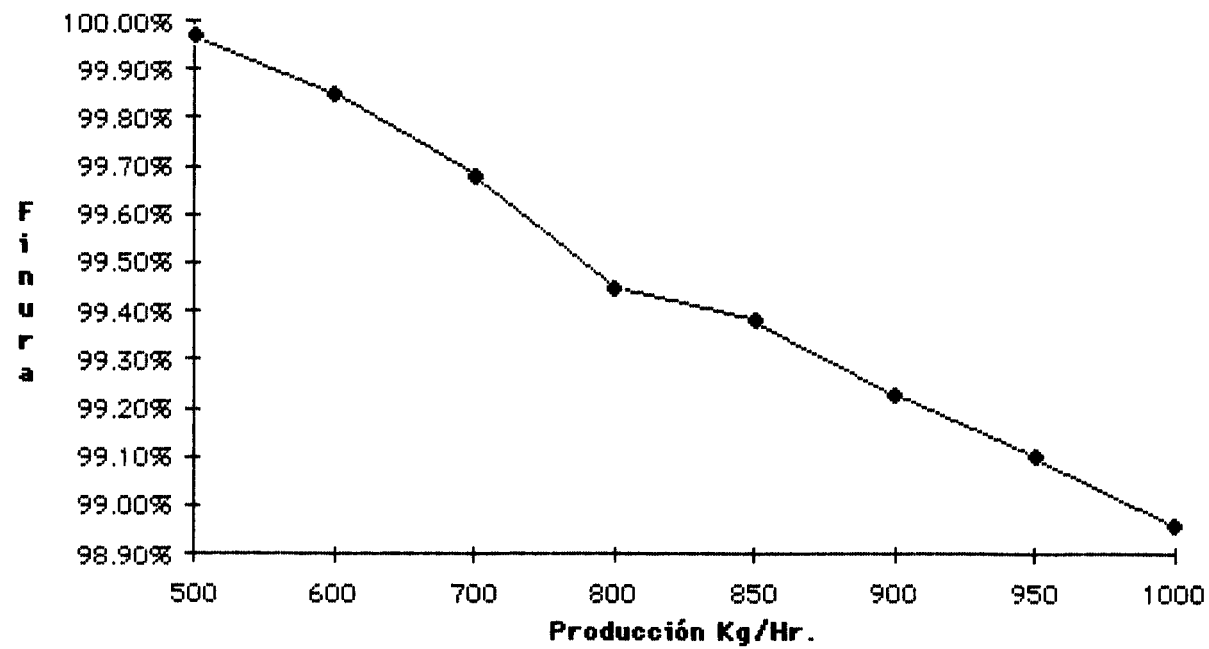


Gráfico # 4

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "A"

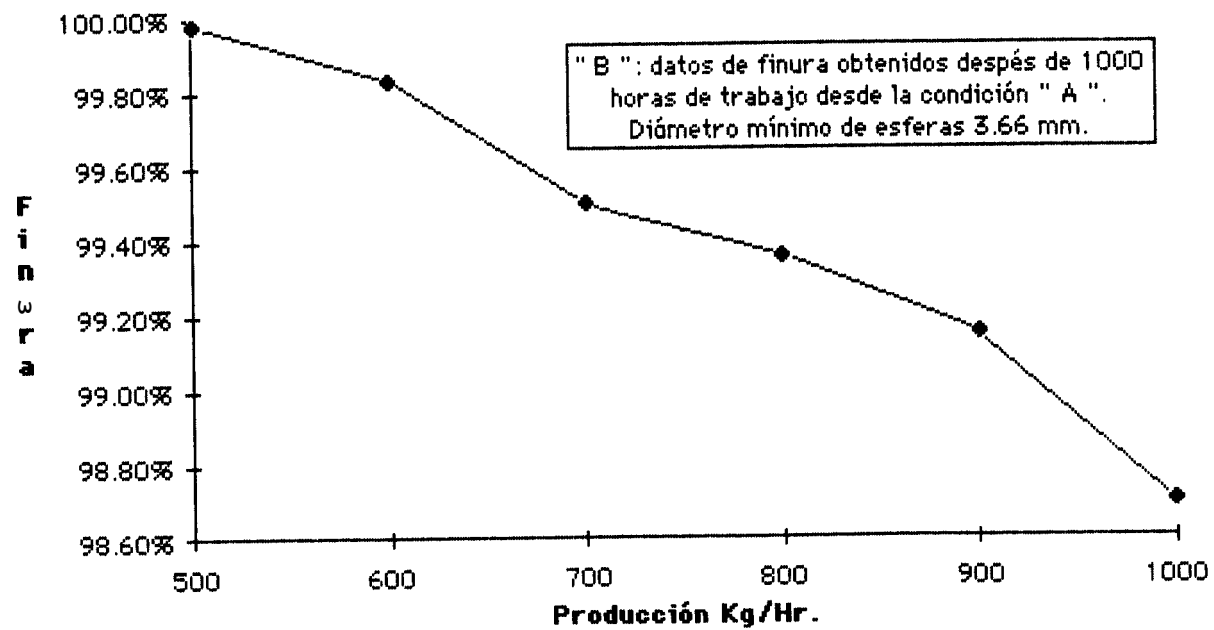


Gráfico # 5

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "B"

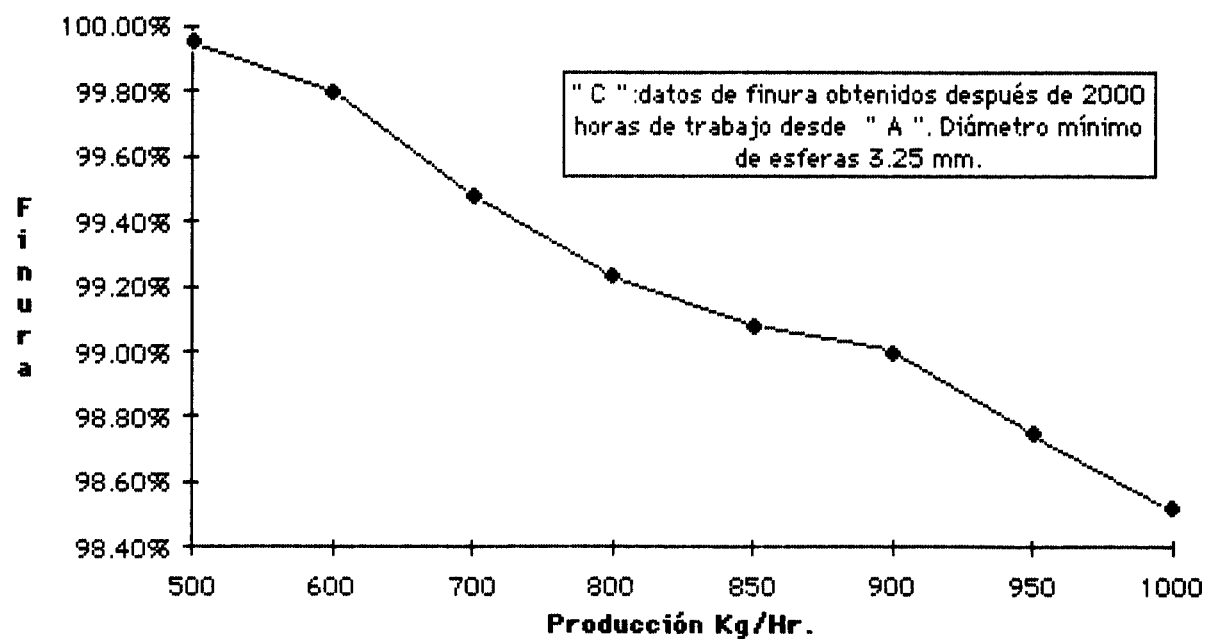


Gráfico # 6

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "C"

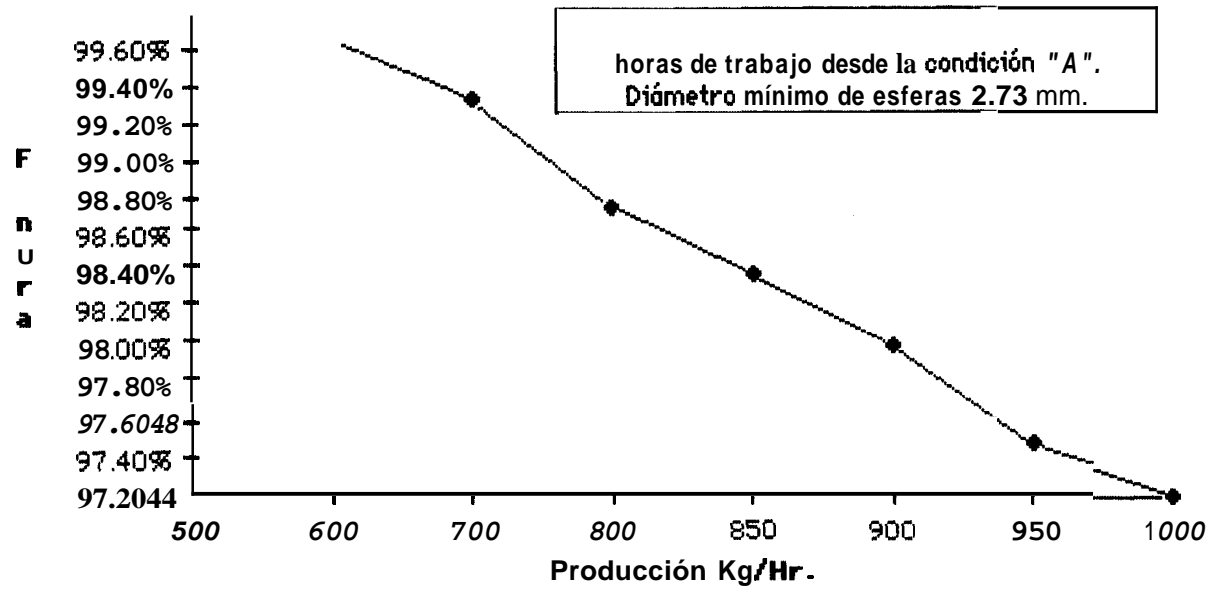


Gráfico # 7

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "D"

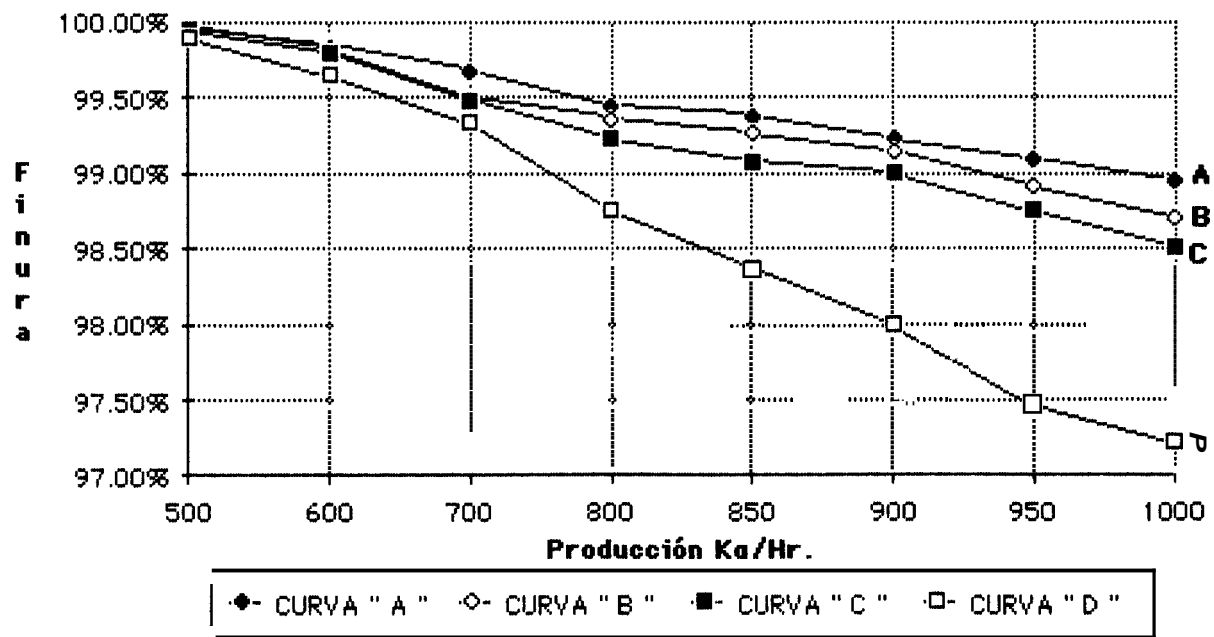


Gráfico # 8

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

PARA DIVERSOS TAMAÑOS DE ESFERAS (A-B-C)

CAPITULO 111

CRITERIOS DE SELECCION DEL TAMAÑO DE LAS ESFERAS DE ACERO

3.1. PLANTEAMIENTO DE VARIABLES Y PARAMETROS FIJOS.

Para poder fundamentar los análisis y criterios utilizados para la selección del tamaño de las esferas que trabajan en los molinos de bolas, es necesario definir las variables en función de las cuales tiene lugar a su vez, la variación de la finura del producto; así como también los parámetros que se conservan constantes durante el desarrollo de los ensayos y cálculos correspondientes.

VARIABLES:

- Finura (F), es expresada en porcentaje y se define como la relación entre el peso del producto que pasa a través del tamiz de 75 micras (200 mesh) con respecto al peso total de la muestra.
- Diámetro de esferas (d), medido en milímetros y varía con el tiempo de trabajo debido al desgaste que sufren durante el proceso de molienda.
- Producción (P), considerado en kilos por hora. Se determina pesando el producto refinado que descarga el molino por unidad de tiempo.

PARAMETROS FIJOS:

- Condiciones Tecnológicas del Producto: Son parámetros fijos correspondientes al producto de alimentación; indicados ya en el punto 2.2, y que permiten el correcto funcionamiento del equipo.

Entre las condiciones más importantes a puntualizar están:

Finura de entrada (Fe), es la finura que debe tener el producto de alimentación, mínimo $92\% \pm 0.2$.

Humedad residual (H), inferior al 2%.

Materia Grasa (MG), expresada en porcentaje y debe estar entre 50 y 52%.

Cascarilla (S), no debe ser superior al 1.5%.

- **Peso de la carga de esferas (W)**, medido en kilos, es el peso total de las esferas cargadas al molino. Si bien este peso disminuye con el desgaste de las bolas durante la producción, para los ensayos siempre se tiene la precaución de iniciar cada ciclo con la carga recomendada por el fabricante 220 kg. aún cuando no se mantenga la composición de diámetros recomendada.
- **Diámetro límite (dL)**, 2.2 mm, es el diámetro de la esfera más pequeña que puede haber en el sistema, pues por debajo de esta medida ya no son retenidas las esferas por la criba rotatoria del molino y salen al exterior con el producto.

La metodología utilizada durante el presente informe para obtener los datos correspondientes en cada ensayo, se mantiene de la siguiente forma: Se toman cinco muestras de producto refinado por cada parámetro de capacidad de producción considerado. Se

determina la finura correspondiente y se obtiene un promedio para cada situación de producción. Por el mismo método se obtiene un promedio para el diámetro mínimo que está relacionado con cada ensayo.

3.2. CRITERIOS DE CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

Para poder definir criterios de calidad apropiados para la selección del tamaño de las esferas del molino, resulta necesario remitirse a los ensayos realizados con la condición de carga recomendada por el fabricante del equipo; es decir, la condición "A" y las situaciones "B", "C" y "D", y a partir de ellos, producir nuevas experiencias, que permitan establecer los criterios.

Considerando que los diámetros disminuyen, debido al desgaste de las esferas, y consecuentemente, el peso de la carga de esferas en el molino también se reduce, se vuelve necesario que en un momento determinado se tenga que completar la carga de esferas, observando las siguientes condiciones y resultados:

- a) Diámetro mínimo (d_m) 2.73 mm, determinado de la evaluación de la condición "D" y es la medida de la esfera de menor diámetro presente.
- b) wr: 20 Kg, es el peso del total de bolas de 6 mm de diámetro, repuestas al molino.
- c) W: 220 Kg, es la carga total de esferas después

de la repocisión. Están presente esferas desde 2.73 mm hasta 6.0 mm de diámetro.

Se definirá como "R" la condicibn de trabajo anteriormente descrita.

Nuevamente se toman cinco muestras de producto refinado por cada capacidad de producción, (500 Kg/hr hasta 1000 Kg/hr), sacando un promedio de finura para cada situación, se elabora la tabla #7. Se puede observar que los resultados de finura, para todo el rango de produccibn, permanecen sobre los 98.50%. Así, a los 1000 Kg/hr, la finura del producto refinado llega a 99.36%, resultado que está enmarcado dentro del rango de calidad permisible, (98.5% a 99.5%).

Partiendo de este hecho, se tomará en consideración otras condiciones que se producen:

"R1": 1000 horas después de la condición "R" (recarga de esferas).

"R2": 2000 horas de trabajo a partir de "R".

Se toman muestras de esferas para cada condición obteniéndose que para "R1" el diámetro mínimo de las esferas presentes es de 2.65 mm; mientras para la situación "R2" es de 2.57 mm.

. Siguiendo la misma metodología descrita anteriormente, resulta la tabla #8, en la que se puede observar el decrecimiento progresivo de la finura hacia 1000 y 2000 horas de trabajo con

TABLA FINURA vs. PRODUCCION " R "						
REPOSICION DE ESFERAS EN EL MOLINO						
PRODUCCION Kg/Hr.	1º MUESTRA % FINURA	2º MUESTRA % FINURA	3º MUESTRA % FINURA	4º MUESTRA % FINURA	5º MUESTRA % FINURA	PROMEDIO "R" % FINURA
500	99.95%	99.91%	99.94%	99.91%	99.94%	99.93%
600	99.84%	99.82%	99.89%	99.86%	99.84%	99.85%
700	99.77%	99.71%	99.79%	99.82%	99.81%	99.78%
800	99.73%	99.73%	99.66%	99.70%	99.68%	99.70%
850	99.58%	99.6048;	99.54%	99.56%	99.52%	99.5648;
900	99.46%	99.53%	99.47%	99.51%	99,5376	99.50%
950	99.44%	99.40%	99.40%	99.42%	99.44%	99.42%
1 000	99.38%	99.38%	99.30%	99.35%	99.39%	99.36%

R": Condición de trabajo con esferas de $d_m = 2.73$ mm.
 w: 20 Kg. peso total de bolas de 6 mm. de diámetro, repuestas al molino.
 W: 220 Kg. carga total de esferas después de la reposición.

Tabla Nº 7



TABLA F. vs P. CON REPOSICION DE ESFERAS.			
PRODUCCION	CONDICION "R"	CONDICION "R1"	CONDICION "R2"
Kg/Hr.	% FINURA CURVA " R "	% FINURA CURVA "R1"	% FINURA CURVA "R2"
500	99.93%	99.91%	99.90%
600	99.35%	99.82%	99.75%
700	99.78%	99.74%	99.48%
800	99.70%	99.48%	99.23%
850	99.56%	99.33%	98.76%
900	99.50%	99.25%	98.34%
950	99.42%	98.97%	97.98%
1000	99.36%	98.73%	97.50%
DIAMETRO DE ESFERAS mm.	minimo 2.73	minimo 2.65	minimo 2.57

R: Condición de las esferas después de reposición" dm= 2.73 mm.
R1: Condición de las esferas 1000 Hrs. después. dm= 2.65 mm.
R2: Condición de las esferas 2000 hrs. después. dm= 2.57mm

* Carga total de las esferas en el molino 220 Kg.

respecto a "R", haciéndose más notorio para capacidades de producción cada vez más altas.

Para 850 Kg/hr, con diámetro mínimo de esfera de 2.65 mm (1000 horas después de la condición de recarga), la finura alcanzada es de 99.33%; mientras que para la misma producción y con diámetro mínimo de 2.57 mm, la finura es de 98.76% (2000 horas de trabajo después de "R").

Considerando la máxima producción, 1000 Kg/hr, se alcanza a las 1000 horas el 98.73% de finura, lo cual está todavía dentro del parámetro de calidad; a las 2000 horas, en cambio, la finura correspondiente es de 97.50% lo cual está fuera de norma. Analizando la condición "R2", se determina que a partir de los 870 Kg/hr aproximadamente, la finura lograda por el molino empieza a salirse fuera de norma, esto es, para 2.57 mm de diámetro mínimo. Ver tabla #8 y gráficos 9, 10, 11 y 12.

Conociendo que el diámetro mínimo es de 2.57 mm, después de la reposición y que la finura alcanzada en estas circunstancias está fuera de norma, se podría pensar en la posibilidad de una nueva reposición de esferas para completar el peso de carga del equipo. Sin embargo, esta alternativa podría tener consecuencias peligrosas para el equipo y para la producción, debido a la

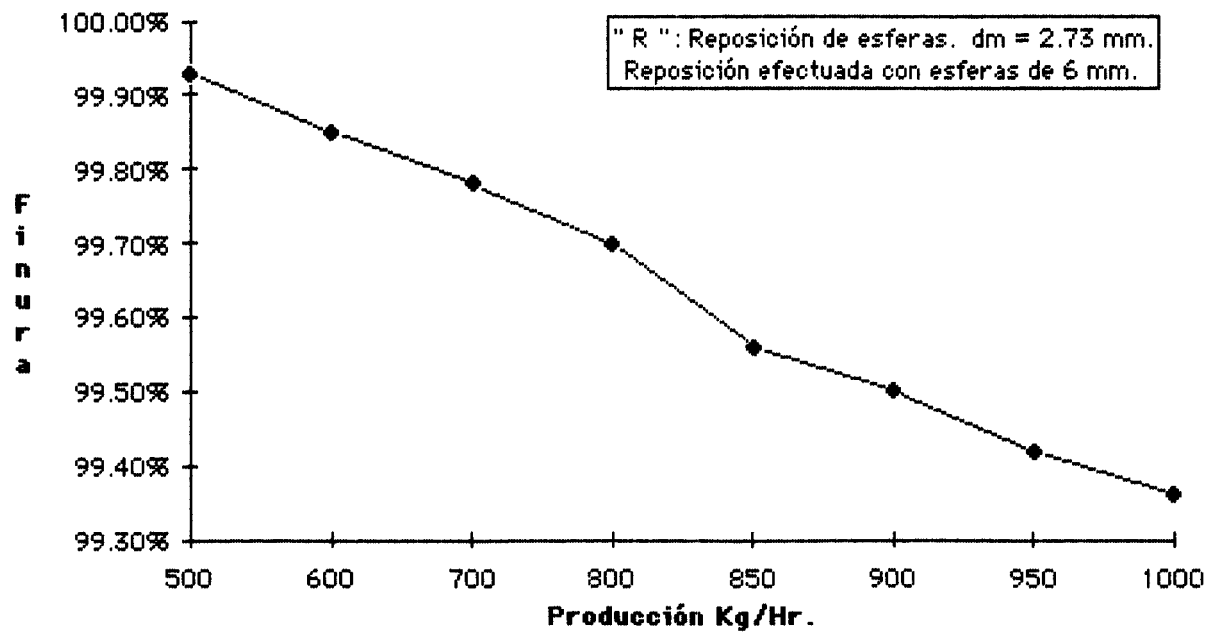


Gráfico # 9

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "R"



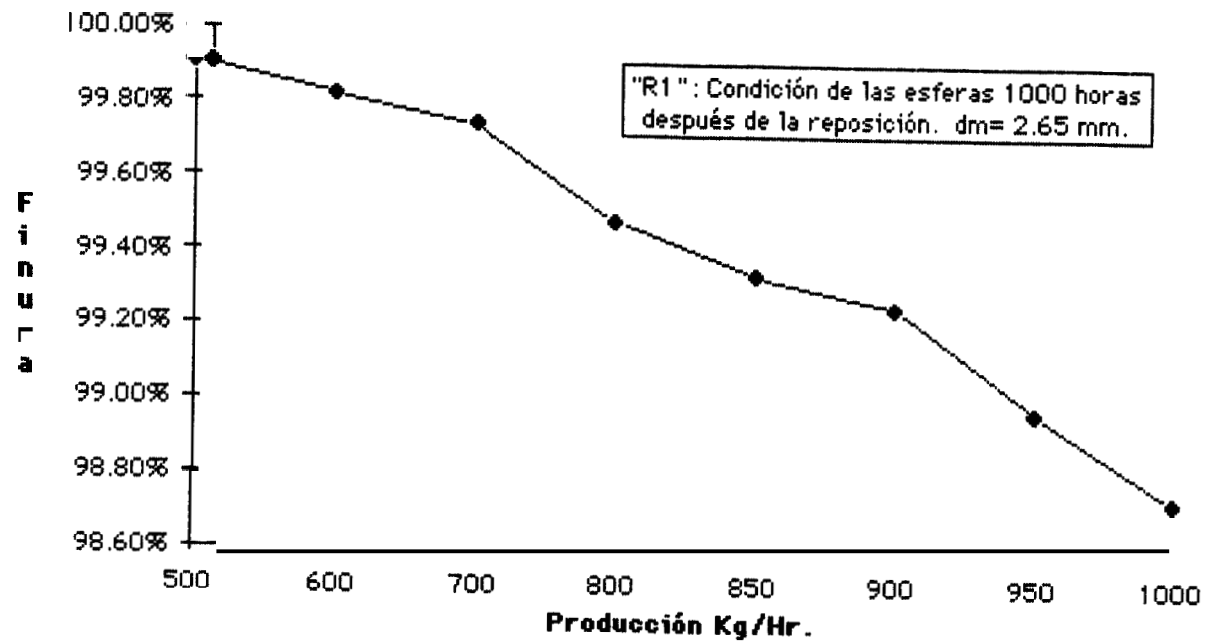


Gráfico # 10

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "R1"

BIBLIOTECA



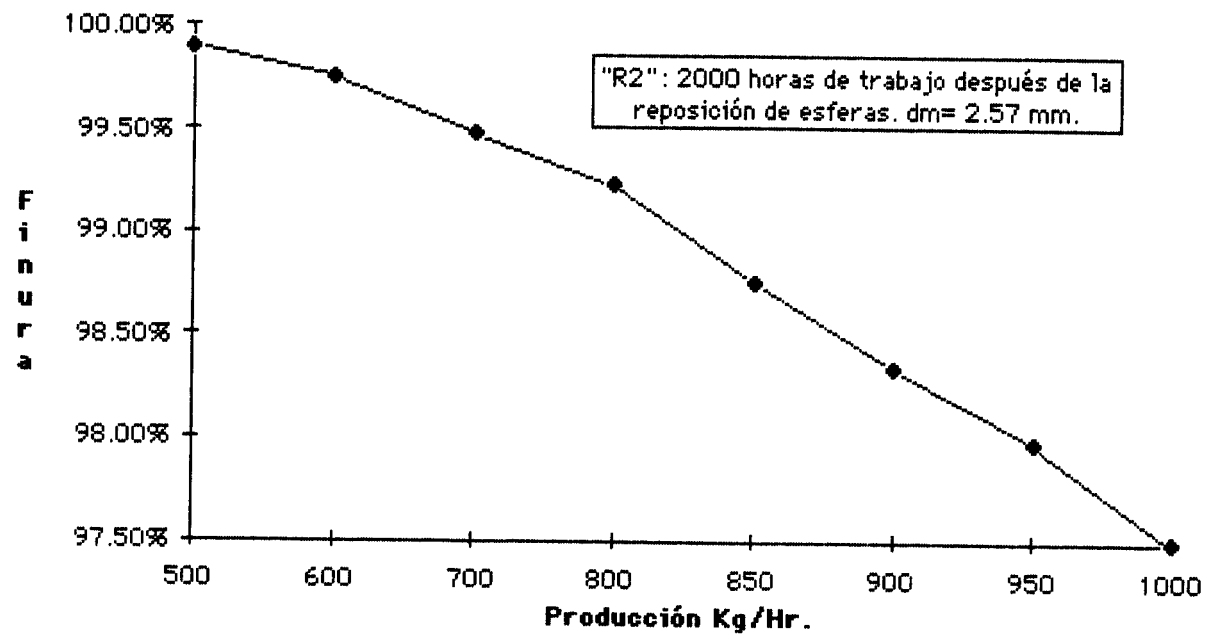


Gráfico # 11

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "R2"

Gráfico # 12

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "R" "R1" "R2"

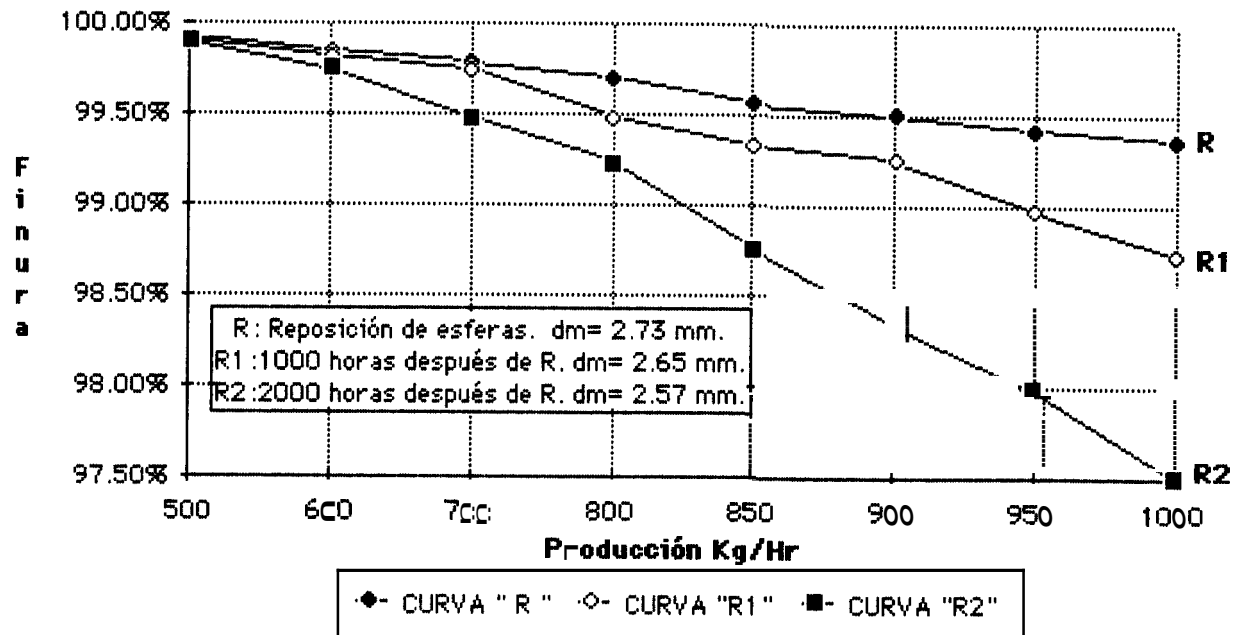


Gráfico # 12

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "R" "R1" "R2"

limitación que presenta el molino en el diseño del tamiz de descarga, como se indicó anteriormente, puede retener esferas de hasta 2.2 mm de diámetro. Si únicamente se efectúa la reposición de bolas correspondientes, en muy corto tiempo se tendría pérdida de esferas que salen al exterior con el producto, o causarían taponamiento y eventuales daños en el molino.

Con estos argumentos' lo conveniente es realizar una selección de esferas mediante un tamiz con ojo de malla de 4 mm de diámetro, con lo que se lograría mantener en el molino, bolas con este mismo diámetro mínimo; es decir de 4 mm.

Una vez efectuada la selección, se completa la carga de 220 Kg, con esferas de 6 mm de diámetro, quedando la situación en las siguientes condiciones:

- d) "S": Condición de las esferas inmediatamente después de la selección y reposición de bolas. Diámetros comprendidos entre 4 y 6 mm.
- e) w_s : 57.7 Kg de bolas repuestas al molino.
- f) W : 220 Kg, es la carga total de esferas después de la selección y reposición realizada.

Para proceder con la metodología ya trazada, se analizará ensayos para 1000, 2000 y 3000 horas de trabajo del molino, a partir de la condición inicial "S" y determinando el valor de la finura para cada

capacidad de producción considerada, se elaborará la tabla #9 y los gráficos 13, 14, 15, 16 y 17, en los que se proyecta claramente el efecto gradual de disminución de finura, no solo para las capacidades de producción programadas, sino especialmente, con la variación del tamaño y desgaste de las esferas a través del tiempo. Así, para 850 Kg/hr, para la condición "S" (4.0 mm), el molino produce con una finura de 99.56%; para "S1" (3.43 mm), 99.30%; para "S2" (3.05 mm), 98.90%; y para "S3" (2.75 mm), 98.09%.

En caso de demandar del molino una capacidad de 1000 Kg/hr, la finura producida llega a los siguientes valores: 99.40% para "S"; 98.80% para "S1"; 98.57% con "S2" y 96.90% para "S3". Se puede observar que en el penúltimo caso, la finura está prácticamente en el límite, mientras que en el último se encuentra fuera de estandar.

Utilizando los datos reunidos en todos los ensayos hasta ahora realizados se puede construir la tabla #10 y el gráfico 18, que servirán para definir desde el punto de vista de calidad los siguientes criterios:

- 1º. Criterio básico: Norma de calidad relativa a la finura: 98.5% a 99.5%.
- 2º. Toda la gama de situaciones y de tamaños de

TABLA F. vs P. CDW SELECCION Y REPOSICION DE ESFERAS				
PRODUCCION Kg/Hr.	CONDICIONES			
	"S"	"S1"	S2"	"S3"
	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA
500	99.95%	99.90%	99.92%	99.89%
600	99.88%	99.81%	99.75%	99.60%
700	99.73%	99.75%	99.46%	99.25%
800	99.68%	99.45%	99.25%	98.64%
850	99.56%	99.30%	98.90%	98.09%
900	99.52%	99.23%	98.78%	97.74%
950	99.4548	99.00%	98.6648	97.32%
	99.40%	98.80%	98.57%	96.90%
ESFERAS rnm.	4.00	3.43	3.05	mínimo 2.66

S: datos obtenidos después de seleccionar las esferas'
S1: datos después de 1000 horas de trabajo desde S.
S2: datos después de 2000 horas de trabajo desde S.
* Carga completa de bolas 220 Kgs.

Tabla Nº 9

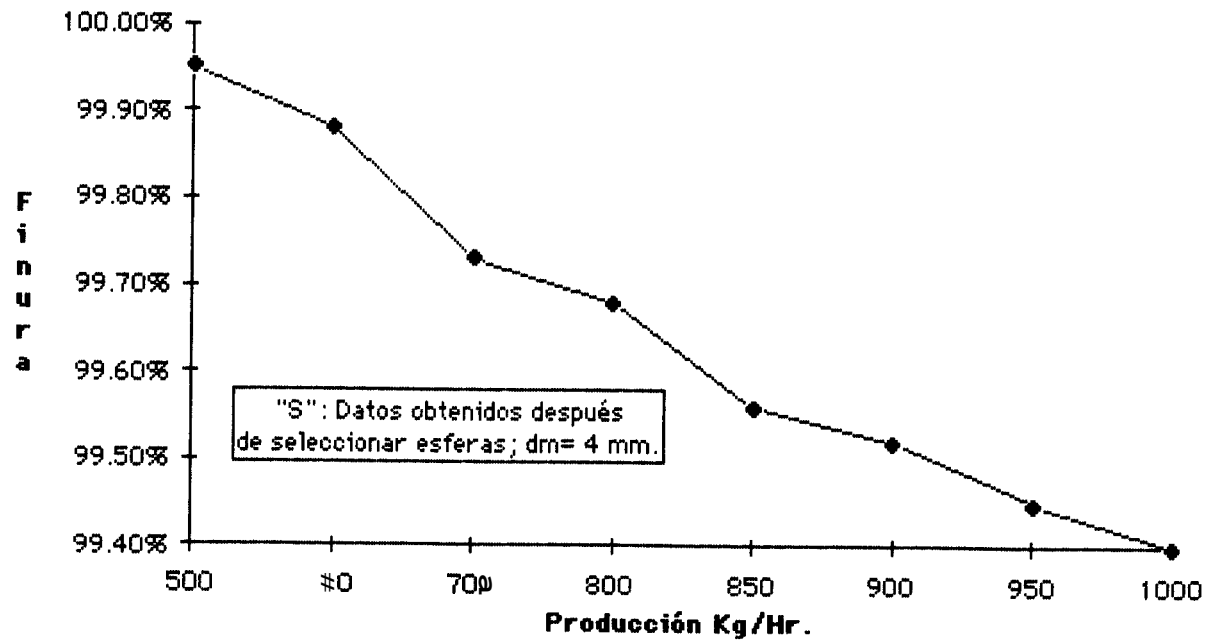


Gráfico # 13

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "S"

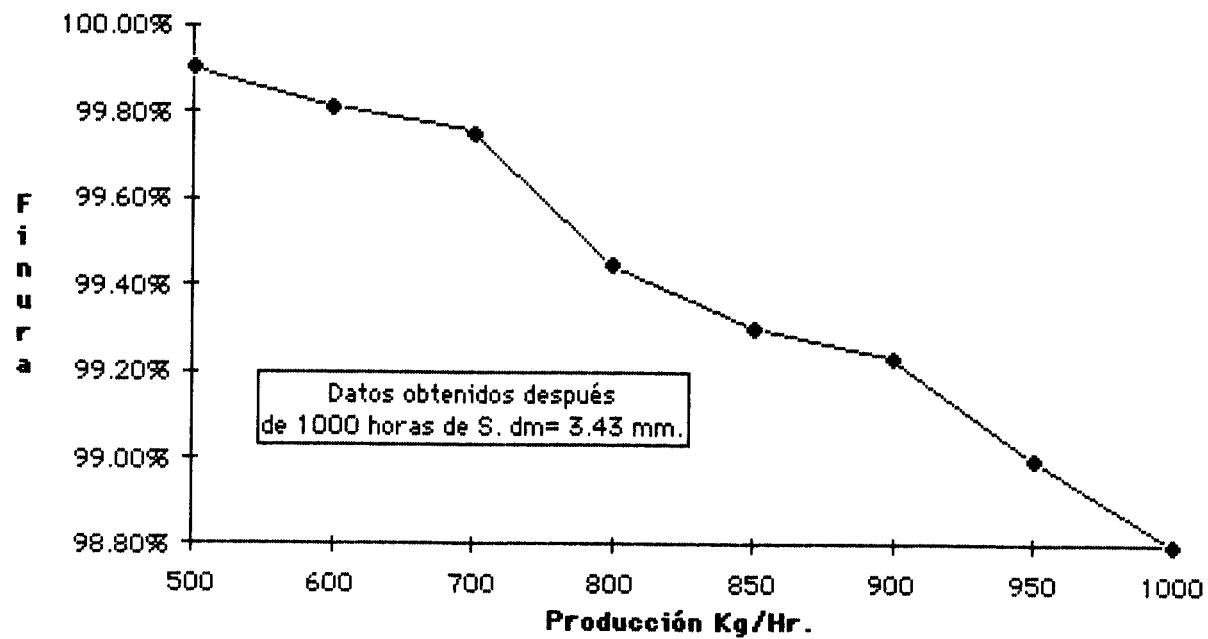


Gráfico # 14

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "S1"

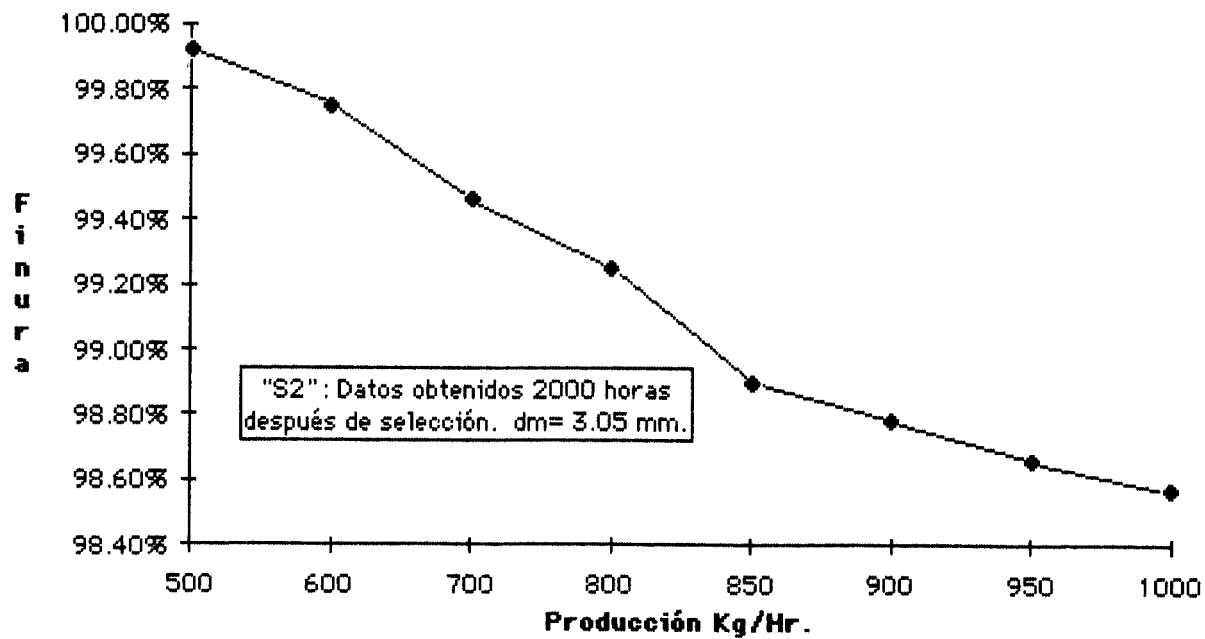


Gráfico # 15

CURVA FINURA Vs PRODUCCION

CURVA "S2"



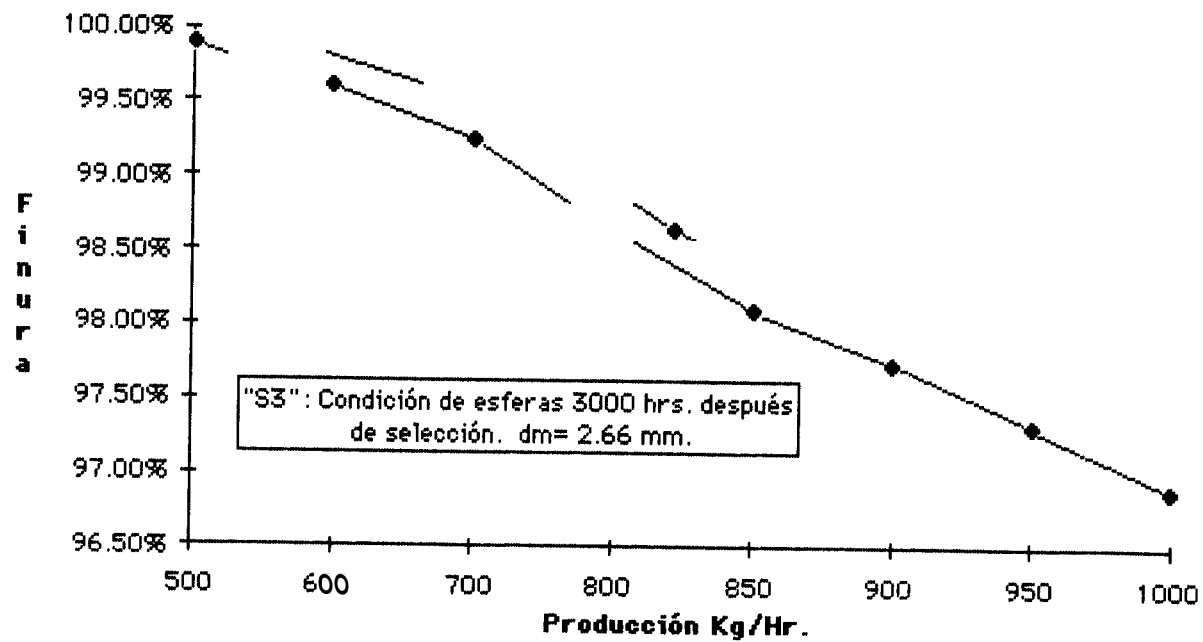


Gráfico # 16

CURVA FINURA VS PRODUCCIÓN

CURVA "S3"

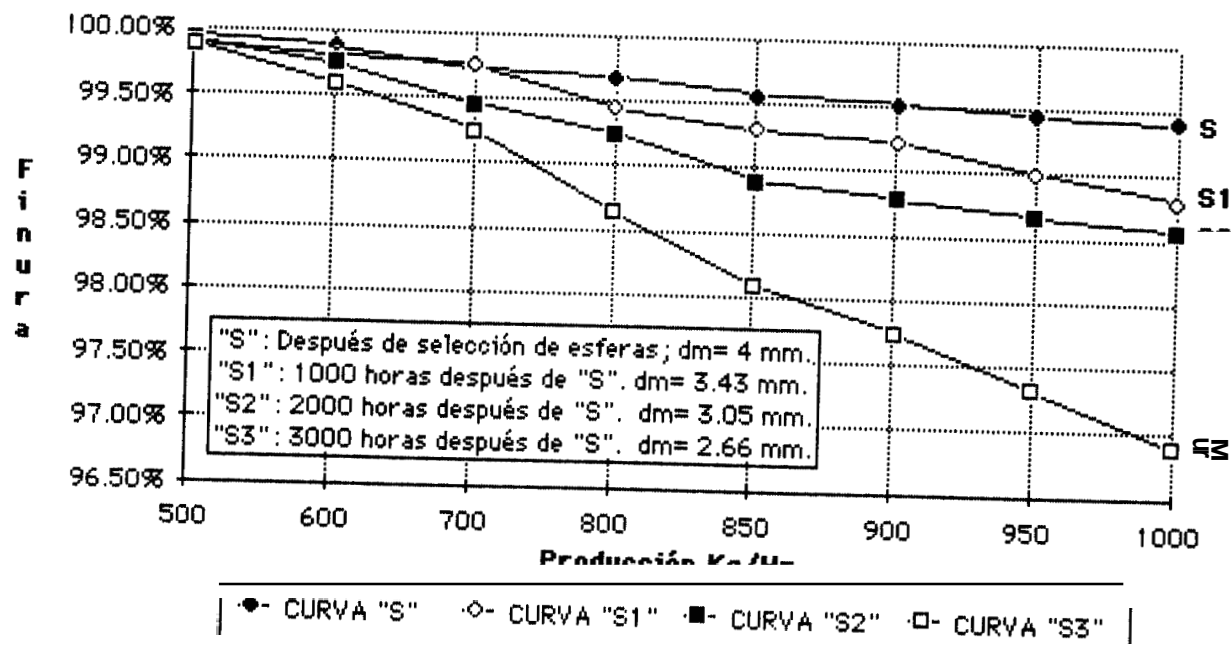


Gráfico 17

CURVA F. NURA Vs PRODUCCION

CURVA "S" "S1" "S2" "S3"

BIBLIOTECA



VARIACIONES DE FINURA vs. DIAMETROS MINIMOS DE ESFERAS

P. Kg/Hr.	CONDICIONES										
	"A"	"B"	"C"	"D"	"R"	"R1"	"R2"	"S"	"S1"	"S2"	"S3"
	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA	FINURA
900	99.23%	99.15%	99.00%	98.00%	99.50%	99.25%	98.34%	99.52%	99.23%	98.78%	97.74%
950	99.10%	98.91%	98.75%	97.47%	99.42%	98.97%	97.98%	99.45%	99.00%	98.66%	97.32%
1000	98.96%	98.70%	98.52%	97.22%	99.36%	98.73%	97.50%	99.40%	98.80%	98.57%	96.90%
dm (mm)	4.00	3.66	3.25	2.73	2.73	2.65	2.57	4.00	3.43	3.05	2.66

dm: Diámetro mínimo para cada condición

Tabla Nº 10

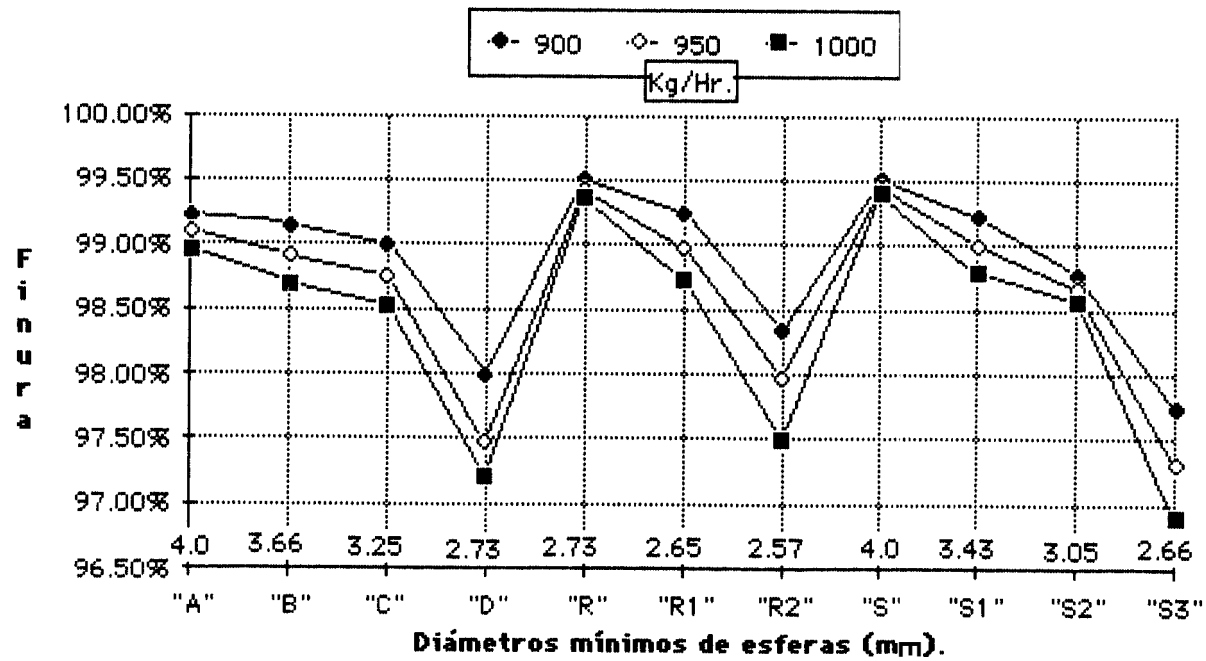


Gráfico # 18

VARIACIONES DE FINURA VS DIÁMETROS MINIMOS DE ESFERAS

esferas correspondientes -desde 2.57 mm hasta 6.0 mm- podría satisfacer la norma fijada de calidad, si es que no se condiciona con la capacidad de producción del molino. Bastaría entonces, seleccionar la velocidad de producción del molino para la cual el producto resulta dentro de la calidad standard; por ejemplo: 99.25% de finura con 700 Kg/hr, para la condición "S3".

- 3º. Siendo lo anteriormente expuesto condición no suficiente por rendimiento del equipo y por productividad, resulta imprescindible fijar parámetros de producción adecuados: 900 Kg/hr a 1000 Kg/hr, según eficiencia y diseño del molino.
- 4º. De la tabla #10 y gráfico 18, para producciones comprendidas entre 900 y 1000 Kg/hr, se pueden seleccionar los diámetros mínimos de las 5 bolas y las condiciones correspondientes que satisfacen la norma de finura. Se utiliza como elemento de control el diámetro mínimo existente en el molino. Esto es debido a la gran variedad de tamaños que se producen por el desgaste durante el proceso de molienda y que no permitirían, en forma práctica, hacer referencia a una composición normalizada y definida.
- 5º. Es indispensable considerar como una unidad de

criterio, el diámetro mínimo con la condición de trabajo correspondiente y no por separado. Así definida la situación y usando la tabla y gráfico indicados en el punto anterior, se selecciona el siguiente tamaño de esferas como el adecuado:

$d_m = 3.05$ mm. Se produce 2000 horas de trabajo **después** de haber efectuado la selección y reposición de las bolas. Condición "S2".

Esto significa que el diámetro mínimo que se debe permitir dentro del molino, es de 3.65 mm, para cumplir con los parámetros de calidad y en condiciones de producción también aceptables con relación al rendimiento del equipo.

El diámetro mínimo 2.65 mm, no es considerado, por la limitación de diseño indicada en párrafos anteriores.

3.3. CRITERIO ECONOMICO

Al límite superior de la **concepción** de criterio de calidad, se podría sugerir que las esferas del molino **deberían** de ser cambiadas a las condiciones ideales, tan frecuentemente como se registre el menor indicio de disminución de finura. Sin embargo, este juicio, aunque óptimo para la calidad del producto, no lo es desde el punto de vista económico, pues obviamente, el recambio de esferas

tendría un costo extremado.

Se puede concluir del gráfico 18, con bastante **aproximación**, que cada 2000 horas, desde el inicio de cada ciclo de ensayos realizados, se llega a condiciones límites de calidad **y/o** de diámetro mínimo.

Utilizando la tabla #10 y el gráfico 18, se puede obtener diversos criterios de selección del tamaño de esferas. Centrando la problemática a la **condición** de calidad y buscando un compromiso **económico** adecuado, sólo se establecerán dos criterios para su análisis respectivo:

1) SELECCION Y HEFOSICION DE BOLAS CADA 2000 HORAS.

Según la condición "C", que se podría considerar como la más idónea por haber partido de las normas de carga recomendadas por el fabricante y en la que el diámetro mínimo de las bolas en el interior del molino es de alrededor de 3.25 mm, la reposición de esferas sería de mínimo, 50.0 Kg. Esto es, porque se seleccionan y separan las menores de 4.0 mm de diámetro, habiendo sido cargadas justamente al inicio en esa cantidad. Proyectando este mismo razonamiento para cada 2000 horas de trabajo del molino y para un total de 6000, se tendría el siguiente análisis:

SELECCION Y REPOSICION DE ESFERAS (HORAS)	CANTIDAD Kg	COSTO/Kg S/./Kg	COSTO TOTAL
2000	50.0	7718	385900
4000	50.0	7718	385900
6000	50.0	7718	385900
TOTAL: 6000	150.0	7718	1'157700

Los demás costos (Kw/hr, costo de operacón, amortización, costos administrativos, etc.), se estiman iguales independientemente del criterio a considerar y en todo caso proporcionales al tiempo y esfuerzo empleados en la operacón.

2) REPOSICION Y SELECCION DE ESFERAS ALTERNADAMENTE CADA 2000 HORAS.

Para éste caso, se parte de la misma condición anterior con diámetro mínimo de 3.25 mm y que se presenta 2000 horas después de la carga inicial. Se efectúa la reposición de bolas hasta completar la carga de 220 Kg, adicionando, según lo experimentado, 20 Kg de esferas. 2000 horas más tarde, se deberá realizar la selección y separación de bolas que tengan diámetro menor de

4.0 mm y se procede a alimentar el molino con 57.7 Kg, como siempre con esferas do 6.0 mm de diámetro. Se continúa con el procedimiento a las 6000 horas solamente reponiendolas con, aproximadamente 20.0 Kg. Hay que tener en cuenta que la cantidad de reposición siempre será menor que la que se debe alimentar después de una selección de esferas separando las menores de 4.0 mm.

Elaborando el cuadro de costos se tendría:

TIPO DE MANTENIMIENTO	CFINTIDAD Kg	COSTO/Kg S/./Kg	COSTO S/.
REPOSICION A 2000 Hrs	20.00	7718	154360.0
SELECCION A 4000 Hrs	57.70	7718	445328.0
REPOSICION A 6000 Hrs	20.00	7718	154360.0
TOTAL	97.70	7718	754048.6

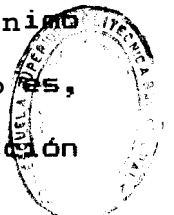
Es necesario recalcar que el tiempo empleado para efectuar una reposición de esferas es de aproximadamente 4 horas; por otro lado, el de seleccionar y reponer es de 24 horas. Esto acentúa las diferencias económicas entre los dos

critérios y más aún, cuando las paradas de producción tienen un costo elevado debido al precio alto del producto.

Estableciendo la comparación de los dos criterios anteriormente expuestos, desde el punto de vista económico se puede concluir que siempre será mejor seguir la segunda alternativa y por tanto, será necesario seleccionar un diámetro mínimo para efectuar la reposición de esferas, esto es, 3.05 mm y otro diámetro mínimo para la selección y reposición respectiva, 2.73 mm.

Estos análisis experimentales permitieron llevar a la práctica la operación del molino con el criterio de REPOSICION Y SELECCION DE ESFERAS ALTERNADAMENTE CADA 2000 HORAS, dando aproximadamente 35% de economía en la operación -reducción de importación de esferas de repuesto, horas muertas, etc.- y preservando la calidad del producto final.

La diferencia práctica se produjo a las 6000 horas habiendose tenido que reponer 24.3 Kg de esferas en lugar de 20 Kg.



3181, 10A

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Habiendo realizado los análisis de los resultados y establecido los criterios de selección, tanto desde el punto de vista de calidad como económico, se establece ahora las conclusiones y recomendaciones siguientes:

CONCLUSIONES:

- a. El desgaste de las esferas de acero en los molinos de bolas, tiene una decisiva incidencia sobre la finura de la pasta de cacao que se produce con él y, consecuentemente, sobre la calidad final del producto.
- b. Los molinos a esferas se basan en la altísima probabilidad de que las partículas de cacao sean trituradas por las esferas que giran independientemente dentro del molino; por tanto, la disminución de la carga de bolas debido al desgaste, disminuye las probabilidades de refinación y en consecuencia, la calidad del producto final.
- c. Se pudo determinar el problema fundamental de la operación del molino y que puede ser enumerado de la siguiente manera:
 - Disminución del diámetro de las esferas por el desgaste durante el proceso de molienda.
 - Reducción del peso total de los elementos de molienda, consecuencia de lo anterior.
 - Disminución de las probabilidades de refinación para

un mismo caudal de producción requerida, es decir: 900 a 1000 Kg/hr.

- Costo elevado de la operación y del mantenimiento preventivo del molino, incluyendo el de las esferas.

d. Las probabilidades de refinación de las partículas de cacao aumentan en función de la disminución de los diámetros de las esferas. Esto es debido a la reducción del espacio intersticial entre ellas y que, a su vez, aumenta los puntos de contacto al completar la carga total de bolas. Este hecho se demuestra en las tablas #7 y 10, y en los gráficos 9 y 18, condición "R", que representan el ensayo de únicamente reponer esferas hasta completar la carga total de 220 Kg, cuando el diámetro mínimo es de $d_m=2.73\text{mm}$. En éste punto el diámetro mínimo presente es menor que el recomendado por el fabricante para la carga inicial y sin embargo, los resultados de finura son muy elevados: 99.50% a 99.36%.

e. De la conclusión anterior se deduciría que el mejor tamaño de todos los experimentados es el de la condición "R2", con $d_m = 2.57 \text{ mm}$, sólo por el hecho de ser el más pequeño de todos. Sin embargo, se debe anotar que todos los equipos tienen sus limitaciones técnicas y de diseño, y en este caso, al tratar de completar el peso total de esferas sin seleccionarlas y así tratar de "aprovechar" los tamaños más pequeños, se produjeron los siguientes resultados:

1. La proporción de esferas con tamaño menor de 4 mm fue demasiado elevada en el contexto total, ocasionando un sobreampereaje que obligó a paralizar el equipo a medida que se trataba de levantar producción.

2. Las presiones de las esferas y del producto, forzan el equipo, saliendo las esferas incluidas con el producto y finalmente tapando el molino con las consiguientes pérdidas. El diseño del tamiz de descarga, así como de la rendija de alimentación en la base del molino, limitan el tamaño de las esferas en uso, las que tienen que ser mayores de 2.5 ± 0.2 mm, por seguridad.

3. Los puntos 1 y 2, llevan a la categorica conclusión de que debe seleccionarse y controlarse la carga de esferas en el molino cuando llegan a tamaños cercanos al límite.

f. El compromiso económico y de calidad conducen a la selección de dos tamaños de esferas para la mayor eficiencia de la operación y mantenimiento del molino utilizado:

$$\underline{dmR = 3.05 \text{ mm}}$$

Es el diámetro mínimo que debe de haber en el interior del molino para tomar la decisión de efectuar la reposición, con esferas de 6 mm, hasta la carga total de 220 Kg.

$$\underline{dmS = 2.73 \text{ mm}}$$

Diámetro mínimo que debe haber en el interior del

molino para tomar la decisión de seleccionar y reponer las esferas. Es decir, se selecciona y separa las esferas menores de 4 mm de diámetro. Luego se reponen con esferas de 6 mm hasta completar 220 Kg de carga total.

- g. Para el tipo de molino utilizado, se cumple con bastante aproximación, que tanto dmR como dmS, tienen lugar a intervalos de 2000 horas entre sí. dmR ocurre 2000 horas después de haber alimentado el molino con las condiciones del fabricante o haber realizado la selección a esferas de 4 mm. Similarmente, dmS ocurre 2000 horas posteriormente de haber realizado la reposición sin selección.

Sin embargo, es necesario indicar en forma general que estos intervalos dependen, fundamentalmente, de la resistencia al desgaste del material; de la intensidad de la producción; de la mayor o menor abrasividad del producto y las condiciones tecnológicas del mismo, de las temperaturas de operación, etc.

RECOMENDACIONES:

- a. Conociendo las limitaciones del sistema utilizado y relativo al desgaste de esferas, sería recomendable diseñar un sistema de alimentación de bolas al molino que permita, en marcha, mantener balanceada la carga de esferas que se requiere en el equipo y de esta manera, garantizar la calidad del producto final.
- b. El análisis planteado en el presente informe técnico,

también podría ser ampliado y aplicado en sus bases, para otros procesos de refinación de fluidos viscosos; tal es el caso de pinturas.

c. Se recomienda hacer una evaluación y estudio de la cantidad de material ferroso que sale con el producto refinado al aplicar este proceso de molienda; más aún si se trata de procesos para productos alimenticios.

d. Investigar y diseñar el sistema más apropiado para la retención y separación del material ferroso desprendido durante el proceso de molienda, producto del desgaste de las esferas y demás elementos internos del molino.

e. Para la industria alimenticia y el desarrollo del país, sería muy útil que se derivara una rama del Curriculum de Ingeniería Mecánica, como especialización, entre cuyos objetivos fundamentales estarían el desarrollo, diseño, construcción y montaje, servicio y mantenimiento, etc., para este tipo de industria; combinando en sus bases, conocimientos generales de procesos productivos relativos a ella y que son los que van a permitir los fundamentos de diseño, construcción, montaje, etc.



BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- B. Bonora, "Progresos Técnicos en la Molienda de Cacao y su Influencia en las Elaboraciones Sucesivas", Revista Carle & Montanari, Vol 9, (1981).
- 2.- B. Eonora y O. Chiappa, "Transformation, Processing and Treatment of Cocoa and Chocolate Praducción", Revista Carle & Montanari, Vol 10, (1981).
- 3.- B. Bonora y O. Chiappa, "Constantes Mejorias en la calidad del Producto y Ulterior Ahorro de Energía" Revista Carle & Montanari, Vol 12, (1987).
- 4.- H. bauermeister, "Output and Particle Size Distribution for Cocoa Nib Grinding" House Magazine 196/76 (1976).
- 5.- G. Lanz, Aspetti Moderni della Tecnologia del Cioccolato (Milano, Italia: Facultad de Agronomía, Universidad de Milano, 1969).
- 6.- Manual Molino ~~MAGMA~~ 292 C: Veb Maschinenfabrik Heidenau. Berlin, Alemania, 1980.
- 7.- Code Standard for Chocolate: "Federal Register, Vol 50, Nº 232 - Dic 2, 1985" Manufacturing and Confectionery, 1986.